

SECTION D'HYDROLOGIE

ETUDE HYDROLOGIQUE DU KOUKOUROU A LA TRAVERSEE
DE LA ROUTE DE N'DELE

- I / Etalonnage
- 2 / Estimation du debit du KOUKOUROU à la cote 874 à l'échelle
- 3 / Estimation du debit des affluents du KOUKOUROU à cette même cote
- 4 / Estimation de la crue centenaire
- 5 / Cas d'un nettoyage du lit, à l'amont et à l'aval de la section
considérée

par R BERTHELOT

Ing E I H L ès Math

Maître de Recherches de l'ORSTOM

BANGUI, le 12 Décembre 1957

SIGNES CONVENTIONNELS

Q = Debit en M³/s

H = Cotes en cm à l'échelle millimétrique du KOUKOUROU

S = Section mouillée en m²

L = Largeur superficielle dans la section de mesures (immédiatement à l'amont du Bac) en M

H_m = Profondeur moyenne

R = Rayon hydraulique en m

P = Périmètre mouillé en m

U = Vitesse moyenne en m/s

I = Pente dans la section considérée (mesure sur 460)

C = Coefficient de Bazin

n = Coefficient de Manning

a = Coefficient de cineticité

I / ETALONNAGE DE LA RIVIERE KOUKOUROU

La courbe d'étalonnage du Koukourou au point R, à proximité du Village de YOMBO, sur la route de Fort Crampel à N'DELE, est définie par 9 mesures de débit

N°s	Date	Hauteurs	Debit
1	20 5 54	068	2,3
2	4 5 55	070	2,6
3	17 II 55	462	59
4	9 4 56	III	5,95
5	20 6 56	I73	I4
6	19 II 56	342	34,3
7	29 8 57	4I4	54,3
8	10 10 57	650	90
9	15 10 57	609	82,7

La cote maximum atteinte en 1956 est 874 . En 1957, le maximum n'est que de H = 660

A la cote 874, se produit une inondation importante, s'étendant sur 2km 300 rive gauche et sur 300 m Rive droite.

La cote du zero de l'échelle est 407, 465

La cote d'inondation rive gauche 415,659 Soit 819,4 à l'échelle

La cote d'inondation rive droite 415,229 soit 776,4 à l'échelle

Le lit du Koukourou est encombré d'arbres dont les branches se rejoignent couramment au dessus du lit mineur. Aux cotes supérieures à 410, il en résulte une rugosité importante du lit, diminuant le débit.

Graphiquement; ce phénomène se traduit par une cassure de la courbe $Q = Q(H)$ au voisinage des points 7 et 3 .

2 / ESTIMATION DU DEBIT DU LIT MINEUR DU KOUKOUROU A LA COTE 874

La section de mesures est située immédiatement à l'amont du bac.

Les mesures effectuées à la cote 650 donnent

$$Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$I = 14,8 \cdot 10^{-5} \text{ soit } 0,148 \text{ mm/m ou } 14,8 \text{ cm/Km}$$

$$R = 3,84$$

d'où l'on tire

$$C = Q/S (R I)^{1/2} \\ = 2I$$

$$\text{soit } n = R^{1/6} C^{-1} = 0,06$$

Cette valeur correspond d'après R E Horton aux zones à eau lente avec végétation et méandres.

Pour cette cote, il est légitime de considérer l'écoulement uniforme c'est à dire supposer la pente moyenne du fond égale à la pente superficielle que nous avons mesuré. Pour les cotes supérieures, l'écoulement uniforme subsiste, les cotes traduisent les hauteurs normales pour les différents débits

Nous chercherons le débit pour la cote 874, en considérant la section bien déterminée pour cette cote, ce qui existe physiquement et correspond à la limite entre les eaux libres et les graminées.

A) L'influence de la végétation des rives augmente avec la largeur de la rivière. Il faut choisir une valeur de n plus élevée: 0,07 ou 0,008 correspondant à des parois en état de plus en plus mauvais. (I)

Nous avons construit les courbes $S = S (H)$ $R = R (H)$ $L = L (h)$

On voit que pour $H = 874$

$$R = 4,94$$

$$S = 288$$

$$\text{Pour } n = 0,07 \quad U = 0,505 \text{ m/s}$$

$$\text{d'où } Q = 143 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Pour } n = 0,08 \quad U = 0,443 \text{ m/s}$$

$$\text{d'où } Q = 126 \text{ m}^3/\text{s}$$

B) Extrapolation de la courbe $Q = Q (H)$

La courbe $Q = Q (H)$ passe sensiblement par l'origine. Les effets de la turbulence sont prépondérants; on peut essayer d'ajuster une formule du type $Be^{k \cdot h}$.

$$Q = Q (H) = B h^k \quad \text{où } B \text{ et } K \text{ sont deux constantes}$$

(I) Nous raisonnons à l'aide du coefficient de Manning, qui a l'avantage de ne pas tenir compte du rayon hydraulique.

On détermine les constantes B et K par anamorphose logarithmique

Les résultats sont résumés par la courbe

$$\text{Log}_{10} Q = \text{Log}_{10} B + k \text{Log}_{10} H$$

on a porté $\text{Log}_{10} Q$ en ordonnées

$\text{Log}_{10} H$ en abscisses

on trouve $\text{Log}_{10} B = - 2,428$

$k = 1,56$

La droite ajustée passe par les points 4 6 8 et 9 c'est à dire traduit l'allure moyenne de la courbe dans sa partie moyenne et supérieure sans tenir compte de la cassure au voisinage des points 3 et 7

L'erreur sur k (H supérieur à 400) est inférieure à 2,2 %

Pour H = 374

$$Q = 145,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

6) Le tableau ci dessous donne le résumé des mesures effectuées

N°s	H	Q	S	U	Vms	VM
I	068	2,1	5,8	0,36	0,46	
2	070	2,7	II	0,35	0,36	
4	III	5,95	I8	0,33	0,34	
5	I73	I4,1	35,2	0,4	0,45	
6	342	34,3	60,7	0,56	0,634	0,814
7	414	54,3	98	0,553	0,524	0,9
3	462	59	I2I	0,486		0,896
9	609	82,7	I57	0,527	0,471	0,9
8	650	90	I77	0,5	0,424	0,888

...../.....

On voit la diminution de la vitesse superficielle fonction de l'effet de la végétation aux cotes supérieures. On constate d'autre part, une certaine constance de la vitesse moyenne dans la section. Pour les cotes supérieures à 340, la valeur moyenne est de 0,525 m/s. Cette constance s'explique par l'accroissement simultané du rayon hydraulique et du coefficient de Manning.

On peut obtenir un ordre de grandeur du débit à la cote 874, en ajoutant au débit à la cote 650, le débit d'une tranche supérieure de 2,24 m d'épaisseur avec la vitesse moyenne de 0,525 m/s.

En réalité, on devrait choisir une valeur inférieure à $0,525$ m/s tenant compte des conditions de l'écoulement vers la surface mais la dispersion des valeurs de la vitesse moyenne superficielle rend ce choix difficile.

Section mouillée de la tranche supérieure

$$dS = 108 \text{ m}^2$$

d'où $dQ = 56,7 \text{ m}^3/\text{s}$

soit le débit à la cote 874

$$Q \text{ inférieur à } \underline{146,7 \text{ m}^3/\text{s}}$$

D) Comparaison des résultats

Nous avons vu en A) qu'il fallait choisir un coefficient n plus élevé, la comparaison avec les deux autres paragraphes montre que la valeur convenable est voisine de 0,07 soit $Q = 143 \text{ m}^3/\text{s}$

L'extrapolation est ici la méthode la plus rigoureuse, elle nous donne

$$Q = 145,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Enfin, le dernier raisonnement montre que $146,7 \text{ m}^3/\text{s}$ est une limite supérieure des débits

Nous admettrons donc que le débit à la cote 874 est

$$Q = 145 \text{ m}^3/\text{s} \quad S = 288 \text{ m}^2 \quad U = 0,504 \text{ m/s}$$

3 / Estimation du débit des affluents du KOUKOUROU et de la zone d'inondation /-

Les mesures effectuées sur le M'Bala et le Yamou permettent de donner les chiffres suivants pour la cote 374 au Koukourou

.../....

Ayolo: $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$

Avec la zone d'inondation du Koukourou $Q = 20 \text{ M}^3/\text{s}$ (voir ci-dessous)

M'Bala $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

Yamou $Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$

Yambala $Q = 6 \text{ m}^3/\text{s}$

Lindo $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$

Ces affluents, surtout le M'Bala et le Yamou coulent au milieu de "bakos epais" amortissant fortement les effets du ruissellement, ce qui explique les valeurs relativement faibles des débits.

Zone d'inondation

La faible crue de 1957 ne nous a pas permis d'assister à une inondation comparable à celle de 1956. Cependant on peut estimer avec assez de précision le débit de la zone d'inondation en nous basant sur les résultats obtenus dans les cas analogues, au Tchad, où le phénomène est fréquent:

Deversements du Logone à Laï

Capture du Logone par la Mayo Kebbi

Fuites du Logone vers le Bailli Nord

Fuites de la région de Bongor

Zone d'inondation du Salamat à Tarangara

Zone d'inondation du Chari à Fort Archambault

Etc.....

L'expérience montre, que dans le cas du Koukourou (hautes graminées de savane boisée, faible pente, absence de dégagement aval) il faut prendre une vitesse moyenne de 0,05 m/s dans la zone d'inondation, soit

$$Q = 63 \text{ m}^3/\text{s}$$

C'est une valeur qui correspond d'ailleurs sensiblement à celle que l'on obtient par extrapolation.

Pour la zone d'inondation autour de l'Ayolo (560m²) il y a lieu de choisir une vitesse plus faible tenant compte de l'aspect du lit. Les mesures effectuées dans les bakos du Yamou et du M'Bala montrent que la vitesse moyenne doit être prise de l'ordre de 0,03 m/s soit

$$Q = 16,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

...../.....

debit auquel il faut ajouter le debit proprement dit de l'Ayolo soit 2M3/s

nous prendrons donc $Q = 20m^3/s$

pour la zone d'inondation de l'Ayolo, ce qui donne au total

Debit du Koukourou pour H = 874

$Q = 228 m^3/s$ dont 20 m³/s passant par la zone de l'Ayolo.

4 / ESTIMATION DE LA CRUE CENTENAIRE

On peut préciser que la crue decennale correspondrait sensiblement à 331 l/s/km², c'est à dire à un debit de 173m³/s inférieur à celui observé en 1956. Le rapport entre la crue decennale et la crue centenaire serait de 1,5 soit 49,5 l/s/km² et $Q = 259m^3/s$

Pour ce debit, on observerait dans les conditions actuelles une surelevation de l'ordre de 15 cm soit une hauteur à l'echelle de 890

5 / Debit du Koukourou au point C

Dans la section CD considerée sur le plan, le debit du M'Bala s'ajoute à celui du Koukourou

Pour H = 874 à l'echelle de la section R

$$Q = 228 + 10 = 238 m^3/s \text{ au point C}$$

Pour la crue centenaire, on aurait :

$$259m^3/s \times 238/228 = 270 m^3/s$$

6 / CAS D'UN NETTOYAGE DU MLT

L'application de la formule de Chezy à la cote 874 donne avec les valeurs

$$i = 14,8 \cdot 10^{-5}$$

$$R = 4,94$$

$$S = 238 m^2$$

$$Q = 145m^3/s$$

coefficient de Bazin

$$C = 18,7$$

.../....

En supprimant la végétation arbustive du lit à l'amont et à l'aval on augmenterait le coefficient C et on abaisserait le plan d'eau dans la section malheureusement, le calcul (voir annexe) montre que la distance à débrousser serait supérieure à 10 km de part et d'autre pour obtenir l'écoulement uniforme dans la section c'est à dire l'abaissement maximum (170 cm) Un débroussage du lit sur 1 km donnerait un abaissement du plan d'eau dans la section de l'ordre de 7 cm.

Calcul de l'abaissement du plan d'eau dans le cas d'un nettoyage du lit /-

Pour $H = 874$ on a $Q = 145 \text{ m}^3/\text{s}$ $S = 288 \text{ m}^2$

Et $C = 18,7$ dans les conditions naturelles

Le nettoyage du lit aura pour effet d'augmenter C

d'après Bazin avec $g = 1,75$ (cas des canaux en terre présentant une résistance exceptionnelle $C = 43,7$

d'après Ganguillet Kutter avec $n = 0,035$ (cas des rivières en mauvais ét.

$C = 40,7$

d'après Manning avec $n = 0,04$ (cas d'une rivière avec meandre présentant des endroits peu profonds propres, les parois étant en bon état)

$C = 32,7$

il y a lieu de diminuer le coefficient de Bazin donné par les tables, dans le cas présent d'un cours d'eau naturel. On prend en général une valeur comprise entre $0,5 C$ et C . Dans le cas du Koukourou, où il existe des meandres et des zones de profondeur faible, il convient de choisir $0,5$ ou $0,6 C$

Nous chercherons l'abaissement du plan d'eau dans la section R. en

supposant

1/ Un endiguement lateral supprimant les débordements

2/ La largeur superficielle est alors indiquée par

la courbe $L = L(H)$

3/ Un nettoyage du lit à l'amont et à l'aval sur

une distance à préciser.

A) Coefficient de Bazin $C = 1 \text{ à } 0,5 C$ soit 24

C'est une valeur sous estimée qui nous donnera une valeur minimum de l'abaissement du plan d'eau. Cette valeur correspond à n (Manning) = $0,0538$ soit sensiblement le cas d'une rivière avec meandre et endroits peu profonds avec parois en mauvais état, d'après la classification de R E Horton.

Nous ferons le calcul en procédant par approximations successives à partir de la formule de Chezy

.../.....

$$U_I = C (R I)^{1/2}$$

avec $C = 24$ $R = 4,94$ $I = 14,8 \cdot 10^{-5}$

on trouve $U_I = 0,659$

$$S_I = 220 \text{ m}^2$$

$$R_I = 4,21 \text{ m}$$

$$U_2 = 24 (R_I I)^{1/2}$$

$$= 0,6$$

$$S_2 = 242 \text{ m}^2$$

$$R_2 = 4,44 \text{ m}$$

$$U_3 = 24 (R_2 I)^{1/2}$$

$$= 0,616$$

$$S_3 = 235 \text{ m}^2$$

$$R_3 = 4,38 \text{ m}$$

$$U_4 = 24 (R_3 I)^{1/2}$$

$$S_4 = 234 \text{ m}^2$$

$$R_4 = 4,39 \text{ m}$$

l'iteration suivante donnerait une valeur comprise entre 4,38 et 4,39 pour R. Nous prendrons donc

$$R = 4,40 \quad U = 0,611 \text{ ce qui correspond à une hauteur à l'échelle}$$

le de $H = 776$

soit un abaissement de 98 cm dans la section considérée.

La largeur serait de 49 m

A la cote 874 le débit serait $Q = 157 \text{ m}^3/\text{s}$

Le calcul ci-dessus a été conduit avec un paramètre choisi nettement dans le sens de la sécurité.

B) Coefficient de Bazin égal à 0,6 C soit 29

Un calcul analogue montre pour le débit 145 m³/s un abaissement du plan d'eau de 170 cm

$$H = 784$$

$$Q = 145 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R = 404$$

.../....

Pour la cote 874 le debit serait alors de

$$Q = 226 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le debit du Koukourou observé dans les conditions naturelles à la cote 874 est, nous l'avons vu $Q = 208 \text{ m}^3/\text{s}$ si l'on excepte la zone d'inondation de l'Ayolo. Dans les conditions actuelles ce debit passerait à la cote $H = 841$

Portons le point $Q = 226 \text{ H} = 874$ sur le plan de la courbe d'éta-
lonnage
on voit (courbe en pointillé) que la forme normale des courbes
 $Q = Q(H)$ (d^2Q/dH^2 positif) est restituée à partir du point N° 7.

Physiquement, cela revient à dire que, si l'on supprime la ve-
getation dont l'importance relative croissante diminue le gradient de
debit pour les cotes supérieures à 450 à l'échelle, on obtient la courbe
en pointillé.

Si l'on porte de la même façon le point $Q = 187 \text{ H} = 874$ on
obtient encore un maximum de d^2Q/dH^2 au voisinage de $H = 450$ (I) laissant
apparaître une influence de la vegetation en contradiction avec nos hypo-
theses.

Il apparait donc legitime de choisir $C = 29$ soit

$$Q = 208 \quad H = 841$$

$$Q = 226 \quad H = 874$$

$$Q = 187 \quad H = 704$$

Pour la crue centenaire, on voit que, dans ces conditions, la
cote serait voisine de 940 à l'échelle

Distance à nettoyer

Soit s la distance mesurée suivant l'axe de la rivière

h la profondeur

Nous chercherons la distance à partir de l'équation generale de
la courbe de remous.

$$I - aQ^2L / gS^3$$
$$ds = \frac{\quad}{I (I - b Q^2 / RS^2I)} dh$$

a : coefficient de cineticité égal pour le Koukourou à $1,3I$

$$b = I/C^2$$

...../.....

L'integration graphique montre que la distance à debrousser, en choisissant une valeur de b n'annulant pas le denominateur c'est à dire ne faisant pas apparaitre la profondeur normale ailleurs que dans la section considerée voisinage du point R, est supérieure à 10 km

Il faudrait donc debrousser plus de 10 km à l'amont et à l'aval.

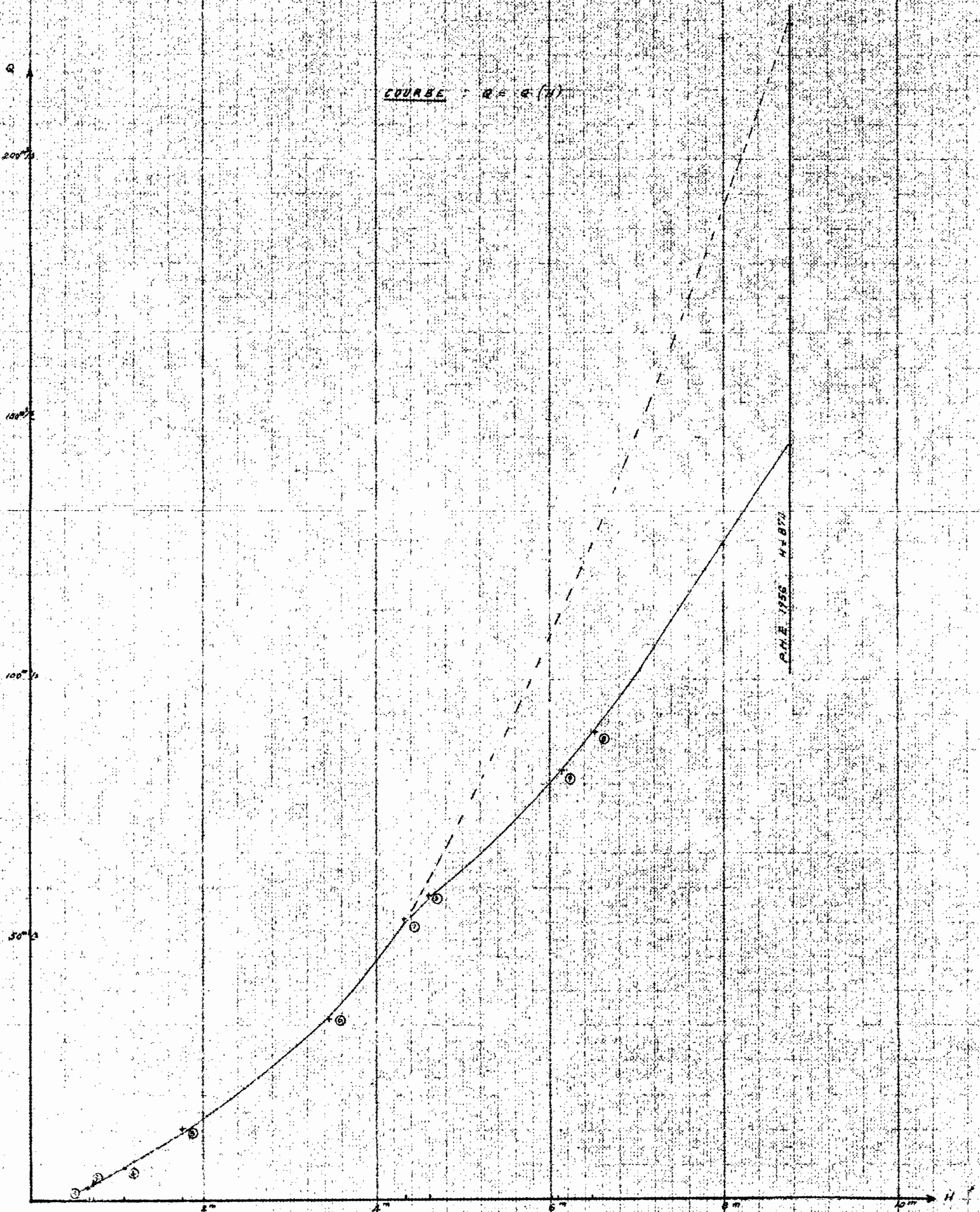
Un debroussement raisonnable sur 1km donnerait un abaissement du plan d'eau de quelques 7 cm, ainsi que le montre la resolution de l'equation

$$1.000 = \int_h^{874} \frac{I - aQ^2L/g S^3}{I (I - bQ^2/RS^2I)} dh$$

Étude hydrologique du KOUKOUROU à la traversée
de la route de N'DELE

Étalonnage de la rivière KOUKOUROU

COURBE : $Q = G(H)$



OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

SECTION D'HYDROLOGIE

Etude hydrologique du KOUKOUROU
à la traversée de la route N'DELE

Estimation du lit mineur du KOUKOUROU
à la cote 87A.

COURBES : $S = S(H)$
 $P = P(H)$
 $R = R(H)$
 $L = L(H)$

