

ELECTRICITÉ de FRANCE



**Inspection Générale
pour la Coopération Hors Métropole**



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



NOTE SUR LES HAUTEURS DE CRUES DU CONGO



AVRIL 1962

ELECTRICITE de FRANCE

Inspection Générale
pour la Coopération Hors Métropole

Office de la Recherche
Scientifique et Technique Outre-Mer

NOTE sur les HAUTEURS de CRUES du CONGO

=====

Avril 1962

La crue survenue en décembre 1961 (1) a menacé la Centrale du DJOUE. On s'est alors demandé s'il n'y avait pas lieu de prévoir des mesures de protection contre le retour d'une crue de même importance, voire même plus catastrophique. A cet effet, il a été demandé à la Division Hydrologie de l'I.G.E.C.O. de procéder à une étude approfondie des relevés disponibles sur le CONGO au droit de BRAZZAVILLE et d'essayer d'en dégager un ordre de grandeur de la fréquence de la crue 1961.

Ce genre de problème ne nécessitant pas, a priori, la connaissance des débits, nous avons raisonné sur les hauteurs du plan d'eau. On notera toutefois qu'une série importante de jaugeages ont été effectués par les Belges. Ils se traduisent par une courbe d'étalonnage représentée au choix par une des équations :

$$Q = 24.303 + 5851 H + 379 H^2$$

$$\text{ou } Q = 253 (H + 8,74)^{2,106}$$

Dans lesquelles Q est exprimé en m³/s et H en m.

1) RELEVES d'ECHELLE -

Les échelles exploitées dans le Pool au droit de BRAZZAVILLE ou de LEOPOLDVILLE, sont nombreuses. Les plus importantes sont celles du BEACH et de la BRIQUETERIE à BRAZZAVILLE et celles de LEOPOLDVILLE-Est et LEOPOLDVILLE-Ouest à LEOPOLDVILLE. De plus, une échelle placée à la sortie du canal de fuite, dite "aval Bras Mort", permet d'étudier la correspondance entre le niveau à la sortie de l'usine et les différentes échelles installées dans le Pool.

(1) Maximum le 17 décembre à BRAZZAVILLE.

Un premier examen des relevés disponibles montre qu'il est peu intéressant, en vue de l'étude statistique, d'utiliser les échelles de BRAZZAVILLE ; elles ont changé de place assez fréquemment et les relevés anciens sont douteux, ainsi que nous avons pu nous en assurer en dressant les graphiques de correspondance pour les rares périodes où il y a recouvrement. Par contre, comme on le verra par la suite, les échelles de LEOPOLDVILLE offrent une excellente garantie de continuité et permettent d'obtenir une série importante qui s'étend sans interruption de 1902 à nos jours.

Le problème du nivellement absolu de ces échelles n'est pas entièrement résolu ainsi que nous avons pu nous en rendre compte en dépouillant le volumineux courrier dont il a fait l'objet. Cela n'a guère d'importance dans la question qui nous occupe et pour laquelle les cotes relatives du plan d'eau constituent une information suffisante.

Les altitudes de zéro d'échelles citées ci-après sont établies dans le système de Nivellement dit "de Passagez".

L'échelle de LEOPOLDVILLE-Est, dite aussi LEOPOLDVILLE I ou KINSHASA, a été mise en service le 22 Juin 1925 et on avait adopté pour zéro la cote 295,00 m. Les relevés ont été notés sur les bordereaux de lecture en cotes absolues ($295,00 + x$) jusqu'au 15 juillet 1932.

Un nivellement effectué en 1929 a montré que le zéro était en réalité à la cote 295,43 m (système Passagez). Cette divergence avait donné lieu à une erreur au cours d'une première interprétation : l'opérateur avait déduit uniformément 295,43 m des cotes absolues portées sur les originaux pour retrouver les lectures à l'échelle. Cette erreur a été rectifiée par M. CHARLIER en 1957 (fiches récapitulatives des relevés de 1925 à 1932).

En avril 1932, un nivellement effectué par M. OSSOSSOF a donné, pour le zéro de l'échelle, la cote 295,33 m. Or, les relevés originaux portent, en date du 12 mai 1931, la mention "échelle déplacée". Cette date correspond à une décrue régulière ainsi que le montrent les relevés antérieurs et postérieurs ; or, on observe dans les courbes correspondantes tirées des originaux, un décalage qui est effectivement de l'ordre de 10 cm. Le zéro de l'échelle aurait donc été à 295,33 m pendant

la période du 12 mai 1931 au 15 juillet 1932 : l'observateur continuait à ajouter 295,00 m aux hauteurs lues sur l'échelle pour obtenir les cotes absolues portées sur les relevés originaux.

Le 16 juillet 1932, OSSOSSOF a remplacé l'échelle dans la position qu'elle occupait en 1925 : zéro à 295,43. A dater de ce jour, les cotes absolues portées sur les originaux ont bien été obtenues en ajoutant 295,43 m aux hauteurs lues sur l'échelle. A partir du 1er octobre de la même année, les hauteurs lues sur l'échelle sont portées sans modification sur les originaux.

Ultérieurement, il ne semble pas y avoir eu de modifications importantes du zéro. L'échelle a été enlevée plusieurs fois pour nettoyage et toujours soigneusement recalée à la même cote. Il est toutefois mentionné, au hasard des échanges de courrier entre LEOPOLDVILLE et BRUXELLES, un décalage de 3 cm à une époque mal précisée. On peut penser qu'il s'agissait d'une modification provisoire, le même zéro ayant toujours été conservé dans les documents officiels : un décalage de cet ordre de grandeur n'ayant strictement aucune importance pour la présente étude, nous n'avons pas jugé utile de poursuivre l'enquête. D'autres contestations, qui ont entraîné une importante correspondance, montrent d'ailleurs avec quelle conscience les Belges se sont attachés à obtenir des résultats exacts : il s'agit d'écarts ne dépassant pas 1 cm. Quant aux lectures d'échelle, elles semblent avoir fait l'objet d'un contrôle serré.

L'échelle de LEOPOLDVILLE-Est était rattachée à la face supérieure d'un boulon fixé sur un magasin Otraco, (Repère dit "Boulon Otraco"), coté 301,62 dans le système Passagez. La modification des quais et magasins Otraco, en 1953, risquant de faire disparaître ce repère, il a été remplacé par deux plaques de cuivre de 22 cm sur 13 cm, scellées dans les fondations du bureau du Bief Moyen. Ces nouveaux repères ont été dénommés :

Repère A : cote Passagez : 307,495

Repère B : cote Passagez : 307,605

(Lettre VAN DAM du 31 décembre 1953)

L'échelle de LEOPOLDVILLE-Ouest, appelée également LEOPOLDVILLE II ou CHANIC a été lue depuis 1902. Cette échelle était encore lue au moment où a été posée l'échelle de LEOPOLDVILLE-Est, et on possède deux années de lectures communes : 1925 et 1926. Ces lectures montrent que les indications des deux échelles coïncident quelle que soit la cote du plan d'eau, ce qui suppose une pente constante de la ligne d'eau entre les deux stations. Il est probable que cette coïncidence n'est pas fortuite, elle découle de la prise en considération d'un étiage conventionnel auquel devaient être rapportées les mesures hydrographiques.

Nous n'avons pas trouvé de correspondance concernant l'historique de cette échelle pour la période antérieure à 1925, mais l'examen des relevés ne laisse apparaître aucune discontinuité. On peut présumer que s'il y a eu des modifications, celles-ci ne sont pas de nature à compromettre une étude statistique effectuée sur les données brutes disponibles. La cote du zéro de cette échelle était de 294,84 m dans le système Passagez, soit 49 cm sous le zéro de l'échelle de LEOPOLDVILLE-Est.

Il ne semble pas que l'échelle ait été détruite après 1926, mais les lectures paraissent avoir été abandonnées jusqu'en 1953. A cette date, une nouvelle échelle a été installée et lue depuis le 19 janvier. Le nouveau zéro était sensiblement à la même cote que celui de l'ancienne échelle. Des contestations se sont élevées par la suite sur l'exploitation de cette échelle et sur d'éventuelles modifications, ainsi qu'en témoigne une abondante correspondance. Nous n'avons pas poussé l'enquête dans ce sens, préférant nous en tenir, pour la présente étude, aux relevés sûrs de LEOPOLDVILLE-Est pour cette période.

2) ETUDE STATISTIQUE des HAUTEURS d'EAU à LEOPOLDVILLE-EST -

L'ensemble des données collationnées à partir des relevés originaux, compte tenu des indications fournies au paragraphe 1, permettent d'obtenir une série d'observations continues pour la période 1902-1961, ramenées à l'échelle de LEOPOLDVILLE-Est (zéro à 295,43 m dans le système Passagez).

De ces relevés on a extrait la liste des cotes maximales du CONGO à cette station, ainsi que celle des cotes dépassées respectivement pendant 10 jours, 20 jours et 30 jours dans l'année (tableau I).

L'étalement important de la crue du CONGO, mis en évidence dans le tableau I, permet de mener l'étude statistique sur les seuls maximums observés. Pour trouver la cote dépassée en 10 jours, 20 jours ou 30 jours correspondant en moyenne à une cote maximale, on se reportera au graphique 1.

Les maximums consignés dans le tableau I sont classés dans le tableau II, en regard des fréquences prises

égales à $\frac{n - \frac{1}{2}}{N}$ (n : numéro d'ordre et N : nombre d'observations), et des débits calculés au moyen de la formule parabolique. Le report de ces chiffres sur un graphique à abscisse gaussique (pour obtenir une représentation correcte des faibles fréquences) montre que la crue de décembre 1961 s'écarte très nettement de ce qui avait été observé jusqu'alors (graphique 2).

Nous avons essayé d'ajuster une loi analytique à la courbe des fréquences cumulées, sans tenir compte de la crue 1961 : il se trouve qu'elle résiste remarquablement à l'analyse. Nous avons pensé, étant donné la forme très particulière de la courbe, qu'une loi très souple, comme celle de JENKINSON pourrait facilement lui être ajustée. Cette loi, généralisation de la loi de GUMBEL, comporte en effet 3 paramètres, ce qui n'est pas excessif pour un échantillon de 59 valeurs. Elle est de la forme :

$$P_x = e^{-(1 - \frac{x - x_0}{a})^{1/k}}$$

P_x étant la probabilité pour que x ne soit pas dépassée.

Elle comporte une limite supérieure de la variable (dans le cas présent a est positif) : $x < a + x_0$. Or, nous avons trouvé pour $a + x_0$ une valeur beaucoup trop faible pour être physiquement acceptable, eu égard à la crue de décembre 1961. De toute façon, même s'il nous avait été possible

d'ajuster de façon satisfaisante à la courbe naturelle, une loi de probabilité, on aurait pu se demander si son application était bien justifiée pour des fréquences aussi faibles que celles vers lesquelles la crue 1961 semble nous entraîner.

N'importe quelle extrapolation ne peut que conduire à des estimations de la fréquence de cette crue à peine croyables, sans doute de l'ordre de 1/100.000. Dans ces conditions, ce serait un leurre de vouloir exprimer mathématiquement une probabilité qui ne correspondrait sans doute à rien. On peut dire seulement qu'il s'agit vraisemblablement d'un phénomène occasionnel qui a de très faibles chances de se reproduire dans un délai compatible avec la durée d'une Centrale. Si l'on tient vraiment à fixer les idées par un chiffre, disons que la période de retour de cette crue est très supérieure à cent ans.

Il est bien évident que, ceci étant, aucun projecteur sensé ne pouvait, a priori, calculer un ouvrage pour une telle crue. Même maintenant que le phénomène s'est produit, il ne serait pas concevable d'entreprendre des travaux de protection coûteux ou de conserver un dispositif susceptible de gêner chaque jour l'exploitation, dans l'attente d'un phénomène qui a de grandes chances de ne pas se reproduire durant la vie de la centrale.

Pour les crues de fréquence moins rare, on peut s'en tenir à ce que donne la courbe de répartition figurant sur le graphique 2 :

Crue décennale	:	4,92 m
Crue cinquantenaire:		5,18 m

On pourrait toutefois faire une réserve sur ces conclusions. A l'aval du Pool, le CONGO se rétrécit considérablement et franchit des rapides avec une très forte pente. Or, on ne connaît pas grand-chose du fonctionnement hydraulique de ce bief. On sait seulement que le plan d'eau monte beaucoup plus vite au droit des rapides ou à leur amont immédiat que dans le Pool, ainsi que nous le verrons à propos de la correspondance entre l'échelle de LEOPOLDVILLE-Est et celle de l'usine. Ceci a pour effet de diminuer considérablement la pente à mesure que croît la hauteur du plan d'eau. Il ne serait

donc pas impossible que pour des débits élevés on assiste à un engorgement des rapides ; cet engorgement aurait pour effet de modifier la croissance normale de la courbe débits-hauteurs, qui alors ne correspondrait plus à la loi parabolique préconisée par les Belges. Personnellement, nous ne croyons guère à cette hypothèse qui devrait se traduire par une modification de la pente de la courbe de correspondance entre LEOPOLDVILLE et l'échelle de l'usine, modification que l'on n'observe pas.

3) ANALYSE SOMMAIRE des COMPOSANTES de la CRUE :

Le CONGO est alimenté par trois branches principales

- Le CONGO lui-même, cours inférieur du LUALABA qui draine la zone centrale de la République du CONGO et une partie de la zone Nord. Son régime hydrologique est équatorial Nord avec un maximum annuel en décembre.

- L'OUBANGUI qui draine une grande partie de la République Centrafricaine et le Nord-Est de la République du CONGO par la OUELLE. Son régime est tropical de transition, variante Nord, avec un maximum en novembre.

- Le KASSAI qui draine la partie Sud de la République du CONGO. Son régime est équatorial Sud avec un maximum en avril.

Etant donné l'immense étendue de chacun de ces bassins, aucun des régimes que nous venons de citer ne s'y rencontre à l'état pur : il s'agit seulement de dominantes. D'autre part, c'est la branche CONGO - LUALABA qui impose la physionomie du régime telle qu'on peut l'observer dans le Stanley Pool.

Il serait intéressant d'étudier les composantes de la crue 1961 à partir des débits ; malheureusement, à l'exception de BANGUI, les stations principales situées suffisamment à l'aval des branches d'alimentation pour être intéressantes, ne sont pas étalonnées. On se contentera donc de quelques indications qualitatives tirées de l'observation des hauteurs.

A BANGUI, le maximum a été observé le 14 novembre 1961: la hauteur observée à l'échelle : 8,32 m, n'a été dépassée qu'en 1916. La période de retour doit être d'une vingtaine d'années. On admet que la durée de propagation de BANGUI à BRAZZAVILLE est comprise entre 20 et 25 jours. Il est donc probable que le maximum des apports dus à l'OUBANGUI était déjà passé. Néanmoins, cette crue est tardive et a certainement contribué à renforcer de façon non négligeable la crue du CONGO.

A COQUILHATVILLE, le maximum est également tardif : 5,50 m du 1er au 3 janvier 1962. Le maximum précédemment observé était de 4,40 m en 1909. Le temps de propagation entre COQUILHATVILLE et LEOPOLDVILLE est d'environ 12 jours. Le maximum de COQUILHATVILLE n'était donc pas encore passé lors du maximum à LEOPOLDVILLE. Toutefois, la cote observée à COQUILHATVILLE le 5 décembre, c'est-à-dire 12 jours avant le maximum à LEOPOLDVILLE, était déjà de 4,88 m, c'est-à-dire 48 cm de plus que le précédent maximum observé. D'autre part, il y a de fortes chances pour que la loi hauteur-débit à COQUILHATVILLE ne soit pas univoque (zones marécageuses, faible pente), et que le maximum de débit se produise bien avant le maximum de hauteur. Ce fait est corroboré par les relevés à BUMBA, en amont de COQUILHATVILLE ; à cette station, le maximum se produit au moins début décembre. Or, pour des cotes faibles, pour lesquelles l'influence des marécages est moins sensible, le décalage entre les deux stations est loin d'être aussi important : en 1959, les maximums de hauteurs étaient presque simultanés (3,62 à COQUILHATVILLE et 2,73 m à BUMBA) ; en 1961, le maximum à BUMBA a été supérieur à 5,21 m (nous n'avons pas la cote exacte), alors que le maximum de la période 1912-1960 était de 3,81 m en 1951. Il semble donc que cette branche ait bien été le principal responsable de la crue exceptionnelle de 1961.

Sur le KASSAI, la station de BANNINGVILLE est peu éloignée du Pool et la durée de propagation de la crue ne doit pas excéder 3 ou 4 jours. La cote à BANNINGVILLE, correspondant au maximum à LEOPOLDVILLE, est d'environ 2,70 m. D'après les courbes enveloppes figurant sur l'Annuaire Hydrologique du CONGO, la plus forte cote observée à cette date depuis 1916 était voisine de 2,40 m ; on peut donc affirmer que le KASSAI a participé de façon non négligeable à la crue du Pool en 1961. Les cotes indiquées pour le KASSAI ne sont pas des maximums annuels : nous avons vu que ces derniers se produisent en avril.

On peut donc dire qu'il y a eu concordance de forte hydraulicité entre ces trois composants.

4) CORRESPONDANCE ENTRE les RELEVES de l'ECHELLE de LEOPOLDVILLE et CEUX de l'USINE -

Les hauteurs de l'eau à la sortie de l'usine sont relevées sur une échelle dite "aval Bras mort". Elles sont données en cotes absolues. Il a déjà été signalé que la pente de la courbe de correspondance est très forte, ainsi qu'on peut le voir sur le graphique 3. Cette courbe a été tracée à partir des lectures simultanées faites à l'échelle de l'usine et à celle de LEOPOLDVILLE-Est durant la crue 1961. Elle a été complétée par les lectures, moins précises en ce qui concerne l'usine, effectuées en 1951.

La relation qui lie les deux échelles n'est pas tout à fait univoque pour les très fortes crues telles que celle de 1961, mais l'écart entre courbe de crue et courbe de décrue n'est pas très important. Pour les cotes faibles ou moyennes, on n'observe pas de différence entre crue et décrue.

D'après cette courbe, on aurait à l'usine les fréquences suivantes :

Crue décennale	:	284,50 m
Crue cinquantenaire	:	285,15 m
Crue centenaire	:	285,38 m

La cote "Usine" du maximum de 1961 est de 287,60 m.

Des valeurs légèrement supérieures à ces cotes avaient été retenues pour le projet de l'usine du DJOUE.

M. ROCHE,

T A B L E A U I

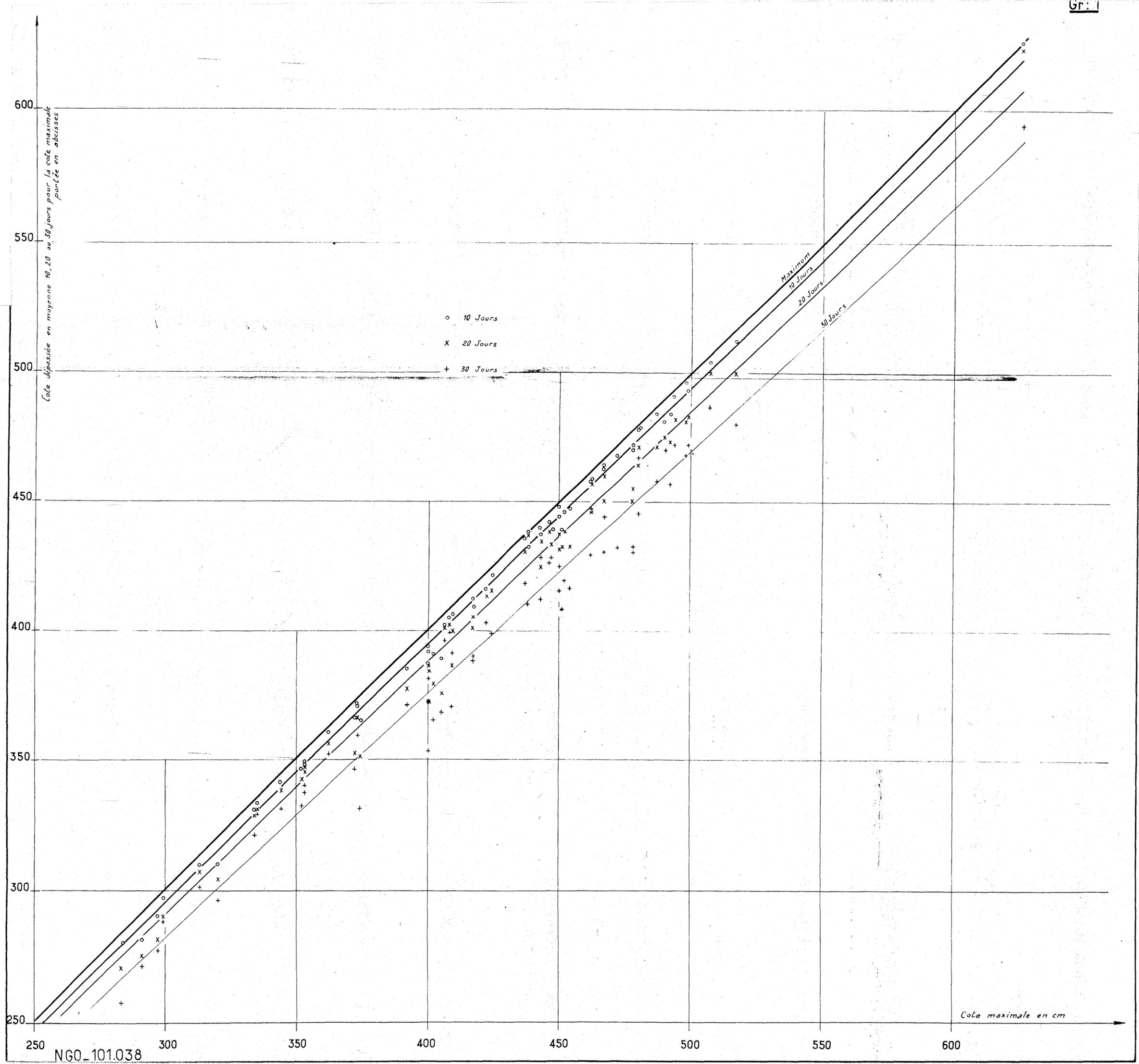
Cotes maximales du CONGO ramenées à l'échelle
de LEOPOLDVILLE-Est (zéro à 295,43 dans le
système Passagez)

Année	Max.	10 j.	20 j.	30 j.	Année	Max.	10 j.	20 j.	30 j.
					1931-32	353	349	345	340
1902-3	405	389	375	368	1932-33	438	438	437	424
1903-4	400	387	372	353	1933-34	373	371	366	359
1904-5	406	402	401	396	1934-35	499	493	483	472
1905-6	372	366	352	346	1935-36	353	348	347	337
1906-7	472	468	453	432	1936-37	443	437	424	412
1907-8	320	310	304	296	1937-38	447	439	433	428
1908-9	<u>517</u>	512	<u>500</u>	<u>480</u>	1938-39	451	439	432	408
1909-10	408	405	402	399	1939-40	487	484	471	458
1910-11	478	470	455	432	1940-41	400	394	386	381
1911-12	424	421	415	399	1941-42	443	440	434	428
1912-13	409	406	400	391	1942-43	335	333	331	329
1913-14	284	280	270	257	1943-44	313	310	307	301
1914-15	438	432	425	410	1944-45	409	400	386	370
1915-16	333	331	328	321	1945-46	450	444	431	415
1916-17	462	458	457	447	1946-47	480	478	464	445
1917-18	446	442	438	426	1947-48	362	360	356	352
1918-19	297	290	281	277	1948-49	494	491	482	472
1919-20	299	297	290	288	1949-50	417	409	405	390
1920-21	478	472	450	430	1950-51	462	458	446	429
1921-22	437	436	430	418	1951-52	490	481	475	470
1922-23	450	448	437	425	1952-53	400	392	384	372
1923-24	467	463	450	430	1953-54	374	365	351	331
1924-25	498	496	481	468	1954-55	402	391	379	365
1925-26	<u>507</u>	504	500	487	1955-56	480	478	471	467
1926-27	492	484	473	457	1956-57	422	416	413	403
1927-28	344	341	338	331	1957-58	417	412	401	388
1928-29	392	385	377	371	1958-59	291	281	275	271
1929-30	454	447	432	416	1959-60	452	446	438	419
1930-31	352	346	342	332	1960-61	467	464	460	444
					1961-62	<u>626</u>	<u>623</u>	<u>609</u>	<u>594</u>

T A B L E A U II

Maximums annuels du CONGO classés par ordre
décroissant (Cotes à l'échelle de LEOPOLDVILLE-Est)

N°	Hauteurs cm	Fréquence: naturelle: de dépas- sement	Débits m ³ /s	N°	Hauteurs cm	Fréquence: naturelle: de dépas- sement	Débits m ³ /s
1	626	0,0083	75 782	31	424	0,508	55 925
2	517	0,0250	64 683	32	422	0,525	55 744
3	507	0,0417	63 710	33	417	0,542	55 292
4	499	0,0583	62 937	34	417	0,558	55 292
5	498	0,0750	62 840	35	409	0,575	54 574
6	494	0,0916	62 456	36	409	0,592	54 574
7	492	0,1082	62 264	37	408	0,608	54 484
8	490	0,1250	62 073	38	406	0,625	54 305
9	487	0,142	61 786	39	405	0,642	54 216
10	480	0,158	61 120	40	402	0,658	53 949
11	480	0,175	61 120	41	400	0,675	53 771
12	478	0,192	60 930	42	400	0,692	53 771
13	478	0,208	60 930	43	400	0,708	53 771
14	472	0,225	60 363	44	392	0,725	53 063
15	467	0,242	59 893	45	374	0,742	51 487
16	467	0,258	59 893	46	373	0,758	51 400
17	462	0,275	59 424	47	372	0,775	51 313
18	462	0,292	59 424	48	362	0,792	50 450
19	454	0,308	58 678	49	353	0,808	49 680
20	452	0,325	58 493	50	353	0,825	49 680
21	451	0,342	58 400	51	352	0,842	49 594
22	450	0,358	58 307	52	344	0,858	48 915
23	450	0,375	58 307	53	335	0,875	48 157
24	447	0,292	58 030	54	333	0,8918	47 990
25	446	0,408	57 937	55	320	0,9084	46 907
26	443	0,425	57 661	56	313	0,9250	46 330
27	443	0,442	57 661	57	299	0,9417	45 186
28	438	0,458	57 201	58	297	0,9583	45 024
29	438	0,475	57 201	59	291	0,9750	44 539
30	437	0,492	57 110	60	284	0,9917	43 977



Cote dépassée en moyenne 10, 20 ou 30 jours pour la cote maximale portée en abscisses

o 10 Jours
x 20 Jours
+ 30 Jours

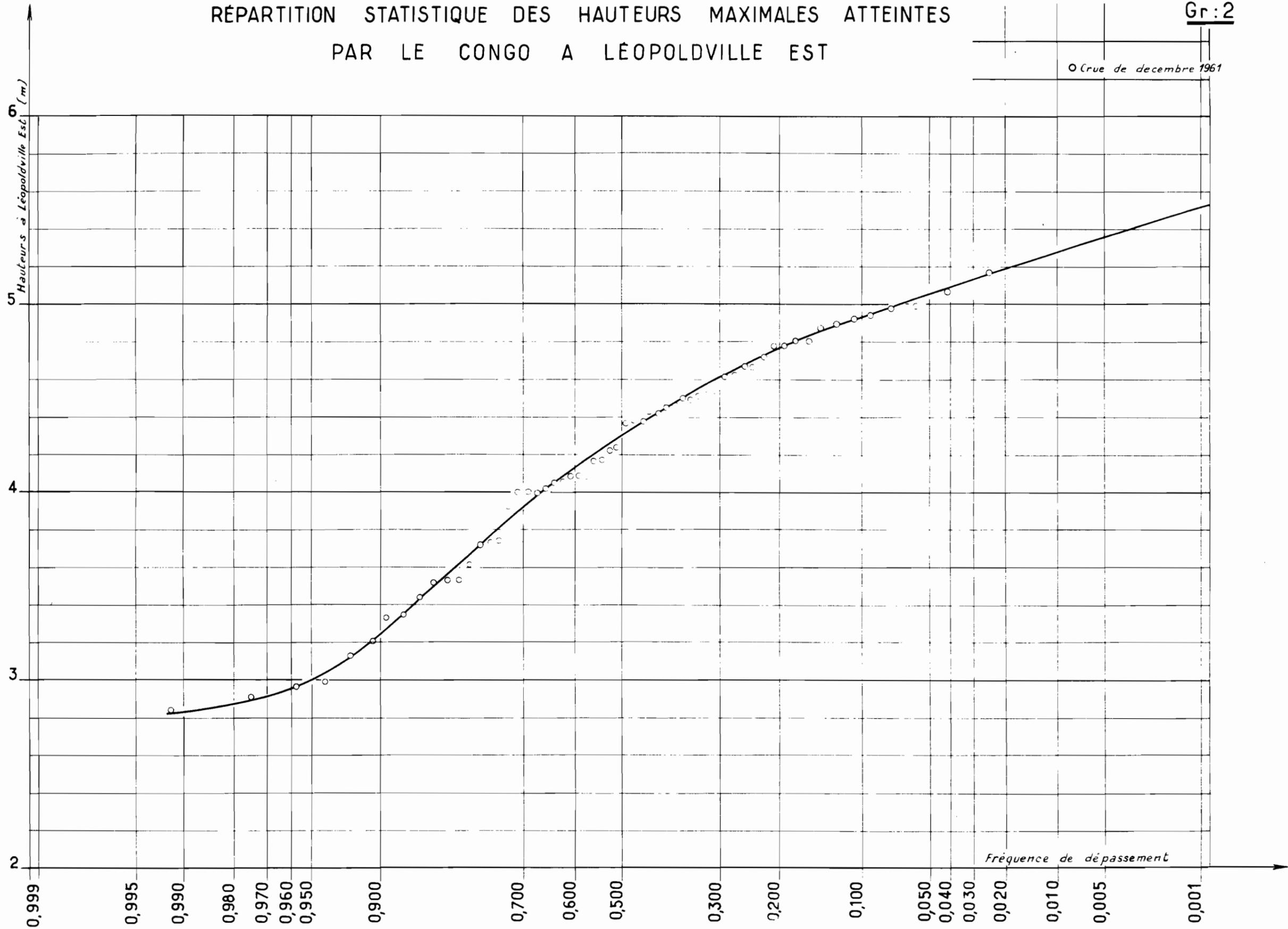
Maximum
10 Jours
20 Jours
30 Jours

Cote maximale en cm

RÉPARTITION STATISTIQUE DES HAUTEURS MAXIMALES ATTEINTES
PAR LE CONGO A LÉOPOLDVILLE EST

Gr:2

○ Crue de decembre 1961



NGO_101.039

COURBE DE CORRESPONDANCE ENTRE L'ÉCHELLE DE L'USINE DU DJOUÉ (Aval bras mort)
ET CELLE DE LÉOPOLDVILLE EST

