

**OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER**

Section d'Hydrologie

Energie Electrique du Cameroun

DJEREM A MBAKAOU

Note hydrologique

Mars 1968

CENTRE O. R. S. T. O. M. DE YAOUNDÉ

I N T R O D U C T I O N

Par convention passée entre ENERGIE ELECTRIQUE du CAMEROUN et l'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER, cet organisme s'engageait à effectuer des études hydrologiques complémentaires concernant la construction des ouvrages du barrage de MBAKAOU.

Ces études sont les suivantes :

- 1 - Installation d'une échelle limnimétrique à l'aval du site de barrage ; détermination de la correspondance entre l'échelle amont installée en 1959 et l'échelle aval.

Etablissement d'une courbe hauteur - débit à l'échelle aval.
- 2 - Mesures de débit surtout au maximum, de façon à améliorer la courbe de tarage dans sa partie haute, et à préciser l'estimation de la crue exceptionnelle.
- 3 - Mesure de débit solide (matières en suspension) et évaluation du volume transporté au cours de l'année hydrologique.
- 4 - Installation et observation d'un bac d'évaporation et d'une station météorologique sommaire à proximité du site de barrage.
- 5 - Détermination du pH et analyse de l'eau du DJEREM.

La présente note rend compte des études qui font l'objet des trois premiers paragraphes. Les paragraphes 4 et 5 seront traités dans une autre note.

D J E R E M A M B A K A O U

1.1. STATIONS LIMNIMÉTRIQUES

Une première échelle limnimétrique a été installée en août 1959 sur le DJEREM à proximité du village de MBAKAOU.

L'implantation du barrage ayant été choisie en aval de l'échelle, il est apparu nécessaire de poser une deuxième échelle en aval du site du barrage, suffisamment loin pour n'être pas dans la zone de remous.

Le 17 mars 1967, nous installons, à 500 mètres en aval de l'aménagement et en rive droite, une échelle limnimétrique de 6 mètres d'amplitude.

Un nivellement effectué depuis la borne ENELCAM B2 située à 10 m du DJEREM dans l'axe du barrage nous donne l'altitude du zéro de l'échelle aval E2 :

Borne ENELCAM B2	830,12 m
Borne ORSTOM (près de l'échelle aval)	830,35 m
Zéro de l'échelle aval E2	825,30 m

Rappelons l'altitude de l'échelle amont E1

Repère IGN n° 6	847,50 m
Borne ORSTOM près de l'échelle amont	830,96 m
Zéro de l'échelle amont E1	825,70 m

La distance entre les deux échelles, mesurée sur les photographies aériennes, est d'environ 2,850 km.

1.2. OBSERVATIONS LIMNIMETRIQUES

Les deux échelles ont été observées sans interruption au cours de l'année 1967 ; cependant on relève de nombreuses fautes dans les relevés du lecteur de l'échelle aval E2, principalement en juillet et août.

Dans les tableaux I et II où sont indiquées les hauteurs journalières relevées aux deux échelles en 1967, nous avons délibérément supprimé les lectures douteuses.

1.3. CORRESPONDANCE ENTRE LES ECHELLES AMONT ET AVAL

A l'aide des relevés communs aux 2 échelles, on peut tracer (graphique I) une droite de correspondance pour les hauteurs comprises entre Zéro et 4,40 m à E2.

Cette droite peut se mettre sous la forme :
(les cotes étant exprimées en centimètres)

$$E2 = 0,96 E1 - 30$$

1.4. MESURES DE DEBITS

Le tableau III donne la liste des 21 jaugeages effectués depuis le 17 mars 1967, c'est-à-dire depuis la pose de l'échelle E2. Ils s'ajoutent aux 28 jaugeages effectués depuis la création de la station E1 de MBAKAOU.

Rivière: DJEREM

Station: MBAKAOU E2 Aval

Hauteurs journalières en cm

: Jours:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
: 1	:	:	:	: 20	: 51	: 65	:	:	:	:	: 267	: 143
: 2	:	:	:	: 20	: 55	: 85	:	:	: 410	:	: 259	: 141
: 3	:	:	:	: 20	: 53	: 100	:	:	: 410	: 365	: 257	: 140
: 4	:	:	:	: 19	: 50	: 113	:	:	: 410	: 355	: 250	: 139
: 5	:	:	:	: 17	: 61	: 110	:	:	: 410	: 362	: 252	: 137
: 6	:	:	:	: 16	: 63	: 115	:	: 355	: 410	: 387	: 250	: 136
: 7	:	:	:	: 15	: 53	: 120	:	: 355	: 405	: 404	: 254	: 135
: 8	:	:	:	: 14	: 45	: 111	:	: 358	: 415	: 407	: 250	: 132
: 9	:	:	:	: 13	: 40	: 100	:	: 340	: 420	: 413	: 239	: 130
: 10	:	:	:	: 13	: 35	: 100	:	: 340	: 423	: 428	: 230	: 128
: 11	:	:	:	: 15	: 33	: 123	:	: 350	: 425	: 430	: 222	: 124
: 12	:	:	:	: 17	: 33	: 120	: 223	: 350	: 425	: 428	: 213	: 121
: 13	:	:	:	: 18	: 34	: 121	: 223	: 360	: 420	: 428	: 207	: 119
: 14	:	:	:	: 18	: 33	: 121	: 230	:	:	: 422	: 200	: 118
: 15	:	:	:	: 18	: 34	: 119	:	:	:	: 420	: 196	: 117
: 16	:	:	:	: 18	: 36	: 113	: 255	:	:	: 428	: 192	: 115
: 17	:	:	: 21	: 18	: 40	: 106	:	: 400	: 354	: 428	: 188	: 113
: 18	:	:	: 19	: 16	: 44	: 100	:	: 400	: 350	: 425	: 182	: 111
: 19	:	:	: 18	: 13	: 46	: 101	:	: 400	: 350	: 412	: 179	: 108
: 20	:	:	: 17	: 12	: 40	: 100	:	: 400	: 349	: 393	:	: 108
: 21	:	:	: 17	: 12	: 42	: 110	:	: 400	: 370	: 380	: 171	: 107
: 22	:	:	: 17	: 11	: 44	: 109	:	: 400	: 374	: 373	: 168	: 104
: 23	:	:	: 16	: 11	: 47	: 109	:	: 397	: 373	: 365	: 165	: 103
: 24	:	:	: 15	: 12	: 47	: 110	:	: 385	: 358	: 352	: 162	: 102
: 25	:	:	: 16	: 14	: 47	: 119	:	: 360	: 359	: 332	: 159	: 102
: 26	:	:	: 18	: 17	: 50	: 119	:	: 347	: 364	: 310	: 156	: 101
: 27	:	:	: 18	: 18	: 70	: 119	:	: 347	: 357	: 291	: 156	: 100
: 28	:	:	: 18	: 22	: 80	: 117	:	: 347	: 358	: 280	: 150	: 100
: 29	:	:	: 19	: 31	: 70	: 120	:	: 347	: 380	:	: 148	: 99
: 30	:	:	: 20	: 43	: 65	: 133	:	:	: 387	:	: 145	: 99
: 31	:	:	: 20	:	: 61	:	:	:	:	:	:	: 98

DJEREM à MBAKAOU

Correspondance des Echelles amont et aval

Gr. I

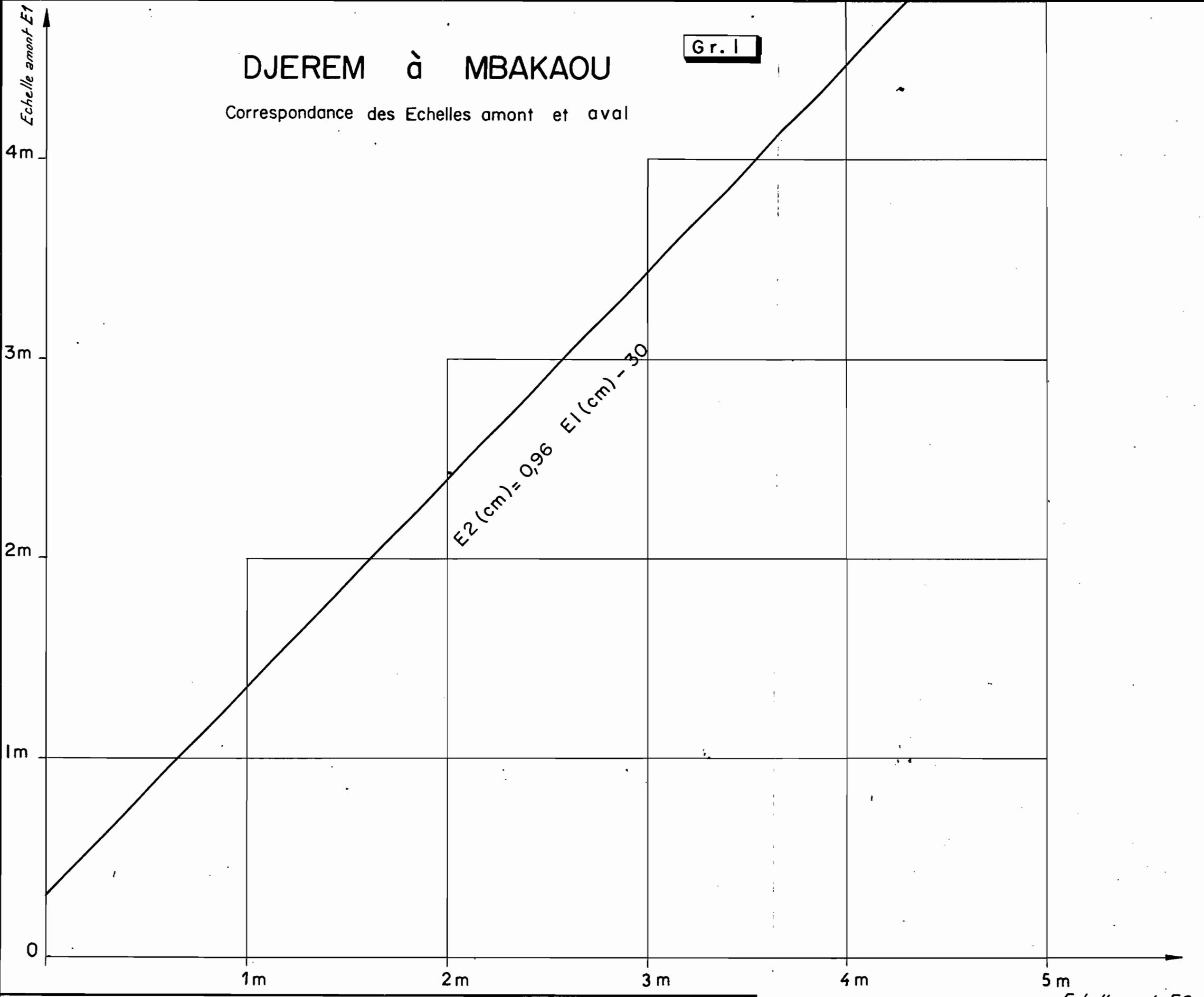


TABLEAU III

DATE	Hauteur à l'échelle		Débit m ³ /s
	E1 cm	E2 cm	
17. 3. 67	52	20	33
16. 9.	414	368	930
24. 9.	413	367	900
27. 9.	402	357	850
29. 9.	425	381	940
30. 9.	433	387	965
7. 10.	450	404	1052
9. 10.	461	414	1100
10. 10.	477	428	1180
14. 10.	466	420	1140
21. 10.	427	380	970
26. 10.	350	310	640
28. 10.	322	281	580
12. 11.	249	211	388
13. 11.	244	206	368
4. 12.	177	137	206
7. 12.	171	131	189
4. 2. 68	-	53	63,8
4. 2.	-	53	63,4
5. 2.	-	52	62,4
7. 2.	-	51	60,4

Le débit le plus fort observé et mesuré en 1967 a été trouvé égal à 1180 m³/s (10 octobre) et si toute la série de mesures que nous avons effectuées précise la courbe de tarage de la station jusqu'à la cote 4,80 à E1, il est regrettable que l'année 1967 présente le maximum le plus faible, avec celui de 1965 (H E1 = 4,71) en 9 années d'observations.

L'extrapolation des forts débits ne sera donc pas améliorée par cette nouvelle campagne de mesures.

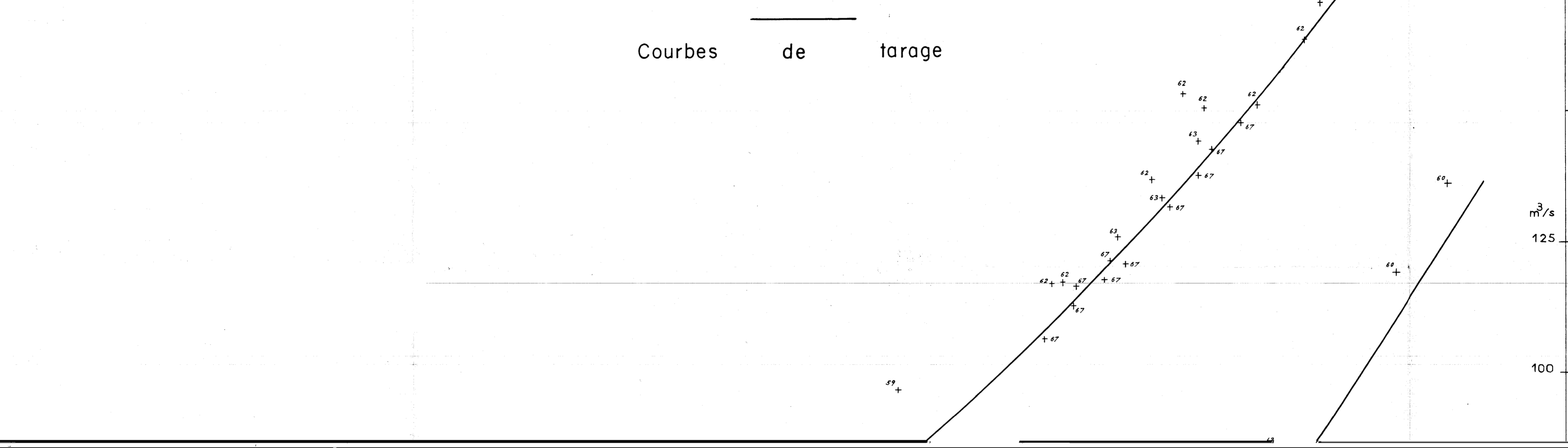
DJEREM à MBAKAOU E 1

Courbes de tarage

Débit en m³/s

1000
800

m³/s
1800
1600
1400
1200
1000
800



Cependant, du fait que le nombre d'années d'observations est maintenant plus important que lors du calcul indiqué dans la note IGECO de Juin 1966, le débit maximal de fréquence décennale est modifié ; il est inférieur au débit maximal de 1964, de sorte qu'on peut toujours admettre une valeur de 3 200 m³/s pour la crue du projet.

ECHELLE E2 AVAL

Les graphiques 3 et 4 représentent la courbe de tarage du DJEREM à MBAKAOU à l'échelle E2 aval.

Tous les jaugeages effectués depuis la pose de cette échelle sont indiqués sur le graphique 3 mais le tracé de la courbe a été obtenu à partir de la courbe de tarage établie pour l'échelle amont et d'après la correspondance entre les échelles.

Le tableau IV donne les éléments du barème d'étalonnage de l'échelle E2.

Gr. 3

DJEREM à MBAKAOU E 2

Courbe de tarage

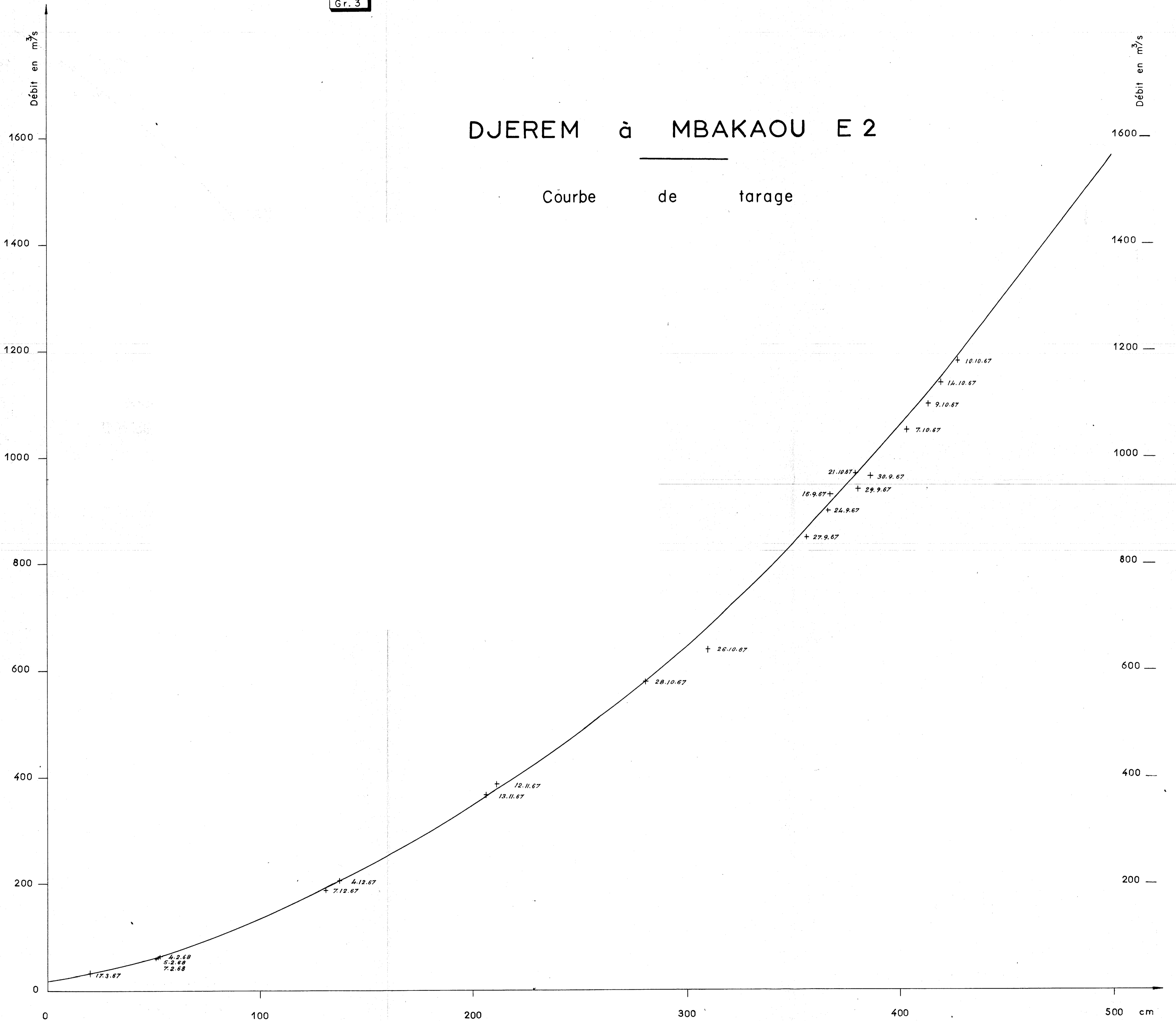


TABLEAU IV

Barème d'étalonnage de E2

H cm	Q m ³ /3	H cm	Q m ³ /s
0	18	200	350
10	24,5	220	402
20	32	240	456
30	40,5	260	517
40	50	280	580
50	60	300	646
60	74	320	719
70	88	340	797
80	104	360	880
90	120	380	967
100	136	400	1056
120	172	420	1150
140	212	440	1252
160	254	460	1355
180	300	480	1460
200	350	500	1565

2. DEBITS SOLIDES EN SUSPENSION

Parmi les matériaux transportés par un cours d'eau on distingue généralement : les matériaux charriés et les substances en suspension.

Etant donné les énormes difficultés que représente la mesure du charriage et le fait que sur des bassins de plusieurs milliers de km² le débit solide en suspension est très largement supérieur au débit charrié nous n'avons mesuré sur le DJEREM à MBAKAOU que les sédiments transportés en suspension.

2.1. Matériel utilisé

Le matériel utilisé est sensiblement le même que celui employé couramment en hydrologie à savoir : câble gradué, bateau, saumon de 50 kg, treuil et câble de suspension, moulinet (pour les mesures de vitesses) auquel vient s'ajouter une pompe JAPY et un lot de jerricans de 10 litres en plastique.

L'extrémité du tuyau d'aspiration fixé au saumon de jaugeage peut être descendue à la profondeur voulue.

Cette méthode a l'avantage de permettre de prélever des échantillons importants (10 litres). L'inconvénient majeur, est que généralement la vitesse dans l'ajutage de prélèvement n'est pas égale (souvent inférieure) à la vitesse du courant au point de mesure. En réalité, dans le cas présent, sauf à proximité du fond, les matériaux transportés étant très fins sont relativement peu sensibles aux variations de vitesses.

A MBAKAOU les prélèvements de 10 litres étaient floкулés sur place par adjonction de quelques cm³ d'acide chlorhydrique N/10. Le résidu était mis en bouteille après siphonnage, pour être ramené à Yaoundé où il était filtré, séché à l'étuve à 105° et pesé.

Le poids des résidus secs varie généralement entre 0,3 et 1,5 g. pour 10 litres, soit des concentrations de l'ordre de 30 à 150 g/m³

2.2. Dépouillement des mesures

La mesure du débit solide transporté en suspension est tout à fait semblable à celle du débit liquide. En un point de la section choisie, on mesure simultanément la vitesse V du courant et la concentration C des matériaux de suspension.

Les prélèvements à MBAKAOU étaient effectués en 24 ou 20 points répartis dans la section sur 5 ou 6 verticales.

Sur le graphique 5 on a tracé pour toutes les verticales la courbe de V x C en fonction de la profondeur.

On obtient ainsi des "paraboles" dont la surface nous donne le débit solide par unité de largeur dans la section, q_s en g/ms. Nous pouvons ensuite tracer une courbe donnant la variation du débit solide q_s le long de la section. (graphique 6). La surface limitée par cette courbe donne le débit solide total Q_S.

Nous avons, en effet :

$$Q_S = \int_0^L \int_0^P q_s \, dl \, dp$$

où

l est l'abscisse dans la section

p la profondeur

L la largeur totale

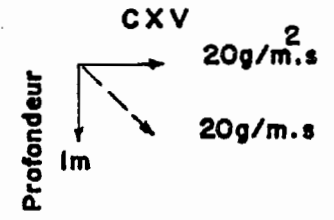
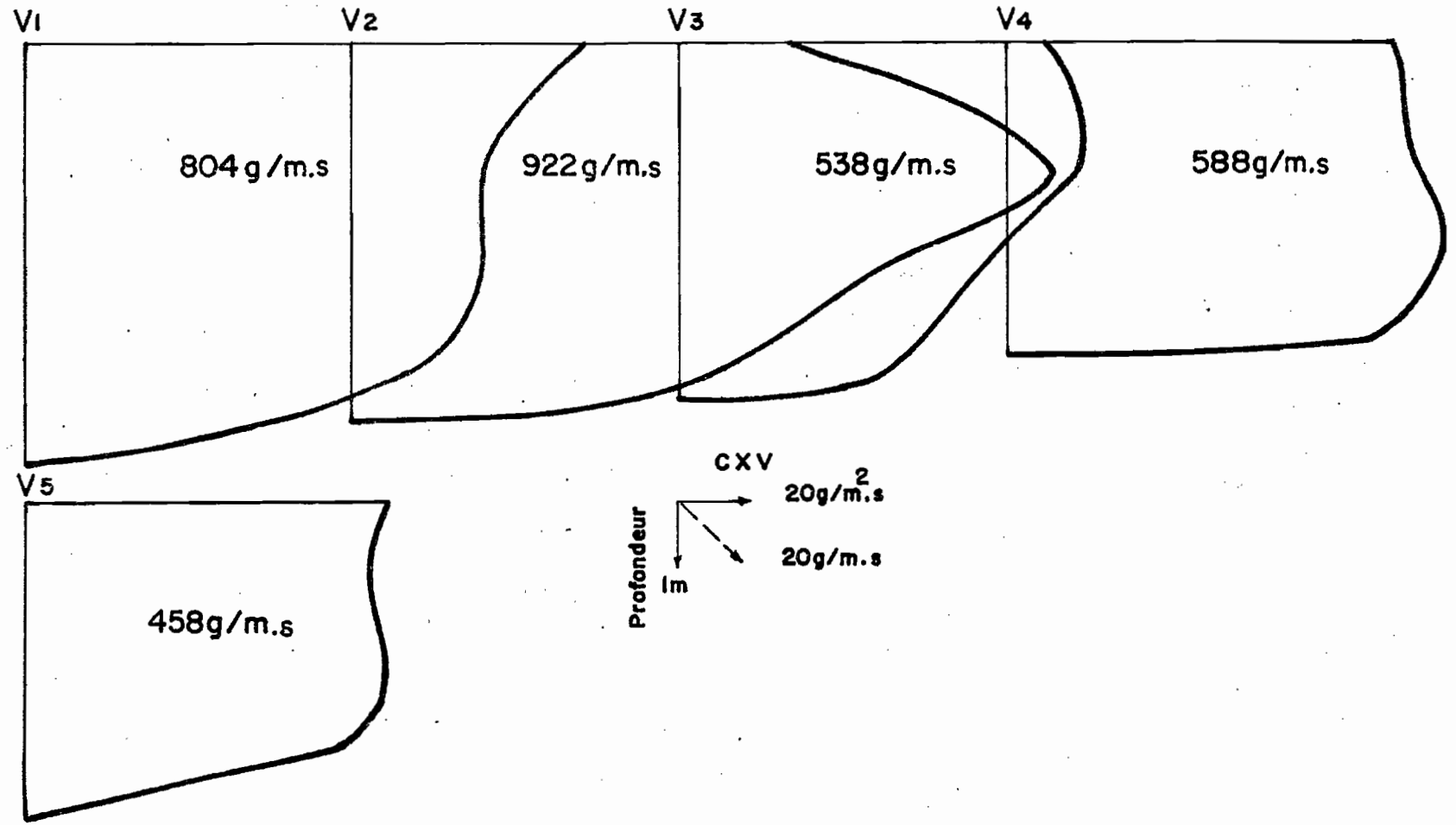
P la profondeur totale d'une verticale donnée.

DEBIT SOLIDE

Gr. 5

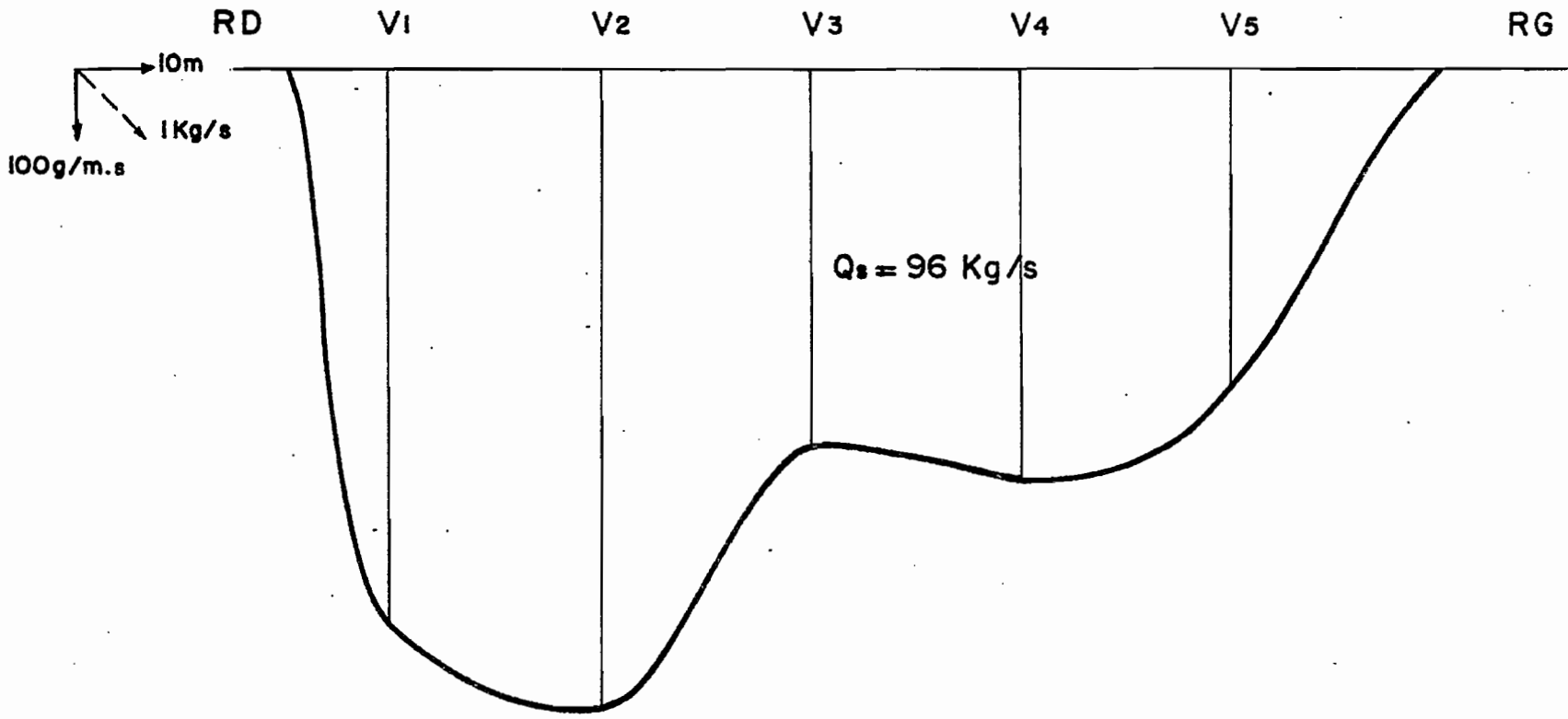
"Paraboles" Profondeur X CV

26-9-67 H= 409 cm (Amont)



DEBIT SOLIDE

Variation du débit solide par unité de largeur le long de la section



2.3. Résultats obtenus

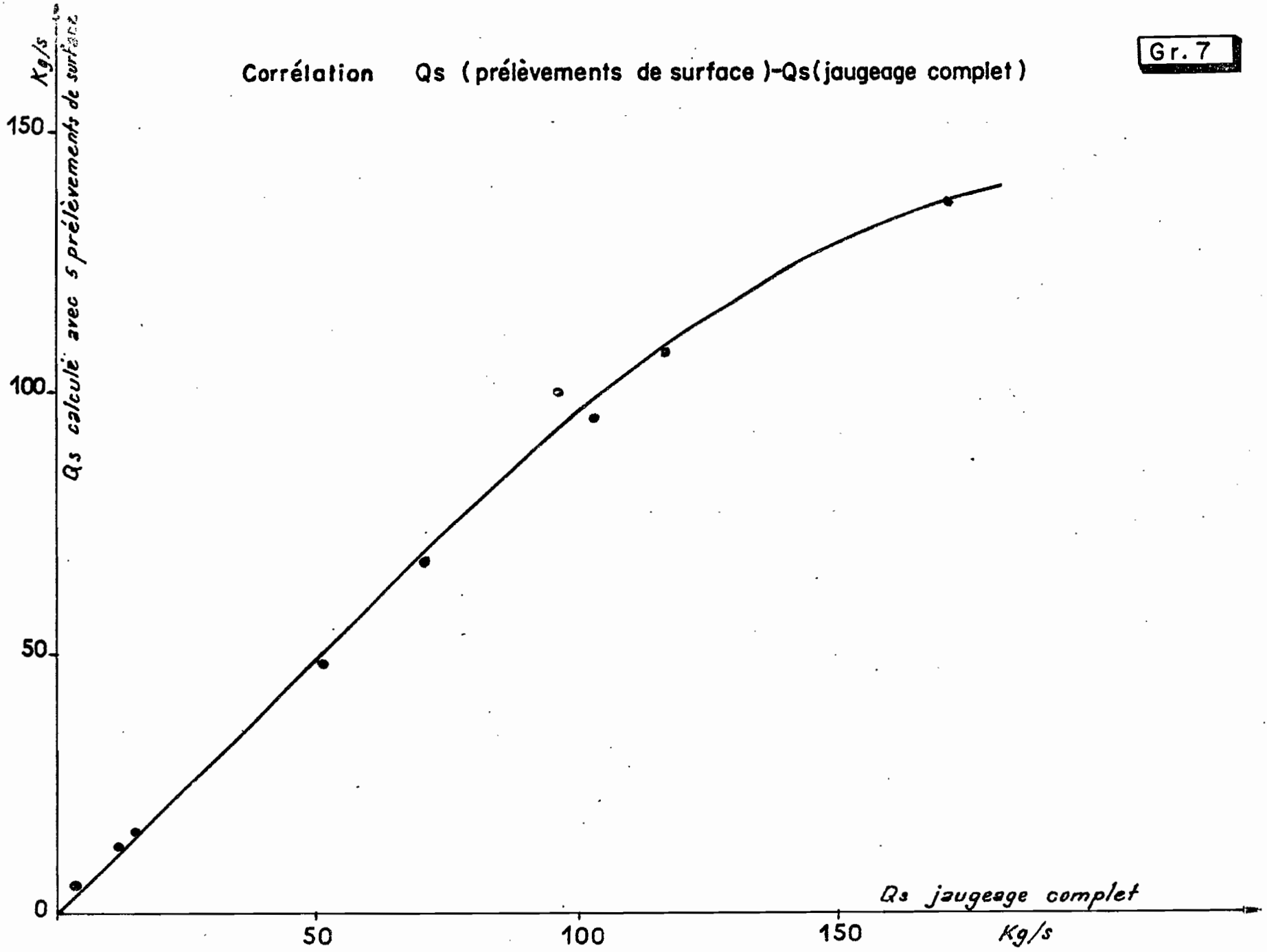
Nous avons au cours de la campagne 1967 effectué 10 jaugages complets. Malheureusement, la série de mesures n'a pu commencer que le 17 - 9 c'est-à-dire une fois la saison des pluies déjà bien installée.

A ces dix jaugages viennent s'ajouter 3 jaugages pour lesquels nous n'avons que 5 prélèvements de surface (voir liste ci-dessous).

Ces 3 derniers jaugages ont été revalorisés à partir des jaugages complets pour lesquels nous avons établi une corrélation (graphique 7) en portant en abscisse le débit solide calculé à partir du jaugage complet et en ordonnée la moyenne arithmétique des cinq concentrations de surface multipliée par le débit (liquide) correspondant.

Date	Nbre d'échantillons	QL m ³ /s	QS Kg/s
17 - 9 - 67	16	844	70
20 - 9 - 67	20	906	117
26 - 9 - 67	20	890	96
29 - 9 - 67	20	958	171
8 - 10 - 67	20	1 080	103
14 - 10 - 67	20	1 140	83
21 - 10 - 67	20	970	51
26 - 10 - 67	5	670	37
27 - 10 - 67	5	596	27
28 - 10 - 67	5	580	24
12 - 11 - 67	24	375	16,5
13 - 11 - 67	24	363	12,2
7 - 12 - 67	20	204	4,0

Corrélation Q_s (prélèvements de surface) - Q_s (jaugeage complet)



4. INTERPRETATION DES RESULTATS

Il apparaît (graphique 8) que la turbidité varie pour un débit donné, non seulement suivant que les mesures sont faites au cours d'une crue ou d'une décrue, mais encore et surtout, suivant les saisons. Les premières averses importantes de début de saison des pluies tombant sur un sol sec, pulvérulent et dénudé donneront des crues à forte turbidité. Par contre, les crues de pleine saison des pluies consécutives à des averses tombant sur un sol humide et recouvert d'une riche végétation herbacée auront des eaux peu chargées.

Nous avons dû distinguer quatre courbes : la première entièrement imaginée à partir des valeurs trouvées à la station de NACHTIGAL (SANAGA) et qui correspond à la période de montée des eaux de Juin - Juillet - Août, la deuxième est valable pour les crues de Septembre ; le point du 8 Octobre nous permet de préciser les valeurs correspondant à l'étale et la quatrième courbe nous donne les valeurs du débit solide pour toute la décrue qui commence dès la deuxième quinzaine d'octobre.

2.5. Bilan annuel

A partir des courbes du graphique 8 nous avons essayé de faire un bilan annuel, très approximatif, pour 1967 que nous avons décomposé de la manière suivante :

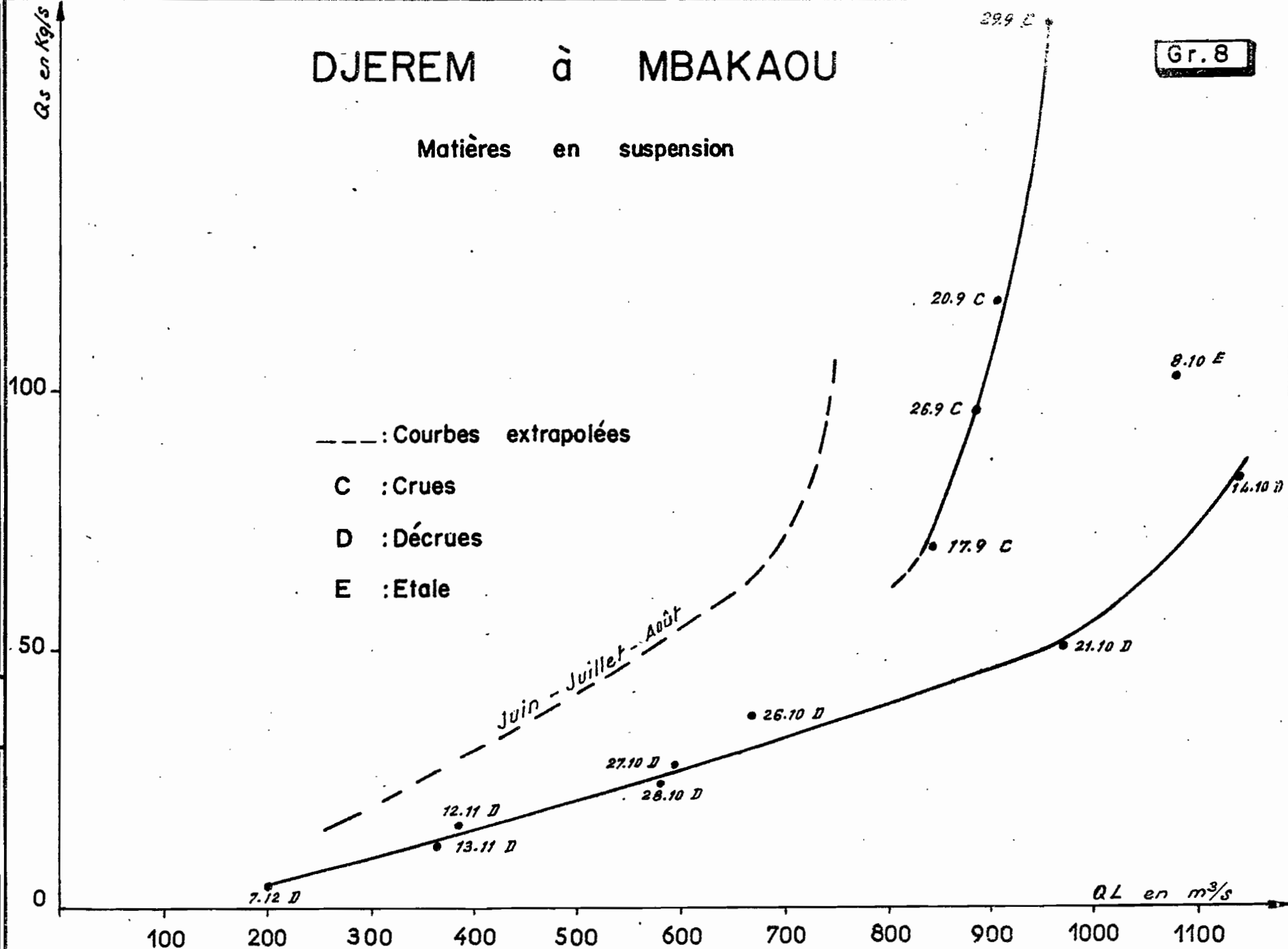
J.F.M.A.M.J. :	22 000	Tonnes	soit	120 Tonnes/jour
J. :	115 000	Tonnes	soit	3 700 Tonnes/jour
A. :	500 000	Tonnes	soit	16 000 Tonnes/jour
S. :	540 000	Tonnes	soit	18 000 Tonnes/jour
O. :	215 000	Tonnes	soit	7 000 Tonnes/jour
N. :	100 000	Tonnes	soit	3 300 Tonnes/jour
D. :	8 000	Tonnes	soit	260 Tonnes/jour

Total 1967 : 1 500 000 Tonnes soit 4 100 Tonnes/jour

DJEREM à MBAKAOU

Gr. 8

Matières en suspension



Ce qui correspond à 73 T /Km2/an et à une turbidité moyenne annuelle de 120 g/m3.

Le volume de matières en suspension ainsi transporté annuellement serait donc de 1 million de m3 environ par excès.

A titre indicatif nous comparons dans le tableau ci-dessous des valeurs de turbidité aux trois stations de :

MBAKAOU (DJEREM)	:	20 400 km2
NACHTIGAL (SANTIGAL)	:	77 000 km2
GOURA (MBAM)	:	42 300 km2.

Toutes ces valeurs ont été prises au cours de la décrue, fin octobre-novembre.

Débit spécifique l/s/km2	MBAKAOU Turbidité g/m3	NACHTIGAL turbidité g/m3	GOURA turbidité g/m3
15,1	36	40	48
24,5	40	43	87
36,8	48	43	149
49,0	55	-	149

Nous pouvons constater des différences particulièrement fortes avec le MBAM à GOURA alors que la turbidité est la même qu'à NACHTIGAL ; il y a plusieurs raisons :

- Juste en amont du site de MBAKAOU, le MENG et le MAOUOR qui représentent le 1/3 du bassin du DJEREM à MBAKAOU traversent sur des dizaines de kilomètres une vaste zone marécageuse, véritable décanteur naturel.

- Le bassin inférieur de la SANAGA est en grande partie recouvert de forêt ; l'érosion et par suite les transports solides sont très faibles.

- Les caractéristiques des sols des bassins du MBAM à GOURA et de la SANAGA à NACHTIGAL sont nettement différentes.

2.6. Etude granulométrique des sédiments transportés en suspension

Les turbidités étant faibles, il est difficile de procéder à des mesures granulométriques sur les prélèvements pris individuellement.

Pour disposer d'un volume plus important nous avons groupé cinq ou quatre échantillons pris sur cinq ou quatre verticales différentes mais aux mêmes profondeurs.

Le graphique 9 donne un exemple des résultats obtenus au cours des mesures des 17 - 9 - 67 ($Q = 844 \text{ m}^3/\text{s}$) et 14 - 10 - 67 ($Q = 1140 \text{ m}^3/\text{s}$).

La classification granulométrique adoptée est la suivante :

Argile	$d \leq 2 \mu$
limon fin	$2 \mu < d < 20 \mu$
limon grossier	$20 \mu < d < 50 \mu$
sable fin	$50 \mu < d < 200 \mu$
sable grossier	$d > 200 \mu$

Répartition granulométrique en fonction de la profondeur

$$Q_L = 1148 \text{ m}^3/\text{s}$$

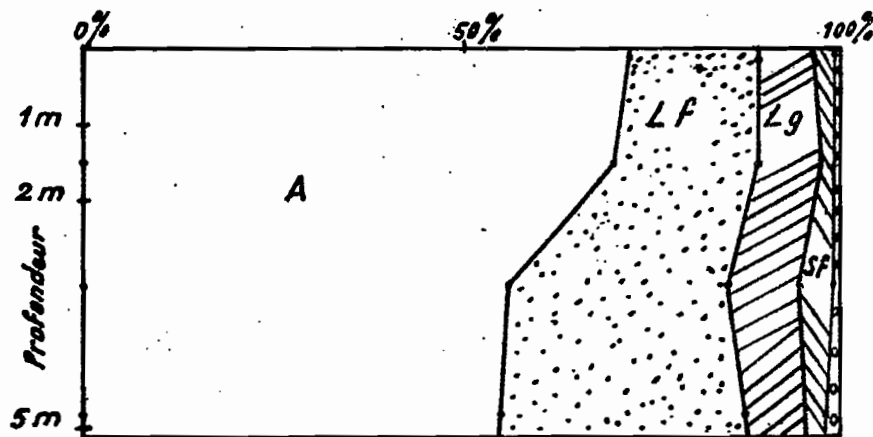
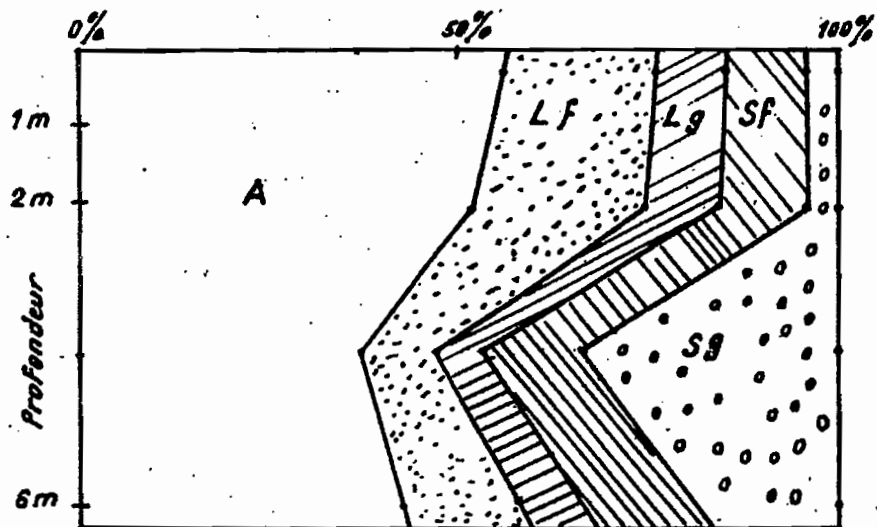
14-10-67

$$Q_S = 83 \text{ Kg/s}$$

$$Q_L = 844 \text{ m}^3$$

17-9-67

$$Q_S = 70 \text{ Kg/s}$$



- A : argile $d \leq 2 \mu$
 LF : limon fin $2 \mu < d < 20 \mu$
 Lg : limon grossier $20 \mu < d < 50 \mu$
 Sf : sable fin $50 \mu < d < 200 \mu$
 Sg : sable grossier $d > 200 \mu$

Jusqu'à 50 μ les différentes fractions sont déterminées par une méthode fondée sur la loi de STOKES qui lie le diamètre des particules à la vitesse de chute. Au delà de 50 μ les deux dernières fractions sont déterminées au tamis.

Il apparaît très nettement que si les particules inférieures à 50 μ représentent toujours un fort pourcentage des sédiments transportés, la répartition granulométrique suivant la profondeur peut subir des variations sensibles.

2.7. Conclusion

Compte tenu de l'hydraulicité plutôt faible de l'année 1967 sur le bassin du DJEREM à MBAKAOU on peut considérer que les transports solides y sont relativement médiocres. La turbidité moyenne a été trouvée voisine de 120 g/m³ soit 1 500 000 T/an ce

s e rel u e / e e o Eu s l r e e n