

157507

B2484

# Les débits du fleuve Congo à Léopoldville et à Inga

PAR

**R. VAN GANSE**

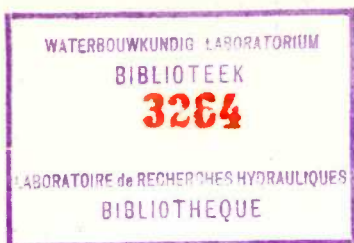
*Membre de l'Académie royale des Sciences coloniales.*

---

Communication présentée à la séance du 30-1-1959  
de la  
Classe des Sciences techniques  
de l'  
Académie royale des Sciences coloniales  
(*Bull. des Séances* 1959, N. S., T. V, fasc. 3, pp. 737-763).

---

**Exemplaire distribué par l'**  
**Institut national pour le Développement du Bas-Congo**  
3, rue Montoyer  
**BRUXELLES 4**  
(Belgique)



**R. Van Ganse. — Les débits du fleuve Congo  
à Léopoldville et à Inga.**

**1. Introduction.**

La connaissance du débit du fleuve Congo à Inga est évidemment une des données fondamentales des problèmes de l'aménagement hydroélectrique.

Depuis 1927, des campagnes de mesure du débit ont eu lieu dans la région des passes divagantes en aval de Boma [2] \*. On savait ainsi que les crues annuelles du fleuve, en décembre, peuvent dépasser 60.000 m<sup>3</sup>/s, et qu'à l'étiage, en juillet-août, le débit peut descendre en dessous de 25.000 m<sup>3</sup>/s. Les maxima et minima restaient cependant inconnus.

A partir de 1955, en vue de l'aménagement d'Inga, de nombreuses mesures de débit ont été effectuées dans une section de jaugeage bien définie à Kalina (Léopoldville) (*fig. 1*). Elles furent réalisées, avec le concours constant du Service des Voies navigables, par la brigade d'études de SYDELCO, passée en 1957 sous la gestion de la REGIDESO, et en 1958 sous celle de l'Institut national d'Études pour le Développement du Bas-Congo.

L'objet de la présente communication est de présenter les résultats de 77 jaugeages effectués à Kalina, ainsi que les fonctions algébriques par lesquelles la relation entre les débits du fleuve et la hauteur des eaux à Léopoldville peut s'exprimer.

Cette formule permet de bénéficier des lectures limnimétriques effectuées à Léopoldville depuis 1902 pour

\* Les chiffres entre [ ] renvoient à la bibliographie *in fine*.

connaître les débits que le fleuve a présentés au cours des 56 dernières années.

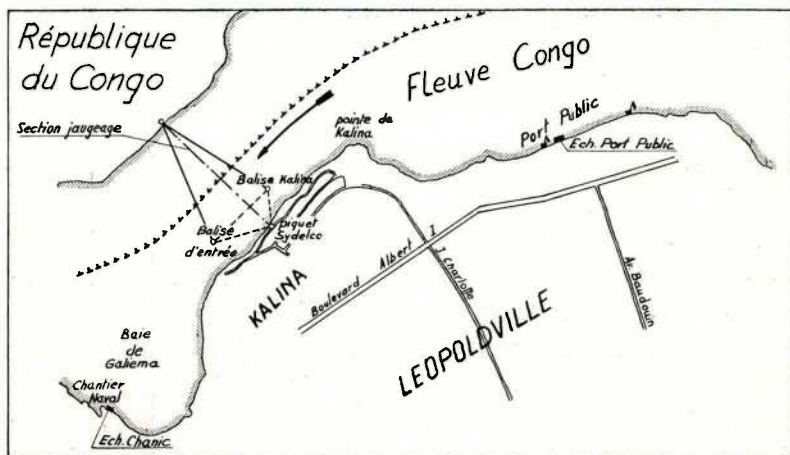


FIG. 1. — Situation de la section de jaugeage de Léopoldville-Kalina.

En deuxième lieu, il a été procédé à l'évaluation de la correction à ajouter au débit à Léopoldville pour obtenir le débit à Inga. Cette correction correspond au débit des affluents qui viennent grossir le fleuve entre Léopoldville et Inga.

## 2. Modes opératoires.

La section de jaugeage a environ 1500 m de largeur et la profondeur atteint 25 m environ ; la vitesse du courant peut dépasser 2 m/s. Ces chiffres montrent l'ampleur et la force du fleuve qui était l'objet des investigations. La présente communication ne vise pas à détailler la remarquable organisation des opérations de jaugeage : il faut souhaiter qu'elle soit décrite un jour.

La section de jaugeage fut explorée en 15 stations distantes de 100 m l'une de l'autre. A chaque station, les opérations suivantes eurent lieu :

— Mouillage du remorqueur *Atlas* du Service des Voies navigables, transportant les opérateurs et le matériel, dans l'alignement de la section de jaugeage ;

— Détermination, au sextant, de la position exacte ;

— Mesure de la profondeur, à l'écho-sondeur Bendix et au câble gradué ;

— Mesure des vitesses du courant, à la surface, aux 2/10, 4/10, 6/10, 8/10 de la profondeur et près du fond, au moyen du moulinet O T T, type V — Arkansas.

Simultanément, à partir du 48<sup>e</sup> jaugeage (février 1958) les directions du courant ont été mesurées à l'appareil Mulde-Volturno.

A partir du 48<sup>e</sup> jaugeage également, un profil continu de la section a été relevé, pour chaque jaugeage, à l'écho-sondeur.

La durée des opérations était d'une heure environ à chaque station ; ce qui portait la durée totale d'un jaugeage à 15 h soit deux jours ouvrables.

La mise en valeur des lectures faites à bord du bateau comporte, d'une part, le calcul des vitesses moyennes sur chaque verticale, par la méthode semi-graphique ; et d'autre part, la détermination des sections mouillées comprises entre verticales. Il en résulte les débits partiels de chacun des panneaux compris entre deux stations consécutives, et par sommation, le débit total.

Les sections mouillées ont été calculées d'après les profondeurs mesurées aux différentes stations ; le fond du fleuve est représenté, dans ce cas, par une ligne brisée.

Ce mode de calcul précédent a été poursuivi pour tous les jaugeages.

Nous disposons donc de 77 résultats calculés de cette façon. Ils seront désignés dans ce qui suit par l'indice 1.

Mais, en outre, à partir du 48<sup>e</sup> jaugeage, deux nouveaux modes de calcul ont été appliqués en même temps que le premier.

Dans l'un, dont les résultats seront désignés par l'indice 2, les sections mouillées ont été planimétrées d'après le profil continu relevé, le jour du jaugeage, à l'écho-sondeur. Le fond du fleuve est donc représenté par une courbe continue.

Dans l'autre, dont les résultats sont désignés par l'indice 3, les sections mouillées ont également été planimétrées d'après le profil continu obtenu au moyen de l'écho-sondeur, mais en outre, les vitesses ont été corrigées d'après la direction du courant.

Nous disposons donc de 30 résultats d'indice 2 et de 30 résultats d'indice 3, comparables, chacun à chacun, aux 30 derniers résultats d'indice 1.

### 3. Présentation des résultats des jaugeages.

Le *tableau I* ci-après reproduit les débits mesurés en 3 séries, correspondant aux trois modes de calcul, les séries n° 2 et n° 3 ne commençant qu'avec le jaugeage n° 48. En regard ont été disposées les dates des mesures de débit, et les lectures limnimétriques faites à ces dates à l'échelle du Port Public de Léopoldville.

Les données du *tableau I* ne sont pas celles données par les feuilles de calcul originales. Celles-ci renseignent les débits à  $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$  près, soit avec 7 chiffres significatifs. Quant aux hauteurs, elles sont données normalement au cm près, mais souvent elles comportent le  $0,5 \text{ cm}$  ; ceci provient de ce que, pour des jaugeages s'étalant sur deux jours consécutifs, on a adopté la moyenne de deux lectures journalières consécutives de l'échelle. Les hauteurs, au *tableau I*, sont toutes des nombres entiers de cm, donc à 3 chiffres significatifs. Les hauteurs originales comportant  $0,5 \text{ cm}$  ont été arrondies au cm entier supérieur, avec une majoration correspondante du débit correspondant à  $0,5 \text{ cm}$  (soit  $30$  à  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  suivant la hauteur). Les débits, éventuellement corrigés ainsi, ont été arrondis

aux  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  les plus proches et exprimés en unités de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  ; ils sont ainsi représentés également par des nombres de 3 chiffres.

Ces remaniements, tout en ne réduisant aucunement la précision réelle des résultats — on verra que l'écart type est de plusieurs centaines de  $\text{m}^3/\text{s}$  — ont rendu praticables les calculs menant aux paramètres de la fonction représentative.

Tableau I. — Jaugeages à Kalina.

N <sup>o</sup> du jau- geage	Date	Lecture échelle h (cm)	Débits mesurés en $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$		
			q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>
1	8- 9. 9.55	160	331		
2	4- 6.10.55	290	448		
3	26-29.10.55	374	535		
4	8-10.12.55	480	607		
5	27-28.12.55	435	559		
6	9-10. 1.56	363	497		
7	25-26. 1.56	310	462		
8	8- 9. 2.56	233	383		
9	20-22. 2.56	185	350		
10	6- 7. 3.56	160	340		
11	25-27. 4.56	270	425		
12	14-15. 5.56	336	489		
13	4- 5. 7.56	217	392		
14	12-13. 7.56	173	355		
15	27-28. 7.56	112	313		
16	2- 3. 8.56	94	313		
17	8- 9. 8.56	102	314		
18	23-24. 8.56	96	304		
19	29-30. 8.56	104	313		
20	4- 5. 9.56	133	335		
21	7- 8. 9.56	146	343		
22	21-22. 9.56	193	375		
23	12-13.10.56	262	433		
24	29-30.10.56	301	460		
25	13-14.11.56	350	507		
26	27-28.11.56	401	536		

Tableau I. — Jaugeages à Kalina (*suite*).

No du jau- geage	Date	Lecture échelle h (cm)	Débits mesurés en 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> s		
			q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>
64*	12-13. 8.58	—11	236	237	235
65	13-14. 8.58	— 6	239	241	236
66	18-19. 8.58	34	264	272	265
67	20-21. 8.58	44	265	269	265
68	22-23. 8.58	51	269	273	270
69	2- 3. 9.58	62	273	277	274
70	3- 4. 9.58	63	275	282	273
71	22-23. 9.58	111	306	303	299
72	29-30. 9.58	121	316	324	321
73	9-10.10.58	150	343	344	339
74	13-14.10.58	152	338	358	355
75	22-23.10.58	180	361	368	365
76	28-29.10.58	209	372	379	376
77	18-19.11.58	274	424	428	423
78	16-17.12.58	276	423	435	429

#### 4. Recherche de la fonction limnimétrique du débit.

##### 4.1 Calcul des paramètres (Fig. 2).

Dans un diagramme représentant les résultats des 77 jaugeages de la série 1 avec les hauteurs  $h$  en abscisses et les débits mesurés  $q$  en ordonnées, les points figuratifs laissent deviner une courbe parabolique de la forme

$$q = a + bh + ch^2 \quad (1)$$

Les paramètres  $a$ ,  $b$ ,  $c$  de cette fonction ont été calculés en posant égales à zéro les dérivées partielles, par rapport à  $a$ ,  $b$  et  $c$ , de l'expression de la somme des carrés des écarts entre les valeurs  $q$  mesurées et les valeurs  $(a + b + ch^2)$ . Cette somme de carrés est minimum pour

\* Le jaugeage n° 63 a été annulé.

Tableau I. — Jaugeages à Kalina (*suite*).

N <sup>o</sup> du jau- geage	Date	Lecture échelle h (cm)	Débits mesurés en 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> s		
			q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>
27	4- 5.12.56	421	555		
28	8- 9. 1.57	388	546		
29	15-16. 1.57	364	520		
30	28-29. 2.27	291	456		
31	8- 9. 2.57	230	399		
32	7- 8. 3.57	128	340		
33	25-26. 3.57	226	392		
34	3- 4. 4.57	248	421		
25	10-11. 5.57	296	436		
36	31.5- 1. 6.57	268	419		
37	2 - 3. 7.57	206	377		
38	15-16. 7.57	177	364		
39	25-26. 7.27	129	321		
40	7- 8. 8.57	118	323		
41	19-20. 9.57	178	366		
42	28-29.10.57	261	426		
43	30-31.10.57	268	439		
44	13-14.11.57	337	485		
45	26-27.11.57	372	505		
46	9-10.12.57	397	518		
47	21-22. 1.58	362	500		
48	17-18. 2.58	168	342	354	341
49	10-11. 3.58	76	293	299	293
50	17-18. 3.58	72	289	291	287
51	25-26. 3.58	96	299	309	306
52	20-21. 5.58	180	352	358	351
53	23-24. 6.58	83	289	298	294
54	7- 8. 7.58	40	272	271	265
55	10-11. 7.58	23	256	257	253
56	14-15. 7.58	13	251	257	254
57	16-17. 7.58	17	257	259	256
58	18-19. 7.58	21	258	263	260
59	24-25. 7.58	24	256	259	256
60	29-30. 7.58	35	260	265	261
61	4- 5. 8.58	19	258	259	257
62	7- 8. 8.58	— 1	246	248	245

les valeurs de  $a$ ,  $b$ ,  $c$  constituant la solution d'un système de trois équations dites « normales » fournies par l'annulation des dérivées partielles.

Voici la solution de ce système :

$$\begin{aligned} a &= 243,032\ 627 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } 24303,2627 \text{ m}^3/\text{s} ; \\ b &= 0,58\ 513\ 580 \cdot 10^2 \text{ m}^3/\text{s cm} \text{ ou } 5851,3580 \text{ m}^2/\text{s} ; \\ c &= 3,790\ 525 \cdot 10^{-4} \cdot 10^2 \text{ m}^3/\text{s cm}^2 \text{ ou } 379,0525 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Comme vérification, l'introduction de ces valeurs dans l'équation normale  $Na + b\Sigma h + c\Sigma h^2 = \Sigma q$  (avec  $N = 77$ ) fournit bien la somme des débits mesurés,  $\Sigma q$ , à  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  près, la valeur de cette somme étant  $2.870.900 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4. 2 *Calcul des écarts.*

L'expression du débit en fonction de la hauteur est donc :

$$q = 24303,2627 + 5851,3580 h + 379,0525 h^2 \quad (2)$$

avec  $q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$  et  $h$  en mètres.

La somme des carrés des écarts entre les débits mesurés et les débits calculés par la fonction (2) est donnée par l'expression

$$\Sigma(q - \ddot{q})^2 = \Sigma q^2 - (a\Sigma q + b\Sigma qh + c\Sigma qh^2) \quad (3)$$

avec  $\ddot{q} = \text{débit calculé} = a + bh + ch^2$ .

On trouve :

$$\Sigma(q - \ddot{q})^2 = 48.550.398 \text{ (m}^3/\text{s)}^2$$

d'où, en divisant par 77, le carré moyen de cet écart :

$$\sigma^2 = 630.524,66 \text{ (m}^3/\text{s)}^2$$

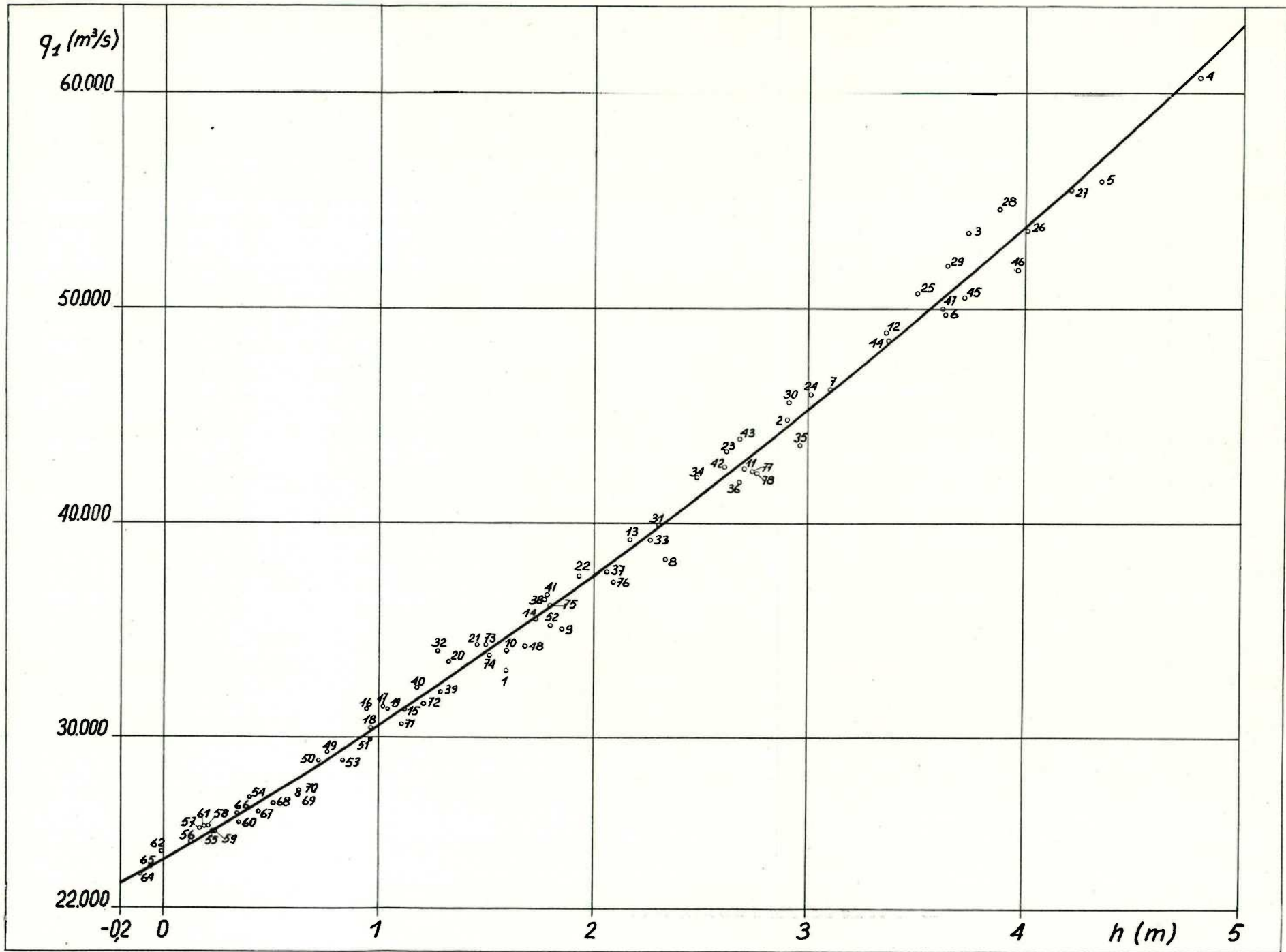


FIG. 2. — Résultats des jaugeages en fonction des lectures d'échelle du Port Public de Léopoldville.

d'où l'écart quadratique moyen :

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 794,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

ce qui représente 2,1 % du débit moyen (37400 m<sup>3</sup>/s).

L'écart quadratique moyen précité ne représente pas bien l'imprécision résultant de la courbe parabolique ; en effet, le diagramme (*Fig. 2*) montre bien que les points figuratifs des observations sont groupés plus près de la courbe pour les faibles valeurs de  $h$  que pour les valeurs plus élevées de cette variable indépendante.

Nous avons donc procédé au calcul des 77 écarts individuels  $(q - \hat{q}) = -(a + bh + ch^2 - q)$  et à l'analyse de leur répartition. Les résultats montrent que, des 77 écarts calculés, 39 sont positifs et 38 négatifs ; et qu'ils sont répartis normalement, c'est-à-dire, suivant la fonction de Gauss, autour de zéro, avec un écart type qui correspond bien à la valeur 794 m<sup>3</sup>/s précitée.

En portant dans un diagramme, en fonction de  $h$ , ces écarts en valeur absolue, on obtient un nuage de points figuratifs qui s'élargit pour des valeurs croissantes de  $h$ . Effectivement, on trouve, entre les valeurs absolues  $y = |(\hat{q} - q)|$  des écarts et les hauteurs  $h$ , un coefficient de corrélation  $r$  :

$$r = \left( \frac{\Sigma hy}{N} - \frac{\Sigma h \Sigma y}{N^2} \right) \left( \Sigma h^2 - \frac{(\Sigma h)^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \Sigma y^2 - \frac{(\Sigma y)^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,4185.$$

En vue d'éprouver la signification de ce coefficient, il a été procédé à la transformation

$$X = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} = 1,1513 \log \frac{1+r}{1-r} = 0,44586$$

où  $X$  est distribué normalement avec un écart type  $(N - 3)^{-\frac{1}{2}} = 0,11625$ .

Dès lors les limites de confiance à 95 % de X, soit  $(X \pm 1,96 \sigma_x)$  où  $\sigma_x$  est l'écart type de X, conduisent à des limites de confiance du même degré pour  $r$ , qui sont  $r = 0,588$  et  $r = 0,226$ .

La corrélation est donc assez faible mais néanmoins certaine.

Par conséquent, il est permis d'exprimer les écarts absolus  $y$  en fonction de  $h$  par une droite de régression, pour l'équation de laquelle on trouve :

$$y = 332,4 + 159,3 h \text{ m}^3/\text{s} \quad (h \text{ en m}). \quad (4)$$

Telle est, pour une valeur donnée de  $h$ , la valeur moyenne de l'écart  $y = |q - \bar{q}|$ .

Sachant que l'écart type vaut  $\sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1,253$  fois l'écart absolu moyen, on trouve pour l'écart type  $\sigma y$  :

$$\sigma y = 416 + 200 h \text{ m}^3/\text{s}$$

et pour l'écart probable  $e_y$ , qui vaut 0,6745 fois l'écart type :

$$e_y = 281 + 135 h \text{ m}^3/\text{s}$$

soit pour  $h = 0 \text{ m} \quad 1 \text{ m} \quad 2 \text{ m} \quad 3 \text{ m} \quad 4 \text{ m} \quad 5 \text{ m}$

$$e_y = 281 \quad 416 \quad 551 \quad 686 \quad 821 \quad 956 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

L'écart probable varie donc avec le débit, depuis 1,2 % à l'étiage jusque 1,6 % à la crue.

#### 4. 3 *Épreuve de la suffisance de la parabole du 2<sup>e</sup> degré.*

La question se pose de savoir si une parabole de degré supérieur, par exemple du 3<sup>e</sup> degré, ne représenterait pas mieux les points observés.

Avant d'entamer le calcul très long d'une telle fonction, il a été examiné à quel point l'écart entre la parabole du 2<sup>e</sup> degré et une simple droite de régression est significatif.

La droite de régression  $\dot{q} = m + nh$  des 77 débits observés en fonction de  $h$  a donc été calculée. On trouve :

$$\dot{q} = 23277,8276 + 7427,2245 h. \quad (5)$$

La somme des carrés des écarts

$$\Sigma(q - \dot{q})^2 = \Sigma q^2 - m\Sigma q + n\Sigma qh = 75.979.787 \text{ (m}^3/\text{s)}^2$$

D'autre part on a, avec  $\bar{q} = \Sigma q / 77 =$  la moyenne des débits observés,

$$\Sigma(q - \bar{q})^2 = 6.780.871.299 \text{ (m}^3/\text{s)}^2.$$

L'analyse des variances s'établit alors comme suit :

Catégorie	Somme des carrés	Degrés de liberté
Résiduelles	$\Sigma(q - \dot{q})^2 = 48.550.398$	N - 3 = 74
Parabole par rapport à la droite	$\Sigma(\dot{q} - \bar{\dot{q}})^2 = \frac{27.428.389}{75.979.787}$	1
Droite par rapport à la moyenne	$\Sigma(\bar{\dot{q}} - \bar{q})^2 = \frac{6.704.891.512}{6.780.871.299}$	1
Total	$\Sigma(q - \bar{q})^2 = 6.780.871.299$	76

Le degré de signification de la déviation de la parabole à partir de la droite s'éprouve en calculant l'expression

$$t = \left( \frac{\Sigma(\dot{q} - \bar{\dot{q}})^2}{\Sigma(q - \bar{q})^2 \cdot 2/2} \right)^{\frac{1}{2}} = 1,063.$$

On trouve dans les tables de STUDENT-FISHER qu'une telle valeur de  $t$ , avec 74 degrés de liberté, a une probabilité d'environ 0,30 de se produire par le seul effet du hasard.

On en conclut que la déviation de la parabole à partir de la ligne droite n'est que peu significative.

Il en résulte que la différence entre une parabole du 3<sup>e</sup> degré et celle du 2<sup>e</sup> degré serait encore moins



significative, et qu'aucun gain de précision ne peut être atteint par le calcul d'une parabole de degré supérieur au deuxième.

Cela ressort aussi de l'examen de la *fig. 2*, qui montre que les points figuratifs des observations se situent de part et d'autre, mais à des distances parfois assez grandes, de la parabole.

Cette dispersion des observations du débit est manifestement due à l'imprécision des hauteurs  $h$ , qui ont pu varier notablement pendant la durée assez longue des opérations de jaugeage.

## 5. Comparaison des trois variantes des essais n<sup>os</sup> 48 à 77.

### 5.1 Fonctions représentatives.

Comme il a été dit au paragraphe 2, les 30 jaugeages n<sup>os</sup> 48 à 77 ont fourni trois séries de résultats provenant de trois procédés d'interprétation.

Nous allons examiner si les différences constatées entre ces 3 séries sont significatives et permettent des conclusions.

Pour ces trois séries, les paramètres de la parabole  $q = a + bh + ch^2$  ont été calculés par la méthode des moindres carrés comme il a été dit au paragraphe 4. Voici ces paramètres, les sommes des carrés des écarts, et les écarts quadratiques moyens avec comme unités,  $10^2 \text{ m}^3/\text{s}$  pour les débits et le cm pour les hauteurs :

Série	1	2	3
$a$	243,901600	245,868000	242,534200
$b$	0,545674	0,603136	0,582747
$c \times 10^4$	3,919280	2,639560	3,120210
$\Sigma(q - q)^2$	401,982000	701,925000	882,082000
$\sigma$	3,660000	4,840000	5,420000

Du fait que les hauteurs, dans ces séries, ne dépassent pas 2,74 m, les paraboles représentatives sont presque des droites.

Nous avons calculé les paramètres des droites de régression  $\dot{q} = a + b\dot{h}$  de ces trois séries, ainsi que les sommes des carrés  $\Sigma(q - \dot{q})^2 = \Sigma q^2 - (a\Sigma q + b\Sigma h)$  et les écarts quadratiques moyens.

Série	1	2	3
$a$	240,959000	243,886000	240,192000
$b$	0,641779	0,667861	0,659258
$\Sigma(q - \dot{q})^2$	596,392000	792,012000	1000,912000
$\sigma$	4,460000	4,940000	5,780000

Nous constatons que les écarts quadratiques moyens sont à peine supérieurs à ceux fournis par les paraboles : ceci indique que dans ce cas le gain de précision fourni par la parabole par rapport à la droite est minime.

Dès lors, nous pouvons valablement discuter la signification des différences entre les paramètres des droites de régression.

### 5. 2 Comparaison des coefficients de pente des droites de régression.

Nous examinerons au moyen du critère de STUDENT-FISHER si les différences  $(\dot{b}_1 - \dot{b}_2)$  et  $(\dot{b}_1 - \dot{b}_3)$  sont significatives ou non.

La variance estimée de  $(b_1 - b_2)$  est la somme des variances de  $b_1$  et de  $b_2$ , c'est-à-dire :

$$\frac{\Sigma(q_1 - \dot{q}_1)^2 + \Sigma(q_2 - \dot{q}_2)^2}{(N_1 + N_2 - 4)} : \left( \Sigma h^2 - \frac{(\Sigma h)^2}{N} \right) \quad (6)$$

En divisant la différence  $(b_1 - b_2)$  par la déviation standard estimée, égale à la racine carrée de la variance (6), nous trouvons une valeur de la fonction  $t$  de STUDENT dont les tables nous apprennent la probabilité.

Nous trouvons, pour  $(b_1 - b_2)$ ,  $t = 1,594$  avec 56 degrés de liberté.

Une telle valeur a une probabilité 0,12 d'être atteinte

par le seul jeu du hasard : elle est donc peu significative, bien que la conclusion que la différence est réelle, soit probablement vraie à 7 chances contre une.

Pour la différence  $(b_1 - b_2)$ , procédant de la même façon nous trouvons  $t = 1,059$  avec 56 degrés de liberté.

Cette valeur de  $t$  a une probabilité de 0,30 de n'être due qu'au hasard : la différence n'est donc pas significative.

### 5. 3 *Comparaison des moyennes.*

Nous examinerons également au moyen du critère de STUDENT-FISHER les différences entre les moyennes  $\bar{q}_1 = 296,07$ ,  $\bar{q}_2 = 301,23$  et  $\bar{q}_3 = 296,80$  des trois séries.

Pour éprouver la signification de la différence  $(\bar{q}_1 - \bar{q}_2)$ , il y a lieu de calculer sa variance estimée, qui vaut :

$$\frac{2}{30} \times \frac{\Sigma(q_1 - \bar{q}_1)^2 + (q_2 - \bar{q}_2)^2}{(30 + 30 - 2)} = 184,267$$

La déviation standard de  $(\bar{q}_1 - \bar{q}_2)$  est donc  $\sqrt{184,267} = 13,57$ .

La fonction  $t$  de STUDENT-FISHER vaut donc

$$\frac{296,07 - 301,23}{13,57} = \frac{-5,17}{13,57} = -0,381$$

avec 58 degrés de liberté.

La probabilité d'une si petite valeur de  $t$  est supérieure à 0,70.

La différence  $(\bar{q}_1 - \bar{q}_2)$  n'est donc pas significative.

En effectuant les mêmes calculs pour la différence  $(\bar{q}_1 - \bar{q}_3)$ , nous trouvons une valeur de  $t = 0,0543$ , qui, avec 58 degrés de liberté, a une probabilité d'environ 0,95 de se réaliser par le seul hasard. La différence  $(\bar{q}_1 - \bar{q}_3)$  n'est donc pas significative.

### 5. 4 *Conclusions de la comparaison.*

En résumé, par rapport aux observations de débit de

la série 1, celles de la série 2 paraissent à première vue systématiquement plus grandes, d'une quantité dont la valeur moyenne est  $5,17 \times 10^2 = 517 \text{ m}^3/\text{s}$ , mais la dispersion des résultats est telle que nous ne pouvons attacher aucune signification à cette différence. Quant à la faible différence des pentes des droites de régression, elle n'est pas significative non plus.

Quant aux observations de la série 3, elles se confondent pratiquement avec celles de la série 1. La différence entre les moyennes et celle entre les pentes des droites de régression n'ont aucune signification eu égard à la dispersion des résultats.

Nous constatons donc que les deux variantes introduites depuis août 1958 dans le procédé de mesure, et dont on aurait pu attendre en théorie, des résultats plus précis, n'aboutissent à aucune différence significative d'avec la série 1.

Cela tient à l'importance de la dispersion des résultats vis-à-vis de la petitesse des corrections qui auraient pu résulter de l'adoption d'un profil continu du fond et l'usage de l'appareil directionnel.

Cette importante dispersion est due à l'imprécision de la hauteur  $h$ , pour laquelle on a adopté la moyenne des lectures quotidiennes des lectures d'échelle pour les deux ou trois journées consacrées à chaque jaugeage.

Il aurait certes été préférable de multiplier les lectures d'échelle pendant les jaugeages, et d'affecter le débit partiel de chaque « panneau » compris entre deux stations d'une correction tenant compte de la fluctuation du niveaux des eaux.

De toute façon, les résultats obtenus sont tout de même d'une précision très satisfaisante, eu égard aux énormes dimensions du fleuve, et parfaitement suffisante pour le but poursuivi.

### 6. Représentation exponentielle de la fonction limnimétrique des débits.

Dans un mémoire non publié [5], M. J. LAMOEN a exposé que la section de jaugeage de Kalina a été fort bien choisie, aussi près du début des rapides que la prudence le permet, et qu'ainsi on se rapproche d'un phénomène de déversement sur un seuil, pour lequel on a, d'une façon générale :

$$q = A(h - E)^r \quad (7)$$

avec  $q$  = le débit ;  
 $A$  = une constante ;  
 $h$  = la lecture limnimétrique ;  
 $E$  = une longueur, positive ou négative, assimilable à une cote de seuil ;  
 $r$  = un exposant.

L'expression (7) peut encore s'écrire

$$\log Q = \log A + r \log (h - E) \quad (8)$$

L'auteur précité signale un procédé graphique conduisant, par tâtonnements, à la fonction cherchée.

A titre de variante, nous avons utilisé un procédé algébrique déduisant, de la parabole trouvée par la méthode des moindres carrés, les paramètres de l'équation exponentielle (7).

Trois couples de valeurs  $(h, q)$  donnent :

$$\begin{aligned} q_1 &= a + bh_1 + ch_1^2 = A(h_1 - E)^r \\ q_2 &= a + bh_2 + ch_2^2 = A(h_2 - E)^r \\ q_3 &= a + bh_3 + ch_3^2 = A(h_3 - E)^r \end{aligned}$$

d'où  $q_1/q_2 = [(h_1 - E)/(h_2 - E)]^r$  ou

$$\ln(q_1/q_2) = r \ln [(h_1 - E)/(h_2 - E)] \quad (9)$$

$$q_1/q_3 = [(h_1 - E)/(h_3 - E)]^r \text{ ou} \\ \ln(q_1/q_3) = r \ln[(h_1 - E)/(h_3 - E)] \quad (9bis)$$

$$\text{d'où } \frac{\ln(h_1 - E) - \ln(h_2 - E)}{\ln(h_1 - E) - \ln(h_3 - E)} = \frac{\ln(q_1/q_2)}{\ln(q_1/q_3)} = k \quad (10)$$

$$\text{et } (h_1 - E)^{(h-1)} \cdot (h_2 - E) = (h_3 - E)^k \quad (11)$$

Cette équation est facilement soluble à la condition que  $k$  soit égal à 2.

Pour cela, il suffit que  $q_3 = \sqrt{q_1 q_2}$ , c'est-à-dire  $q_1/q_2 = (q_1/q_3)^2$ .

Après avoir choisi  $q_1$  et  $q_2$  arbitrairement, on choisira donc leur moyenne géométrique comme valeur de  $q_3$ , et on déduira, de la formule de la parabole, la valeur de  $h_3$  correspondante :

$$h_3 = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4c(q_3 - a)}}{2c} \quad (12)$$

La valeur de  $k$  étant ainsi fixée à 2, l'équation (11) devient :

$$(h_1 - E)(h_2 - E) = (h_3 - E)^2$$

$$\text{d'où } E = \frac{h_1 h_2 - h_3^2}{h_1 + h_2 - 2h_3} \quad (13)$$

$E$  étant connu, on tire de (9) :

$$r = \frac{\ln q_1 - \ln q_2}{\ln(h_1 - E) - \ln(h_2 - E)}$$

$r$  et  $E$  étant connus, on tire de (8)

$$\log A = \log q_1 - r \log (h_1 - E), \text{ d'où } A.$$

Ce calcul, appliqué à la parabole

$q = 24303,2627 + 5851,3580 h + 379,0525 h^2$  ( $m^3/s$ )  
donne l'exponentielle

$$q = 253,033 (h + 8,73635)^{2,10605} \quad (14)$$

Le niveau du seuil fictif du déversoir se situe donc à 8,74 m en dessous du zéro de l'échelle du Port Public de Léopoldville.

Quant à l'exposant  $r$ , sa valeur 2,106 se situe entre celles qu'il aurait pour un déversoir rectangulaire (1,5) et pour un déversoir triangulaire (2,5). Le profil concave du fond de la section de jaugeage montre que cela correspond à la réalité.

La *figure 3* montre que dans un diagramme doublement logarithmique, les points figuratifs d'abscisse  $(h + 8,74)$  m et d'ordonnée  $q$  s'alignent parfaitement sur une droite, dont le prolongement recoupe l'axe des ordonnées en  $q = 253 \text{ m}^3/\text{s}$  pour  $h + 8,74 = 1 \text{ m}$ .

**7. Résumé de la fonction limnimétrique à Léopoldville.**

En fonction des lectures  $h$  de l'échelle du Port Public de Léopoldville, le débit du fleuve Congo à Kalina s'établit ainsi :

$$q = 24303 + 5851,4 h + 379,05 h^2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cette relation donne lieu au tableau suivant :

Tableau II. — Débit du fleuve Congo à Léopoldville.

Lecture échelle Port public m	Débit $\text{m}^3/\text{s}$	Erreur probable <sup>(1)</sup> sur le débit, $\text{m}^3/\text{s}$	Augmentation par cm de hauteur, $\text{m}^3/\text{s}$
— 0,50	21.472	214	56
0,00	24.303	281	59
+ 0,50	27.324	348	62
1,00	30.534	416	66
1,50	33.933	483	70
2,00	37.522	551	74
2,50	41.301	618	77
3,00	45.269	686	81
3,50	49.426	753	85
4,00	53.773	821	89
4,50	58.310	888	92
5,00	63.036	956	96

<sup>(1)</sup> L'erreur probable est celle qui, sur un grand nombre d'observations, ne sera pas dépassée, en valeur absolue, dans 50 % des cas.

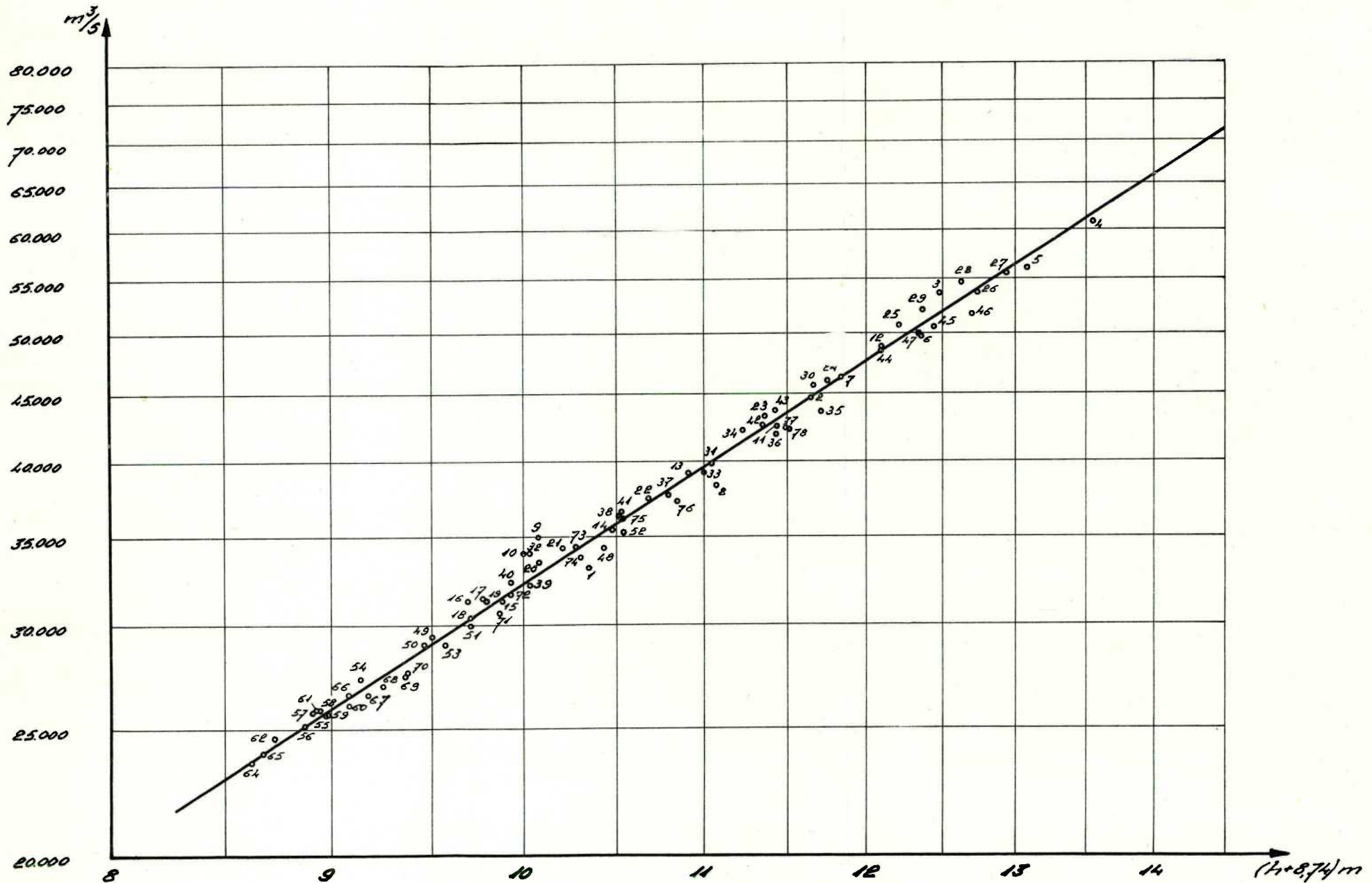


FIG. 3. — Représentation exponentielle de la fonction limnimétrique des débits.

## 8. Valeurs extrêmes des débits du fleuve à Léopoldville.

L'échelle limnimétrique du Port Public existe depuis 1925.

Les plus hautes et les plus basses eaux constatées ont été :

4,99 m le 18 décembre 1934 ;  
— 0,15 m le 11 août 1958.

Mais il existe à Léopoldville, depuis 1902, une autre échelle, au chantier naval CHANIC à Léopoldville-Ouest. En 1957, ses lectures étaient supérieures de 4 cm à l'étiage, et inférieures de 8 cm à l'époque de la crue, à celles de l'échelle du Port Public.

Les lectures extrêmes faites à cette échelle de Léopoldville-Ouest ont été :

5,17 m les 16 et 18 décembre 1908 ;  
— 0,47 m les 20 et 21 juillet 1905.

Avec les corrections correspondantes, les lectures à l'échelle du Port Public auraient été :

5,25 m les 16 et 18 décembre 1908, correspondant à un débit de  $65.470 \text{ m}^3/\text{s}$  ;  
— 0,50 m les 20 et 21 juillet 1905, correspondant à un débit de  $21.416 \text{ m}^3/\text{s}$ .

D'autre part, la moyenne des lectures des années 1925 à 1957 à l'échelle du Port Public est : 2,25 m.

Ce niveau moyen correspond à un débit de  $37.388 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Le débit moyen réel doit être un peu plus élevé, en raison du caractère parabolique de la fonction limnimétrique des débits.

## 9. Débit des affluents du Congo entre Léopoldville et Inga.

Entre Léopoldville et Inga (Kianda) le fleuve Congo reçoit des affluents nombreux, mais dont la plupart sont

peu importants, et dont les bassins versants totalisent 48.750 km<sup>2</sup> (Fig. 4).

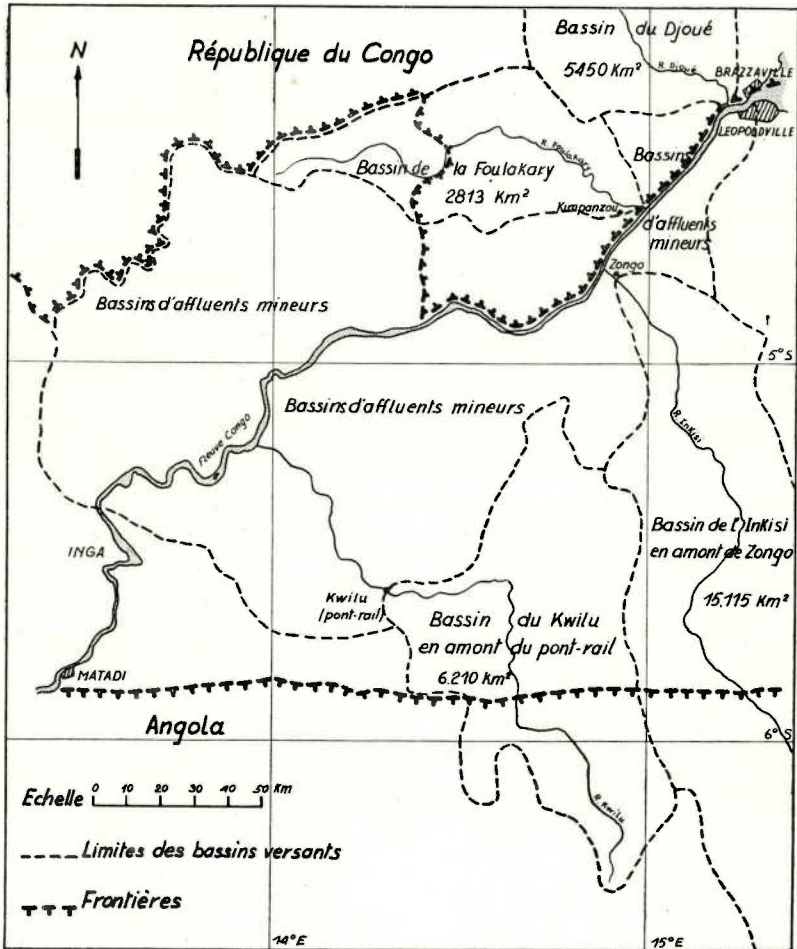


FIG. 4. — Bassins versants des affluents du Congo entre Léopoldville et Inga.

Quatre de ces affluents, les plus importants, ont fait l'objet d'observations limnimétriques et de jaugeages.

Affluent	Bassin versant km <sup>2</sup>	Débit moyen m <sup>3</sup> /s	Observations
Djoué	5450	125	
Foulakary	2813	56	
Inkisi	15115	208	En amont de Zongo
Kwilu	6210	79	En amont du pont-rail C.F.L.M.
	29588	468	

Les bassins versants des affluents mineurs du Congo et du Kwilu inférieur totalisent donc 19.162 km<sup>2</sup>. Les données relatives au Djoué et à la Foulakary sont publiées [1]. Celles relatives à l'Inkisi ont été calculées à partir des moyennes mensuelles 1951-1957 des lectures limnimétriques à Zongo-amont [2] et de 22 jaugeages effectués par SYDELCO [3]. Quant au Kwilu, nous disposons des moyennes mensuelles limnimétriques de la période 1945-1950 [3] et de 5 jaugeages effectués par la Société des Ciments du Congo [4], qui ont permis d'estimer les débits mensuels moyens.

En vue de caractériser le régime de ces quatre rivières, nous avons calculé les débits spécifiques mensuels moyens, c'est-à-dire les quotients de division des débits mensuels moyens par la superficie du bassin versant exprimée en milliers de km<sup>2</sup>.

Les débits spécifiques, représentés graphiquement à la *figure 5*, montrent les particularités suivantes :

- 1) Les quatre rivières présentent deux crues annuelles, la plus forte en avril (début mai pour le Djoué) et l'autre en décembre ;
- 2) Le régime du Djoué est beaucoup plus régulier que celui des trois autres rivières. Ceci tient au caractère boisé du bassin du Djoué, tandis que les trois autres rivières parcourent des pays de savane ;
- 3) L'analogie est frappante entre les régimes de la Foulakary, de l'Inkisi et du Kwilu.

Tableau III.  
Débits spécifiques des affluents principaux, en m<sup>3</sup> /s.

Mois	Djoué		Foulakary		Inkisi		Kwilu	
	Débit moyen	Par 1000 km <sup>2</sup>	Débit moyen	Par 1000 km <sup>2</sup>	Débit moyen	Par 1000 km <sup>2</sup>	Débit moyen	Par 1000 km <sup>2</sup>
Janvier	128	23,5	63	22,4	236	15,6	60	9,7
Février	124	22,9	56	19,9	192	12,7	65	10,5
Mars	130	23,8	75	26,7	232	15,3	94	15,1
Avril	136	25,0	109	37,1	380	25,2	174	28,0
Mai	149	27,4	84	29,8	316	20,9	126	20,3
Juin	120	22,0	32	11,4	148	9,8	62	10,0
Juillet	114	20,9	22	7,8	112	7,4	54	8,7
Août	110	20,2	17	6,1	94	6,2	41	6,6
Septembre	105	19,3	14	5,0	83	5,5	36	5,8
Octobre	113	20,6	26	9,3	120	8,0	36	5,8
Novembre	134	24,6	83	29,5	268	17,8	66	10,6
Décembre	140	25,7	94	33,4	335	22,2	133	21,4
Année	125	23,0	56	19,9	208	13,7	79	12,7

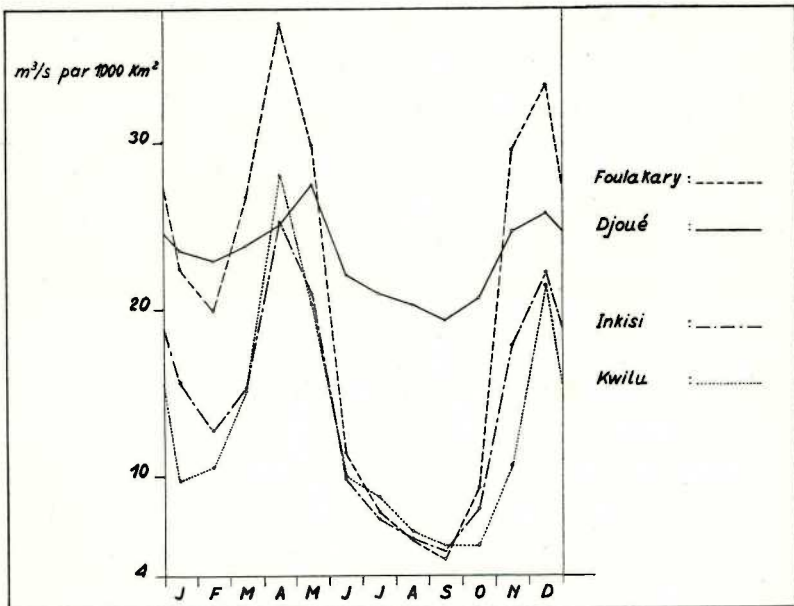


FIG. 5. — Débits spécifiques mensuels moyens des quatre affluents principaux.

Dès lors, nous ne serons pas éloignés de la vérité en adoptant pour les affluents mineurs des débits spécifiques égaux à la moyenne arithmétique de ceux de la Foulakary, de l'Inkisi et du Kwilu.

En effet, les bassins de ces affluents sont tous des régions de savane, et la superficie de ceux de la rive droite du Congo, contigus au bassin de la Foulakary, est à celle des bassins de la rive droite, contigus aux bassins de l'Inkisi et du Kwilu, dans une proportion de l'ordre de 1 à 2.

Voici donc les débits spécifiques qui seront adoptés pour leurs affluents mineurs.

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
m <sup>3</sup> /s par 1.000 km <sup>2</sup>	15,9	14,3	19,0	30,1	23,7	10,4	8,0	6,3	5,4	7,7	19,3	25,7

L'estimation des débits des affluents mineurs s'obtient en multipliant les débits spécifiques estimés par la superficie des bassins soit 19.162 km<sup>2</sup>.

Le *tableau IV* ci-après indique d'une part, les sommes des débits mensuels moyens des quatre affluents principaux, d'autre part ceux des affluents mineurs, et les totaux généraux qui représentent les corrections à ajouter aux débits de Léopoldville.

Tableau IV.  
 Corrections à ajouter aux débits à Léopoldville pour  
 obtenir les débits à Inga.

Mois	Débits mensuels moyens (m <sup>3</sup> /s)		Correction totale m <sup>3</sup> /s.
	Djoué + Foulakary + Inkisi + Kwilu	Affluents mineurs	
Janvier	487	305	792
Février	437	274	711
Mars	531	364	895
Avril	799	577	1376
Mai	675	454	1129
Juin	362	199	561
Juillet	302	153	455
Août	262	121	383
Septembre	238	103	341
Octobre	295	148	443
Novembre	551	370	921
Décembre	703	492	1195
Année	471	296	767

Avec cette correction, les débits à Inga deviennent :

<i>Débit correspondant à la hauteur moyenne :</i>	
37.388 + 767	= 38.155 m <sup>3</sup> /s
<i>Débit maximum observé (16-18 déc. 1908)</i>	
65.470 + 1.195	= 66.665 m <sup>3</sup> /s
<i>Débit minimum observé (20-21 juillet 1905)</i>	
21.416 + 455	= 21.871 m <sup>3</sup> /s

Il est à remarquer que la correction à appliquer est saisonnière, que son maximum et son minimum ne coïncident pas avec la crue et l'étiage du fleuve, et qu'elle ne peut donc pas être représentée par un pourcentage, ni par une fonction simple quelconque, du débit du fleuve à Léopoldville.

## 10. Conclusions.

Jusqu'à présent, les études de l'aménagement d'Inga, et notamment les travaux des ingénieurs-conseils auteurs d'avant-projets (1956-1957) et du Comité des Experts (1957), ont utilisé des données moins complètes que celles dont nous disposons aujourd'hui.

En effet, à la fin de 1956, on ne possédait que les résultats des jaugeages n<sup>os</sup> 1 à 25. Parmi ceux-ci, il s'en trouve un certain nombre relatifs à la crue de novembre-décembre 1955. Par contre, il n'existait aucune observation correspondant à une lecture d'échelle inférieure à 0,94 m. La courbe limnimétrique des débits restait très incertaine dans le domaine des débits d'étiage. Les observations récentes dont il vient d'être fait part précisent cette partie de la courbe. Elles conduisent d'ailleurs, pour les débits d'étiage, à des chiffres inférieurs à ceux auxquels on s'attendait généralement en 1956.

Quant à la correction à apporter au débit à Léopoldville pour obtenir celui à Inga, on s'était basé précédemment sur le rapport des bassins versants, évalué à 1,012. Cependant, le Comité des Experts s'était demandé s'il n'était pas préférable d'adopter pour le rapport des débits, spécialement pour les crues de fin d'année, une valeur de 1,03 ou 1,04.

Notre estimation de cette correction montre que la réalité se situe à peu près à mi-chemin entre ces deux points de vue, et que le rapport des débits est de 1,02 environ à l'époque de l'étiage aussi bien qu'à celle de la crue.

En ce qui concerne les débits de crue, les précisions nouvellement acquises n'apportent pas de modifications notables aux chiffres utilisés antérieurement. La prévision des crues exceptionnelles n'acquerra d'ailleurs de l'importance pratique qu'à l'époque, assurément encore loin-

taine, où un barrage total du fleuve rendra nécessaires des ouvrages d'évacuation de crue.

La question présente davantage d'importance en ce qui concerne les débits d'étiage. Bien qu'il ne soit prévu, à brève échéance, que des aménagements prélevant au fil de l'eau une fraction du débit d'étiage, il apparaît indiqué d'obtenir, par l'introduction de la correction saisonnière trouvée, une meilleure corrélation entre les lectures limnimétriques faites à Inga et celles de Léopoldville. En effet, la connaissance des débits d'étiage est nécessaire à l'étude de la prise d'eau et du canal alimentant la vallée Van Deuren, et à la prédiction des durées possibles des très basses eaux qui pourraient réduire momentanément la capacité de production des centrales électriques.

#### **11. Postface.**

L'exécution et le calcul des 77 opérations de jaugeage effectuées à Léopoldville ont représenté une somme de travail considérable, dont le mérite revient à MM. C. PISTORIO, A. KHOKHLOFF, J. POL, P. BETZ, J. WAKU et E. BALANDILA, ainsi qu'à M. A. DE TIESENHAUSEN, en ce temps chef de mission de SYDELCO. L'aide apportée à ces opérations par le Service des Voies navigables, et notamment par M. C. ROMBOUS qui en était le directeur, et par M. J. CHARLIER, a été extrêmement efficace.

L'auteur de la présente communication s'est borné au traitement, par le calcul, des résultats obtenus et à leur interprétation statistique. Étant chargé de mission officielle auprès de l'Institut d'Inga, il exprime ses vifs remerciements à l'égard de MM. J. LAMOEN, administrateur-président du Groupe technique de cet Institut, et E.-J. DEVROEY, secrétaire général, qui l'ont encouragé à entreprendre ce travail.

Bruxelles, le 19 mars 1959.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Annuaire hydrologique de la France d'outre-mer, année 1955 (Paris, 1957, Office de la Recherche scientifique et technique d'outre-mer).
- [2] DEVROEY, E.-J. : Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi 1957 (Bruxelles, 1958, *Mém.* in-8° A.R.S.C., Cl. Sc. techn., N. S., t. X, fasc. 1).
- [3] DEVROEY, E.-J. : Observations hydrographiques au Congo belge et au Ruanda-Urundi (1948-1950) (Bruxelles, 1951, Comité hydrographique du Bassin congolais).
- [4] DEVROEY, E.-J. : Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi, 1951 (Bruxelles, 1952).
- [5] LAMOEN, J. : Rapport individuel au Comité des Experts pour l'étude de l'aménagement hydroélectrique d'Inga, 1957 (document inédit).

