

LA BENOUE AU SITE DE LAGDO.

Campagne 1970

Note Hydrologique



30 DEC. 1971

10932

D8
CAD

LA PRESENTE NOTE A ETE REDIGEE PAR

E. C A D I E R

LES TRAVAUX SUR LE TERRAIN ONT ETE
DIRIGES PAR

J.F. NOUVELOT

ET EFFECTUES PAR

G. DELFIEU.

LA BENOUE AU SITE DE LAGDO

(Campagne 1970)

S O M M A I R E

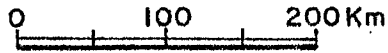
INTRODUCTION

1. DESCRIPTION ET PLAN D'IMPLANTATION DES ECHELLES, DU LIMNIGRAPHE ET DES SECTIONS DE MESURE . DEROULEMENT DES TRAVAUX.
2. OBSERVATIONS LIMNIMETRIQUES ET COURBES DE TARAGE
3. HYDRAULICITE DE LA BENOUE EN 1970
4. MESURES DES VITESSES ET DES DIRECTIONS DE L'ECOULEMENT SUR TROIS PROFILS
5. VARIATIONS DU LIT
6. PRELEVEMENTS DE MATERIAUX AU FOND DU LIT
7. REPERAGE DE LA LIGNE D'EAU AU MOMENT DU MAXIMUM
8. MESURE DES TRANSPORTS DE SABLE
9. CONCLUSION.

CAMEROUN

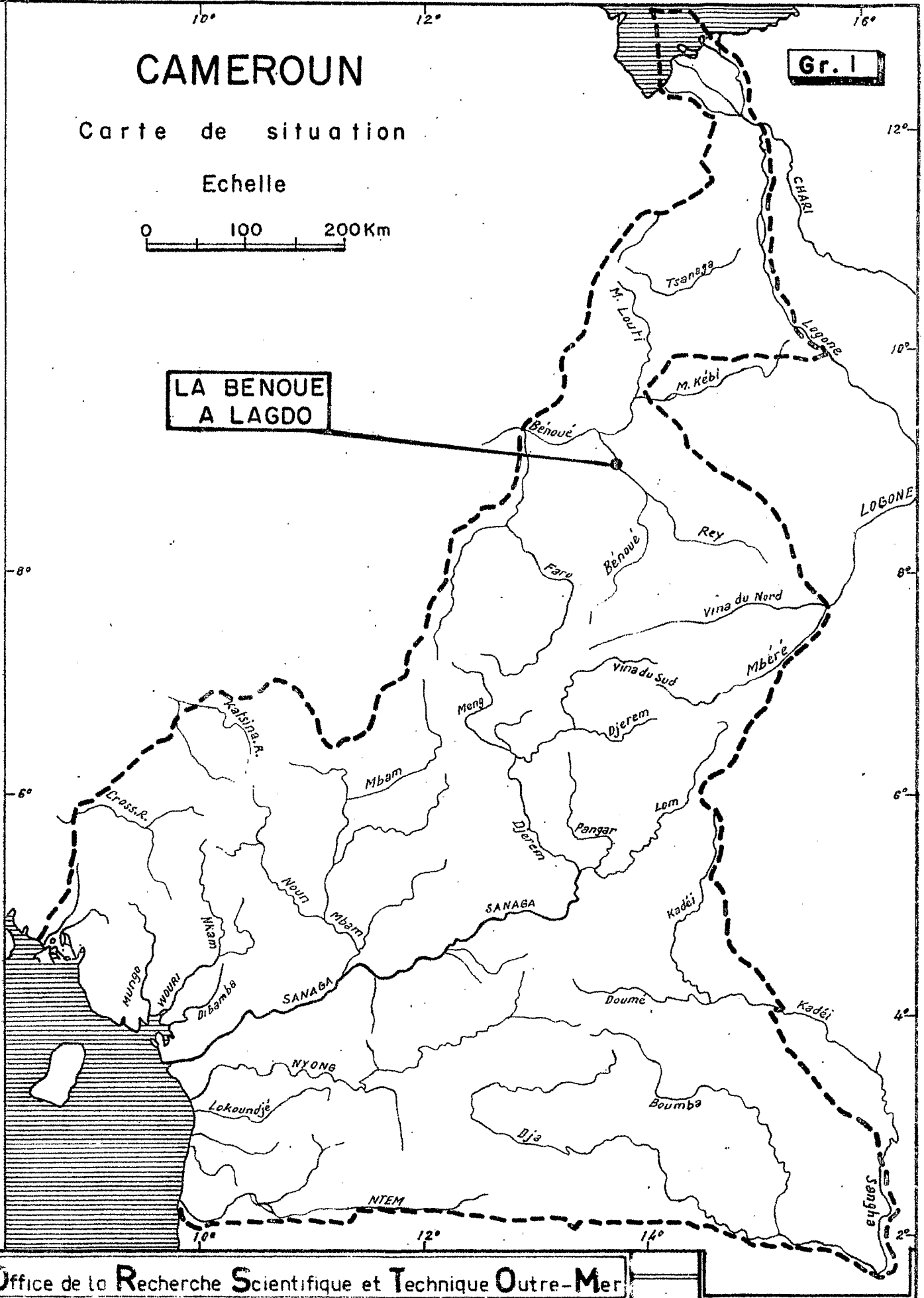
Carte de situation

Echelle



LA BENOUE
A LAGDO

Gr. I



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

Par convention passée le 27 janvier 1970 entre la Société "ENERGIE ELECTRIQUE DU CAMEROUN" et l'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER, la Section hydrologique du Centre ORSTOM de YAOUNDE a été chargée d'effectuer un ensemble de travaux et d'études hydrologiques nécessaires à l'établissement d'un projet de barrage sur la BENOUE au site de LAGDO.

Le programme des études était le suivant :

- 1° Installation et exploitation d'un limnigraphe
- 2° Exécution d'une campagne de mesures comprenant :

a) Mesure des vitesses et des directions de l'écoulement sur trois profils en travers dans la partie aval du défilé de LAGDO ;

b) Mesures des variations du lit et prélèvements des matériaux de fond pour analyse granulométrique ;

c) Repérage de la ligne d'eau dans le défilé au moment du maximum de la crue.

d) Mesures des transports de sable en suspension et en saltation.

La présente note rend compte de l'exécution de ce programme.

1. DESCRIPTION ET PLAN D'IMPLANTATION DES ECHELLES, LIMNIGRAPHERS ET SECTIONS DE MESURE - DEROULEMENT DES TRAVAUX.

1.1. DESCRIPTION ET PLAN DES INSTALLATIONS

Les installations limnimétriques se composent de :

- six échelles à maximum numérotées de 1 à 6
- deux échelles (AMONT et AVAL) limnimétriques
- un limnigraphe NEYRPIC TELIMNIP installé à côté de l'échelle aval.

Nous avons repéré trois sections échelonnées le long du défilé pour effectuer les mesures prévues.

Tous ces éléments ont été reportés sur le plan d'installation (graphique n° 2).

1.1.1. Echelles à maximum

Echelle à maximum n° 1 :

Située en Rive Gauche à 31,50 m en amont du point intermédiaire 8B ; elle a été installée le 18.2.70 à 5,24 m au-dessus du plan d'eau. L'altitude du premier godet est égale à 192,69 m. (H = 57 cm à l'échelle amont).

Echelle à maximum n° 2 :

Située en Rive Gauche à 14,10 m en aval de la borne n° 15.

Altitude de la borne n° 15	193,44 m
Altitude du premier godet	192,44 m

Elle a été installée le 17.2.70 à 5,00 m au-dessus du plan d'eau. H = 47,5 cm à l'échelle aval.

LA BENOUE AU SITE DE LAGDO

Campagne 1970





PLAN DES INSTALLATIONS

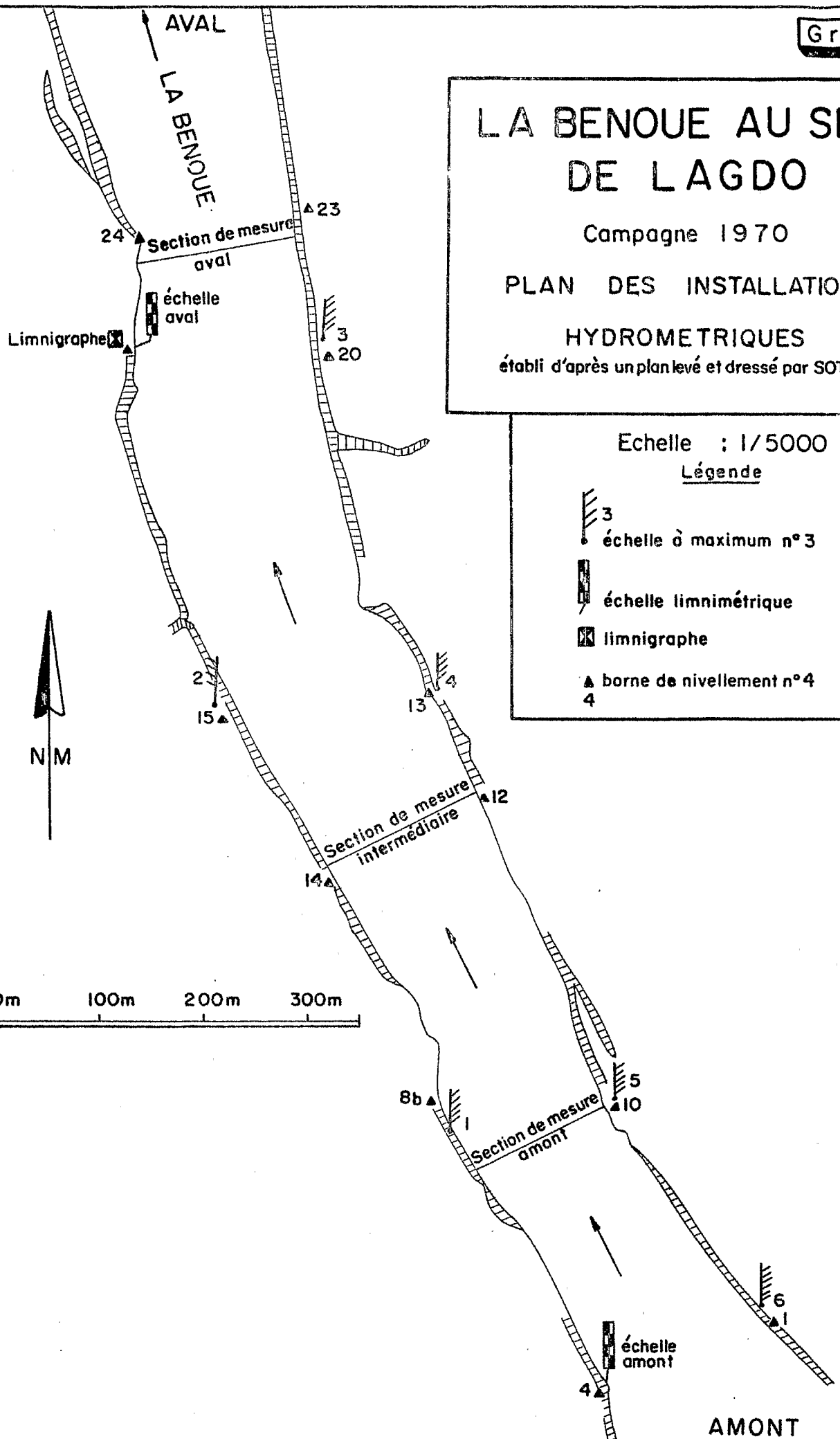
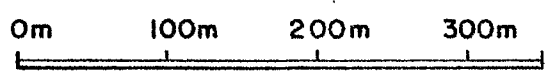
HYDROMETRIQUES

établi d'après un plan levé et dressé par SOTOCAM

Echelle : 1/5000

Légende

-  3
échelle à maximum n° 3
-  échelle limnimétrique
-  limnigraphe
-  borne de nivellement n° 4



Echelle à maximum n° 3 :

Située en Rive Droite à 19,50 m en aval de la borne n° 20

Altitude de la borne n° 20 : 193,020 m

Altitude du 1er godet : 192,452 m

Elle a été installée le 19.2.70 à 5,01 m au dessus du plan d'eau. H = 56,5 cm à l'échelle amont.

Echelle à maximum n° 4

Située en Rive Droite à la borne n° 13.

Altitude de la borne n° 13 : 189,67 m

Altitude du 1er godet : 192,42 m

Elle a été installée le 19.2.70 à 4,995 m au-dessus du plan d'eau. H = 56,5 cm à l'échelle amont.

Echelle à maximum n° 5

Située en Rive Droite à 5,50 m en aval de la borne n° 10.

Altitude de la borne n° 10 : 194,24 m

Altitude du 1er godet : 192,89 m.

Elle a été installée le 19.2.70 à 5,455 m au-dessus du plan d'eau. H = 56,5 cm à l'échelle amont.

Echelle à maximum n° 6

Située en Rive Droite à 19,50 m en amont de la borne n° 1 :

Altitude de la borne n° 1 : 191,94 m

Altitude du premier godet : 192,45 m

Elle a été installée le 19.2.70 à 5,01 m au-dessus du plan d'eau. H = 56,5 cm à l'échelle amont.

1.1.2. Echelles limnimétriques et limnigraphes

Echelle amont.

Composée de 9 éléments de un mètre, elle est située en Rive Gauche, au droit de la borne n° 4

Altitude de la borne n° 4 : 194,390 m.

Altitude du zéro de l'échelle : 186,880 m (contrôlée par la SGTE).

Elle a été installée le 13.2.70 pour une cote du plan d'eau de 60 cm.

Echelle aval

Composée de 9 éléments de un mètre, elle est située en Rive Gauche à 5,10 m en aval de la borne n° 22.

Altitude de la borne n° 22 : 192,550 m

Altitude du zéro de l'échelle : 186,990 m

Elle a été installée le 16.2.70 pour une cote du plan d'eau H = 48 cm.

Cette échelle est équipée d'un limnigraphes à bulles NEYRPIC, type TELIMNIP adapté aux grandes amplitudes que nous avons à mesurer.

1.1.3. Sections de mesure

La section amont est définie :

Rive gauche : par un point situé au droit du sondage (à 76,50 m en amont du point 8 B).

Rive droite : par un point situé à 7,50 m en aval de la borne n° 10.

Nous avons effectué le 18.2.70 un profil en travers de reconnaissance pour une hauteur de 0,57 cm à l'échelle amont.

Distances (m)	Profondeurs (cm)	Distance (m)	Profond. (cm)	Distance (m)	Profondeur (cm)
1	Rive Gauche	50	435	100	340
6	293 rocher	55	430	105	342
10	320 rochers en pente	60	430	110	330
15	620 rocher	65	420	115	307
20	457 dépôt (argile-sable)	70	400	120	283
25	393	75	385	125	240
30	387	80	370	130	220
35	395	85	360	135	213
40	420	90	340	137	Rive droite
45	430	95	342		

La section intermédiaire est définie

Rive Gauche : par un point situé à 18,50 m en aval de la borne n° 14.

Rive Droite : par un point situé à 9 m en aval de la borne n° 12.

Nous avons effectué le 18.2.70 un profil en travers de reconnaissance pour une hauteur de 057 cm à l'échelle amont.

Distances (m)	Profondeurs (cm)	Distances (m)	Profondeurs (cm)	Distances (m)	Profondeurs (cm)
8	Rive Gauche	70	284 sable	135	303 sable
11	185 rocher	75	314 "	140	318 "
15	255 "	80	310 "	145	325 "
20	246 "	85	319 "	150	315 "
25	245 sable	90	313 "	155	306 "
30	238 "	95	325 "	160	314 "
35	235 "	100	356 "	165	315 "
40	245 "	105	364 "	169	202 "
45	260 "	110	354 "	171	Rive droite
50	368 "	115	305 "		(Dépôts d'argile)
55	286 "	120	288 "		
60	295 "	125	275 "		
65	285 "	130	275 "		

LA SECTION AVAL est définie

Rive Gauche : par un point situé à 20 mètres en amont de la borne n° 24.

Rive Droite : par un point situé à 26 m en amont de la borne n° 23.

Nous avons effectué le 17.2.70 un profil en travers de reconnaissance pour une hauteur de 047,5 cm de l'échelle aval.

Distances: (m)	Profondeurs (cm)	Distances: (m)	Profondeurs (cm)	Distances (m)	Profondeurs: (cm)
1	Rive Gauche	60	335 sable	120	115 sable
6	170 Rochers	65	275	125	117
10	376 Rochers en pente	70	258	130	128
15	624 Rochers	75	230	135	152
20	742 Sable	80	197	140	137
25	660	85	180	145	122
30	603	90	164	150	128
35	570	95	143	155	135
40	525	100	138	161	Rive droite
45	473	105	140		
50	432	110	142		
55	394	115	124		

1.2. DEROULEMENT DES TRAVAUX ET MESURES

Les travaux et mesures sur le terrain ont été réalisés principalement par G. DELFIEU, en suivant le calendrier suivant :

- du 11 au 20 février : installation des échelles à maximum et des deux échelles centimétriques amont et aval ; repérage et sondage des trois sections de mesure.
- le 6 et le 8 mars : installation du limnigraphe NEYRPIC par DELFIEU.

- le 12 mai 70 : Mise en route du Limnigraphe (H aval = 026 à 8 h). Une fuite dans les circuits pneumatiques vide rapidement les bouteilles et le limnigraphe n'a fonctionné correctement qu'à partir du 16 Juillet après plusieurs essais infructueux de mise en route.

Les mesures ont été réalisées pendant les périodes suivantes : du 15 au 17 juillet, du 21 au 29 août, les 9 et 10 septembre, du 13 au 16 septembre, les 22 et 23 septembre, du 29 septembre au 1er octobre.

Le démontage des installations mobiles a eu lieu le 17 novembre.

Nous devons signaler le fait que MM. NOUVELOT et DELFIEU ont été bloqués à GAROUA les 6 et 7 septembre par l'arrêt du bac et n'ont donc pas pu se rendre à LAGDO pour effectuer des mesures à une cote proche du maximum.

2. OBSERVATIONS LIMNIMETRIQUES ET COURBES DE TARAGE.

2.1. Echelles

Les échelles amont et aval du site de LAGDO ont été lues quotidiennement du 6 mai au 30 septembre ; les relevés de ces échelles ont été portés en annexe.

L'échelle de la BENOUE à RIAO, qui contrôle pratiquement le même bassin que nos échelles a été lue plusieurs fois par jour par le Service d'Annonce des Crues de la BENOUE. Nous avons reporté en annexe les hauteurs journalières observées en 1970 à RIAO. Le graphique n° 3 représente le limnigramme annuel de RIAO 1970.

Sur les graphiques n° 4 à n° 8 nous avons tracé sur un même graphique et pour chaque mois les limnigrammes des trois échelles de LAGDO AMONT, AVAL et RIAO.

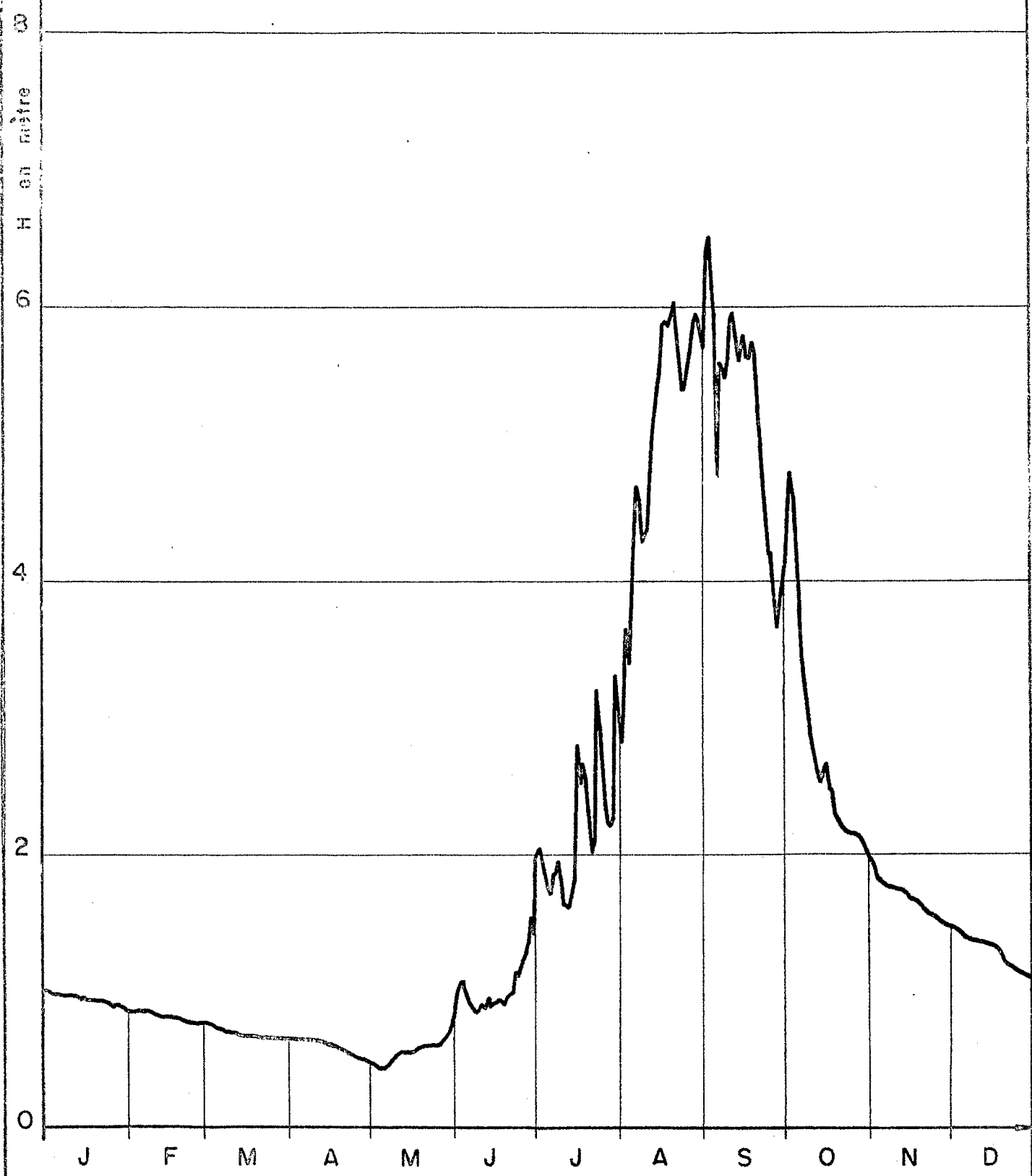
2.2. Limnigraphe

Mis en place le 8 mars 1970, un limnigraphe pneumatique a été mis en route le 12 mai 1970 ; mais les bouteilles d'air comprimé se vidaient en quelques heures, une fuite difficilement décelable se produisant dans le circuit pneumatique.

Après plusieurs essais de mise en route (chaque essai infructueux nécessitant un remplacement de la bouteille d'air comprimé qu'il fallait expédier à DOUALA pour la recharger), nous avons réussi à faire fonctionner correctement le limnigraphe à partir du 16 juillet 1970.

Le limnigraphe a fonctionné de manière satisfaisante entre le 16 juillet et le 3 septembre. Du 4 au 9 septembre, au moment du maximum, la bande de papier, déchirée par la plume, ne s'est plus déroulée. Remis en route le 10 septembre, il a été arrêté le 29 septembre,

Gr. 3



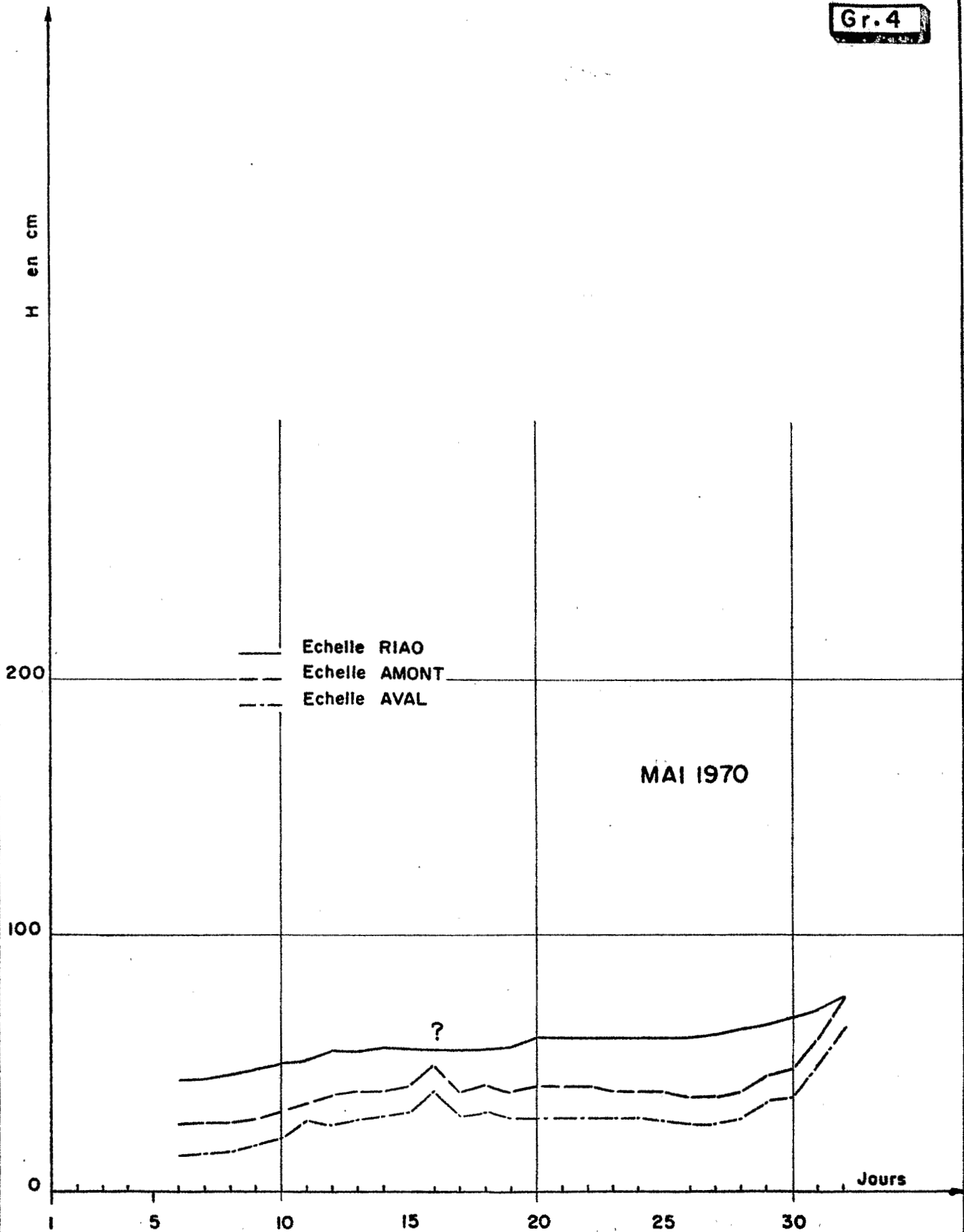
BENOUE à RIAO

Hauteurs d'eau en 1970

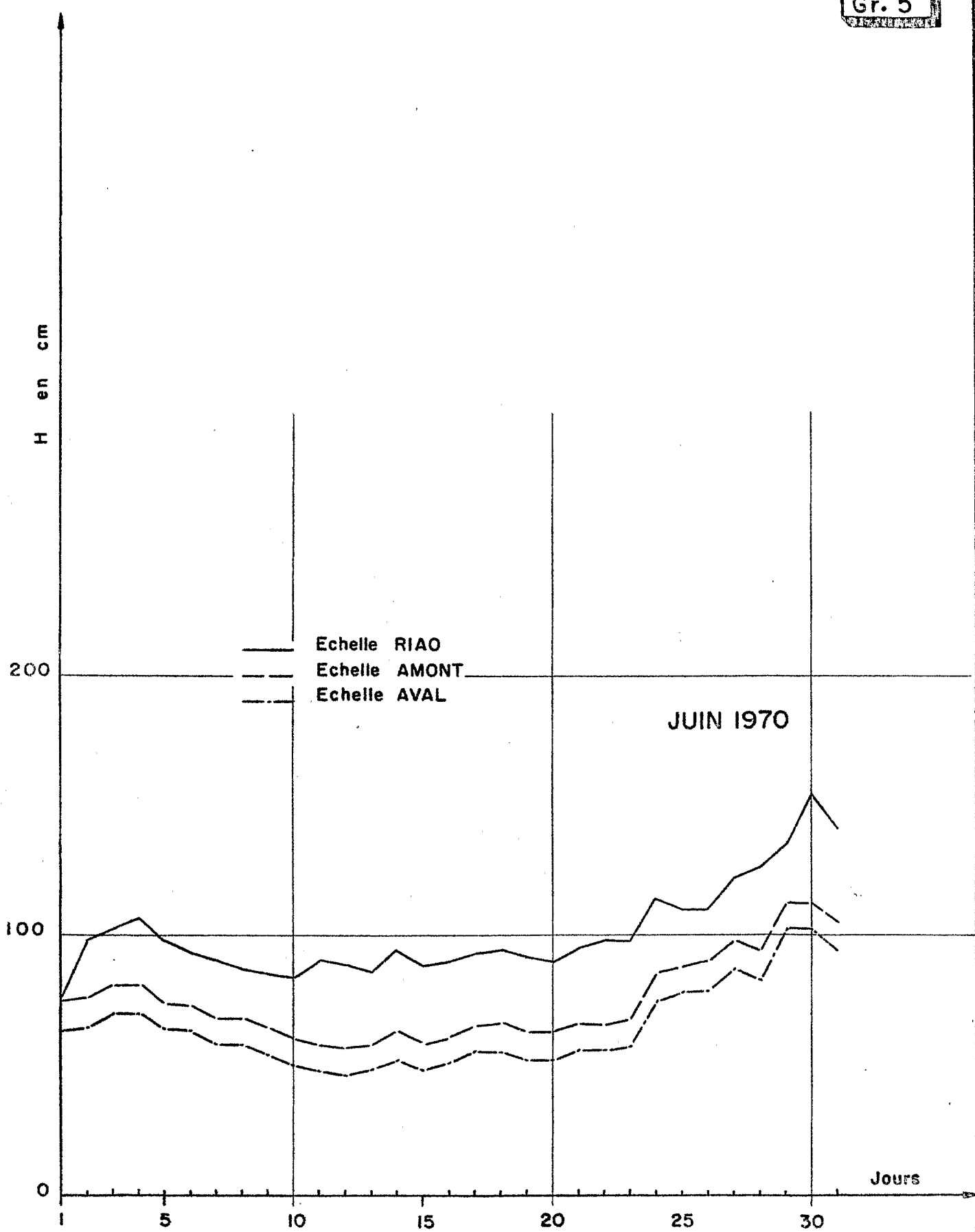
O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date des.

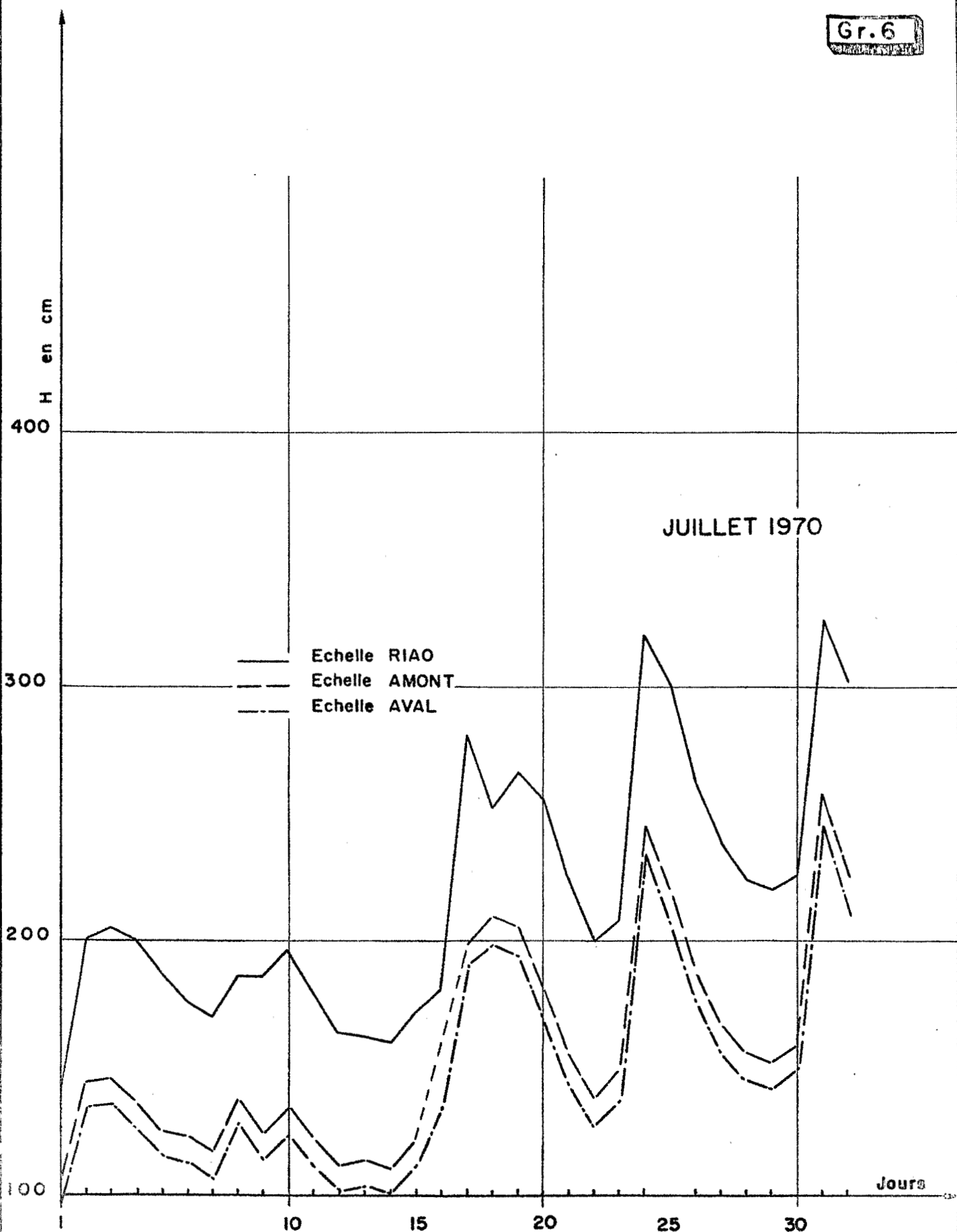
--



HAUTEURS D'EAU DE LA BENOUE A LAGDO ET A RIAO

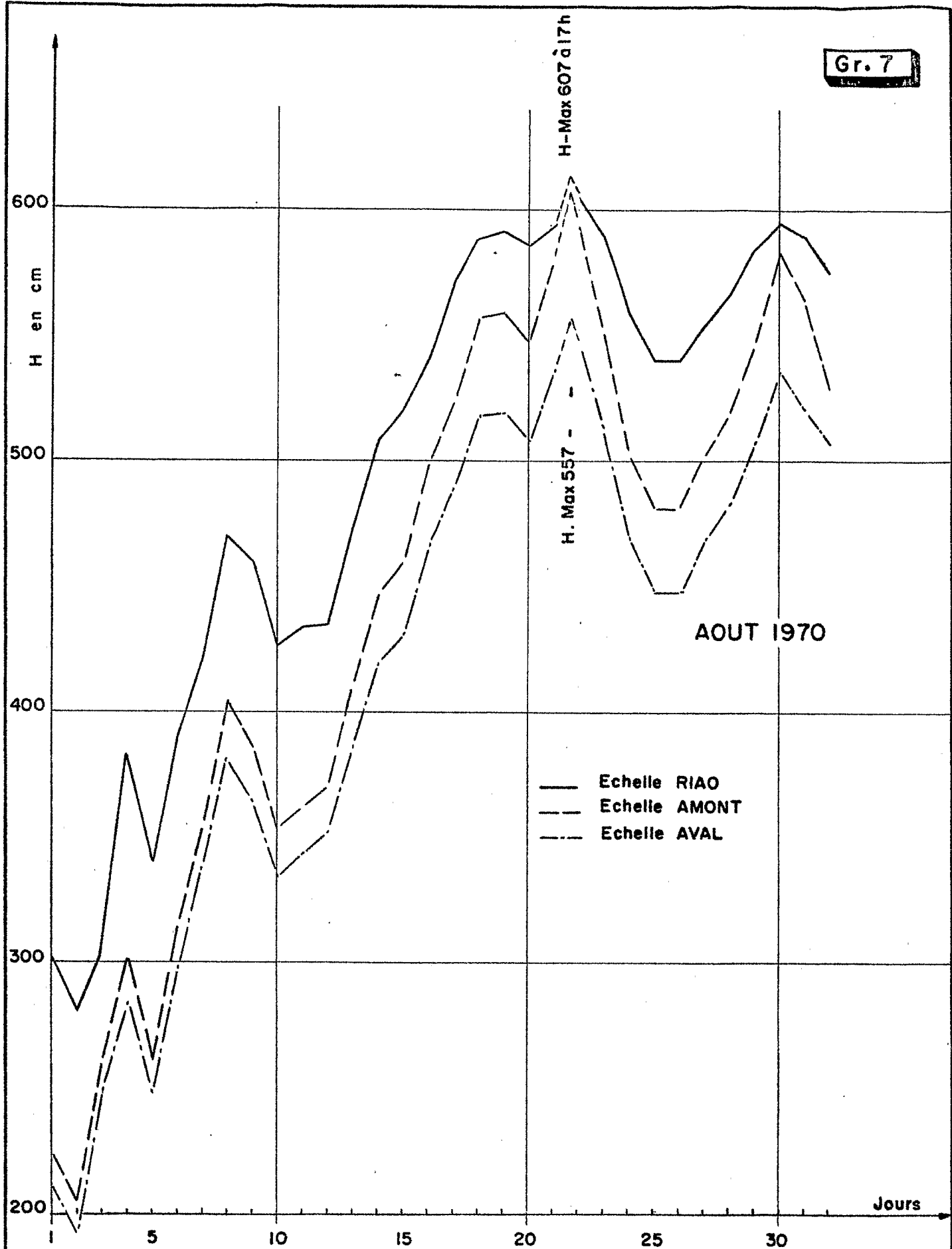


HAUTEURS D'EAU DE LA BENOUE A LAGDO ET A RIAO



HAUTEURS D'EAU DE LA BENOUE A LAGDO ET A RIAO

Gr. 7

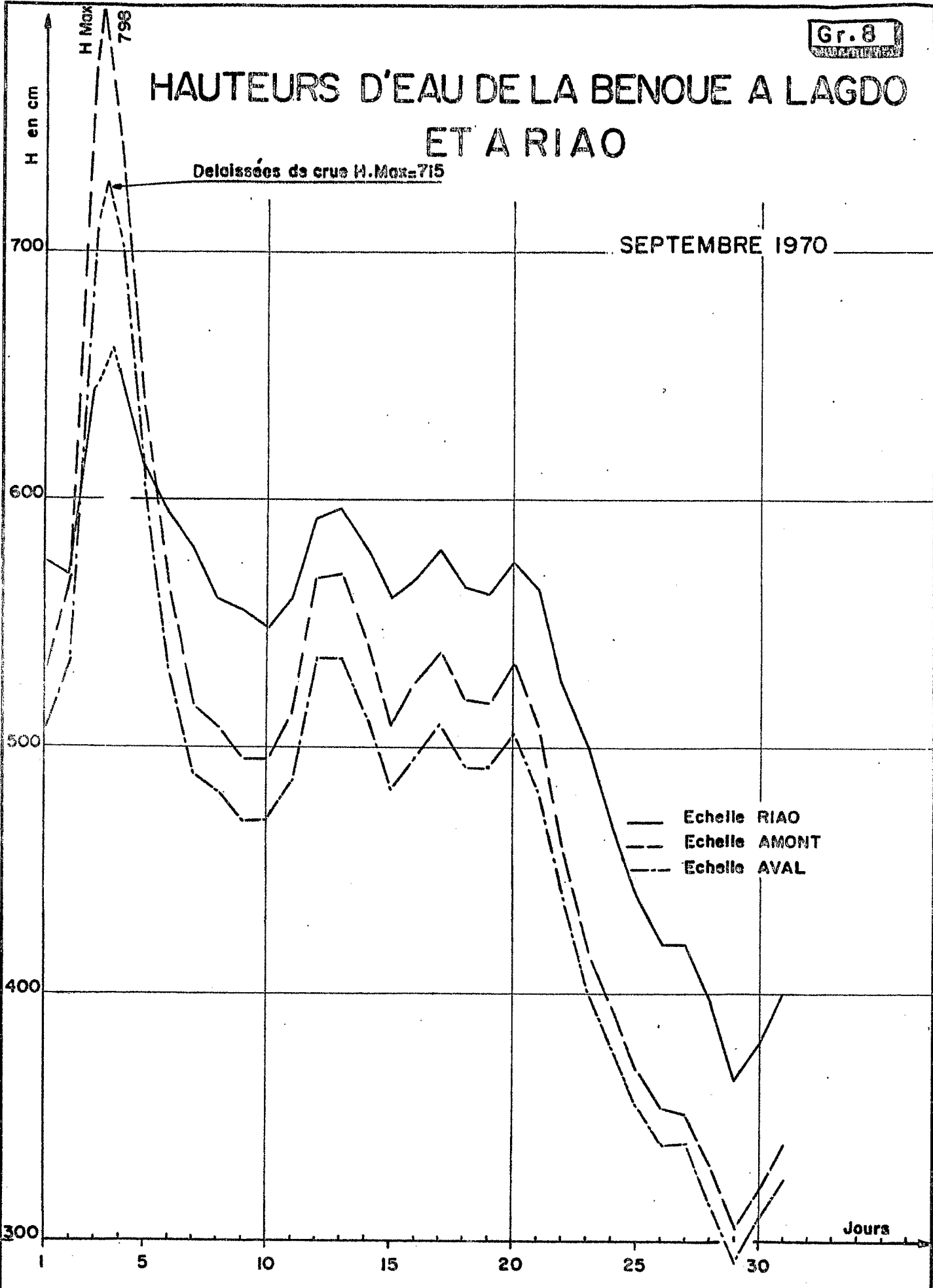


HAUTEURS D'EAU DE LA BENOUE A LAGDO ET A RIAO

HAUTEURS D'EAU DE LA BENOUE A LAGDO ET A RIAO

Deviations de crue H. Max = 715

SEPTEMBRE 1970



les lectures d'échelle suffisant à déterminer les hauteurs d'eau pendant le tarissement.

Si nous examinons les enregistrements du limnigraphe, nous constatons que les temps de montée des crues sont variables. Ceux des crues les plus rapides doivent être de l'ordre d'une quinzaine d'heures (temps de montée : temps séparant le début de la montée franche de la crue du début du maximum).

Le temps de montée de la crue la plus forte de l'année (les 3 et 4 septembre) a été d'une vingtaine d'heures, avec un gradient limnimétrique maximum de 15 cm/heure pendant 4 h consécutives.

Les maxima des crues sont mous et l'étale peut durer 24 h ou plus.

2.3. Jaugeages effectués et courbes de tarage

Nous donnons ci-dessous la liste des jaugeages effectués à LAGDO en 1970 :

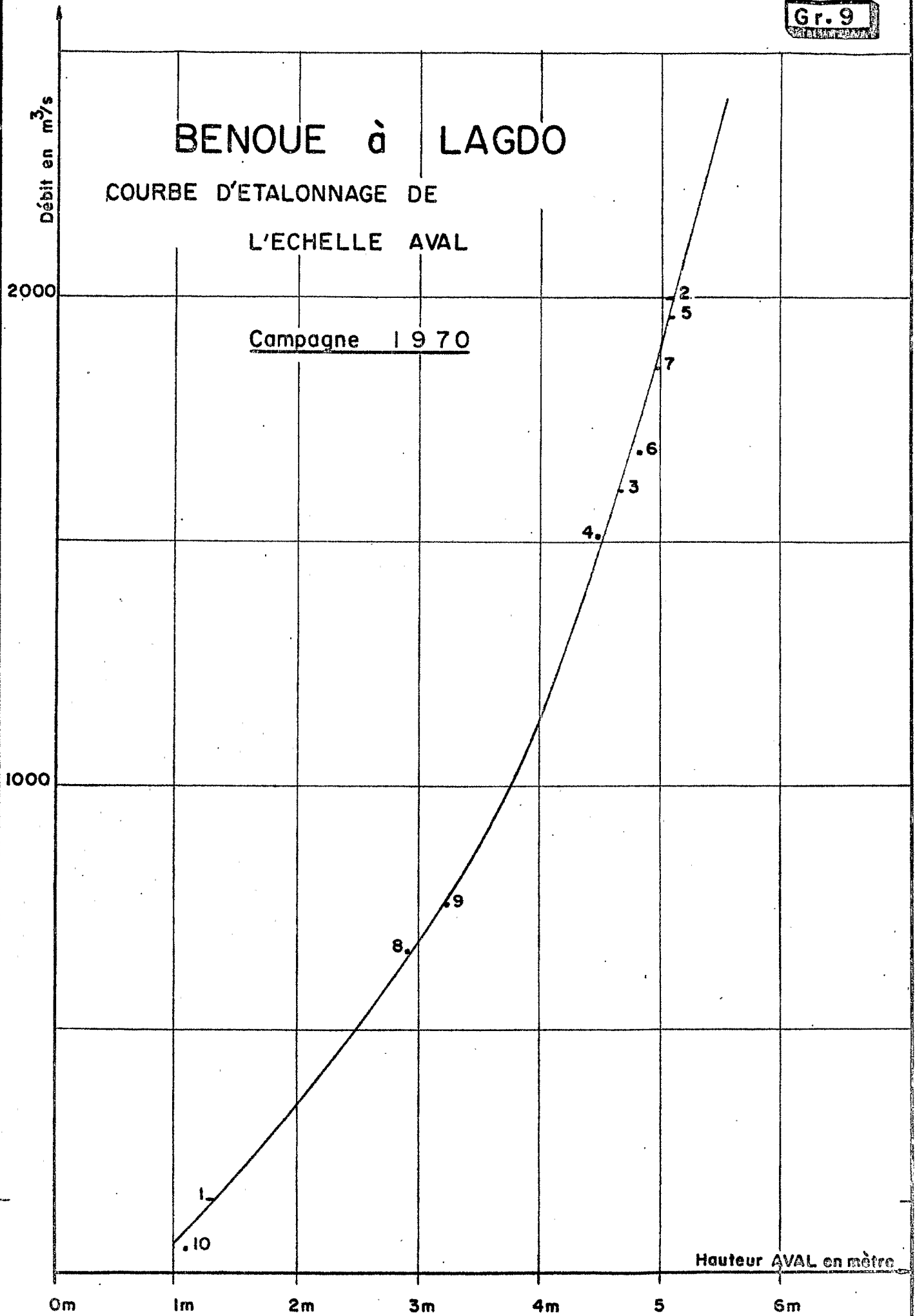
N°	Date	H éch RIAO	L A G D O		Qm ³ /s	SECTION DE JAUGEAGE
			H éch.AVAL	H éch.AMONT		
1	16. 7.70	189	126/132	136/142	151	AVAL
2	23. 8.	586	510/505	548/543	1998	AMONT
3	24. 8.	555	468/465	500/498	1606	INTERMEDIAIRE
4	25. 8.	540	448/447	481	1510	AVAL
5	14. 9.	578	510/506	540	1960	AVAL
6	15. 9.	560	482	508	1683	INTERMEDIAIRE
7	16. 9.	570	498	525/529	1856	AMONT
8	29. 9.	365	292	306	659	AMONT
9	1.10.	404	325	339	755	AVAL
10	17.11.	167	108,5	118,5	45,0	AVAL
11	30.11	139	91	101	22,2	AVAL
12	13. 1.71	99	69	79	7,42	AVAL
13	7. 2.71	90	48	58,5	0,81	AVAL

Nous avons tracé les courbes de tarage des échelles LAGDO AVAL et RIAO à l'aide des ces jaugeages (gr. n° 9 et n°10).

BENOUE à LAGDO

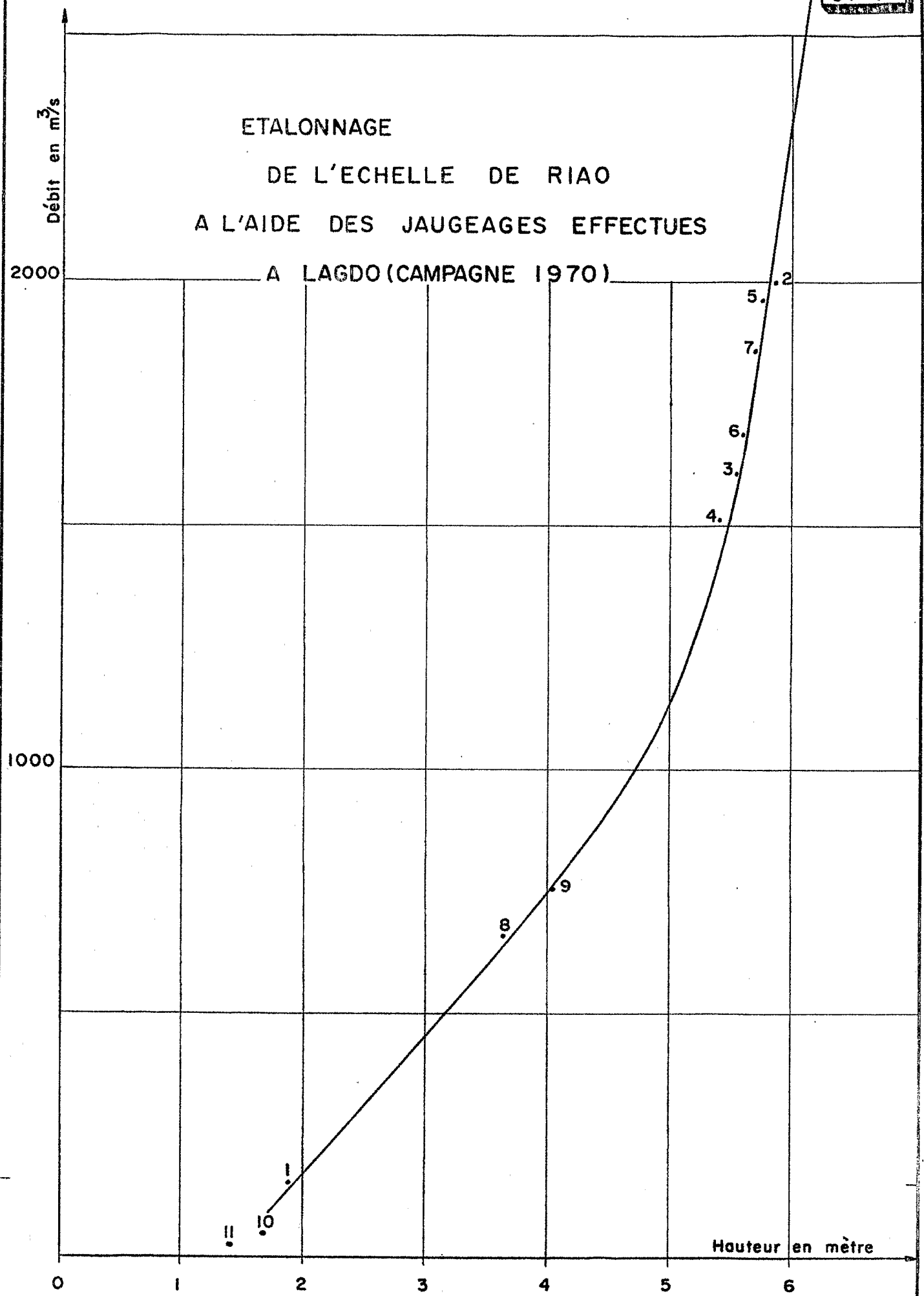
COURBE D'ETALONNAGE DE
L'ECHELLE AVAL

Campagne 1970



ETALONNAGE
DE L'ECHELLE DE RIAO
A L'AIDE DES JAUGEAGES EFFECTUES

A LAGDO (CAMPAGNE 1970)



3. HYDRAULICITE DE LA BENOUE EN 1970

Bien que l'étude de l'hydraulicité sorte du cadre de cette étude, nous avons essayé de l'estimer sommairement en comparant entre elles les hauteurs d'eau observées en 1970 à celles observées depuis 1953 à RIAO, tout en tenant compte des détarages survenus pendant la période d'observation.

Pour chaque année nous donnons :

H maxi , la cote journalière maximum
 H 5 la cote atteinte ou dépassée pendant 5 jours
 H 10 " " " " " 10 "
 H 20 " " " " " 20 "
 H 30 " " " " " 30 "

Année	H Maxi	H 5	H 10	H 20	H 30
1953	595	530	497	400	365
1954	615	573	547	516	486
1955	613	575	570	552	529
1956	599	583	568	521	479
1957	580	549	531	503	468
1958	534	523	497	443	406
1959	600	581	560	513	452
1960	615	600	596	576	551
1961	579	568	559	526	492
1962	602	593	573	555	531
1963	594	584	565	515	452
1964	607	554	546	519	430
1965	600	567	527	475	441
1966	640	590	580	536	507
1967	598	533	462	411	376
1968	616	565	550	500	437
1969	601	585	580	570	560
1970	650	596	590	575	560

Les côtes atteintes en 1970 sont parmi les plus fortes des 18 années d'observations ; seules celles de l'année 1960 dont le maximum est moins aigu, mais plus soutenu, peuvent leurs être comparées.

Pour pouvoir comparer entre elles les hydraulicités de ces années, nous devons transformer ces hauteurs en débits.

Examinons donc les tarages de la BENOUE à RIAO

Un tarage de hautes eaux de l'échelle de RIAO avait été établi pour les années 1951 à 1956, puis aucun jaugeage de hautes eaux n'a été effectué jusqu'au 23 août 1970, date à laquelle nous avons constaté un détarage.

Nous avons reporté ci-dessous la liste des jaugeages effectués de 1951 à 1956, et à côté de chaque jaugeage nous avons indiqué la cote H 1 qui correspondrait au débit du jaugeage dans le tarage actuel ainsi que ΔH la différence entre H 1 et la cote réelle du jaugeage.

Date	H réel (cm)	Débit (m ³ /s)	H1	ΔH cm
15. 8.51	370	570	342	- 28
3.10.54	492	1170	505	+ 13
4.10.54	482	1103	492	+ 10
22.10.54	369	566	340	- 29
13. 9.55	512	1370	533	+ 21
26. 9.55	571	2210	596	+ 25
17. 8.56	382	630	362	- 20
25. 8.56	302	380	276	- 26
29. 8.56	446	950	459	+ 13
4. 9.56	505	1370	533	+ 28
10. 9.56	556	1860	574	+ 18
21. 9.56	526	1545	552	+ 26
8.10.56	600	(2840)	(622)	(+ 22)

Nous constatons que pour les cotes supérieures à 500 cm, il y a eu un détarage d'environ + 20 à + 25 cm entre le tarage de 1951-56 et celui de 1970.

Pour apprécier l'hydraulicité de 1970, envisageons deux hypothèses extrêmes (nous supposons cependant que toutes les courbes de tarage entre 1956 et 1970 sont intermédiaires entre celle de 1951-56 et celle de 1970) :

a) le détarage a eu lieu en 1957

l'hydraulicité de 1970 est une des plus fortes des 18 années d'observations, mais ce n'est pas une année humide de fréquence extraordinaire.

b) le détarage a eu lieu fin 1969

L'année 1970 a une hydraulicité plutôt forte et le débit du maximum annuel de 1970 est élevé (seule l'année 1965 a dans cet hypothèse un débit de pointe supérieur et l'année 1960 des débits atteints ou dépassés, pendant 5, 10, 20 et 30 jours, supérieurs).

En conclusion nous retiendrons que l'hydraulicité et surtout le débit maximum ont été forts en 1970, mais qu'il est difficile d'estimer leur fréquence.

4. MESURE DES VITESSES ET DES DIRECTIONS DE L'ÉCOULEMENT.
JAUGEAGES EFFECTUES.

Nous avons effectués trois mesures des vitesses et des directions de l'écoulement en surface pour chacun des trois profils au cours de la saison des pluies 1970.

L'orientation du Vecteur vitesse a été mesurée par rapport au Nord Magnétique à l'aide d'une boussole.

L'orientation des sections de mesure est définie par l'orientation du vecteur (Rive Droite) (Rive Gauche) par rapport au Nord magnétique ; elle a été mesurée sur un plan du site de LAGDO dressé par SOTOCAM.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

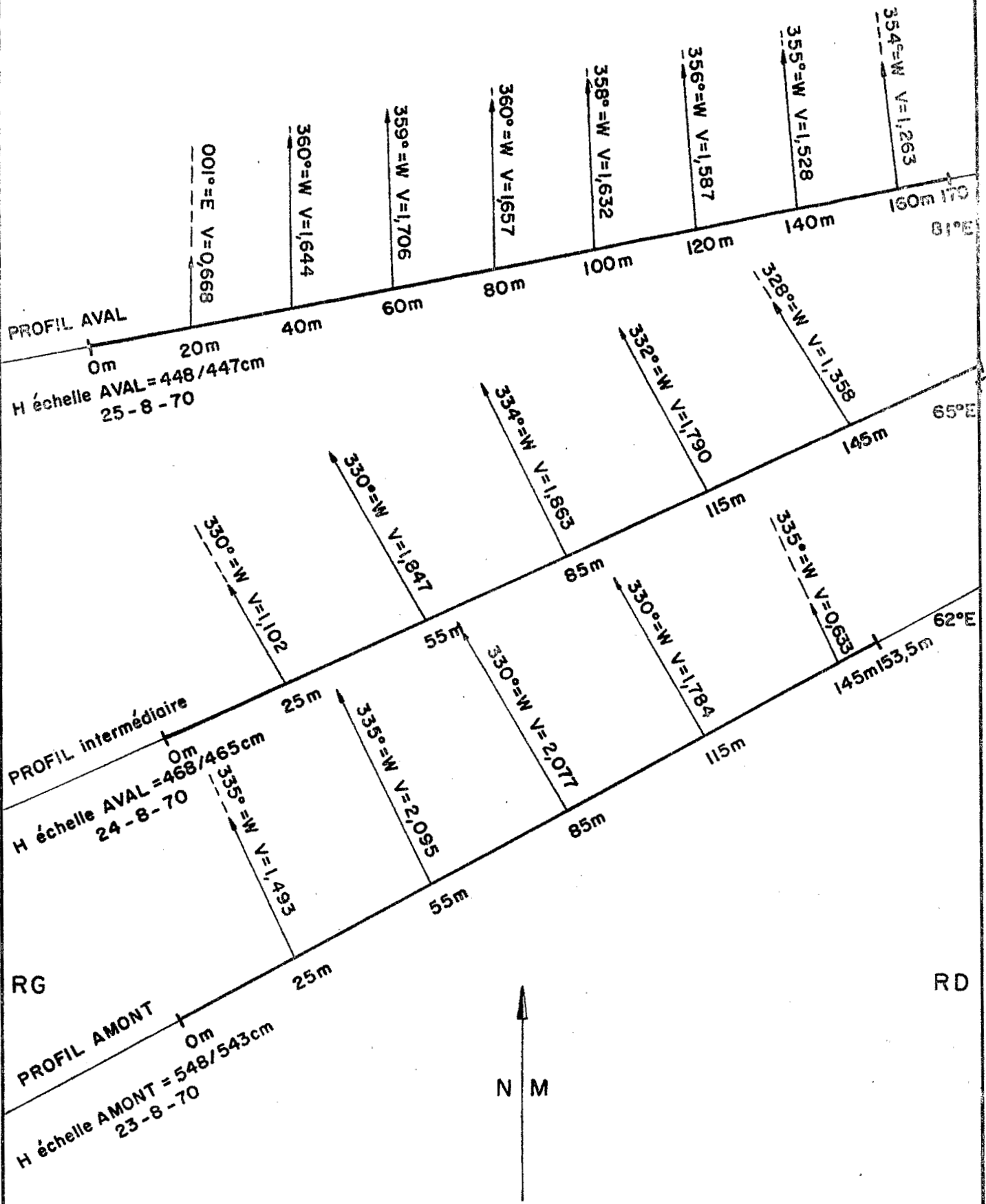
date	PROFIL AMONT (Orientation 62° E)								
	23-8-70			16-9-70			29-9-70		
I éch.amont	548-543 (1998 m ³ /s)			527 (1856 m ³ /s)			306 (659 m ³ /s)		
	Distance	Vitesse m/s	Orientation	Distance	Vitesse m/s	Orientation	Distance	Vitesse m/s	Orien- tation
	0		Rive gauche	0		Rive gauche	0		Rive gauche
	25 m	1,493	335° W	22 m	0,915	332° W	13 m	0,514	330° W
	55 m	2,095	335° W	42 m	1,514	340° W	33 m	0,670	326° W
	85	2,077	330	62 m	1,774	335° W	53 m	0,711	328° W
	115	1,784	330	82 m	1,509	335° W	73 m	0,727	330° W
	145	0,633	335	102 m	1,706	336° W	93 m	0,727	328° W
	153,5		Rive droite	122 m	1,519	336° W	113 m	0,696	328° W
				142 m	0,711	335° W	123 m	0,363	338° W
				151 m		Rive droite			Rive droite

		PROFIL INTERMEDIAIRE (Orientation 65° E)								
date	24-8-70			15-9-70			29-9-70			
éch.amont	468-465 (1606 m ³ /s)			482 (1683 m ³ /s)			295 (659 m ³ /s)			
	Distance	Vitesse m/s	Orientation	Distance	Vitesse m/s	Orientation	Distance	Vitesse m/s	Orien- tation	
	0	Rive gauche		0	Rive gauche		0	Rive gauche		
	25 m	1,102	330° W	18 m	0,748	336° W	12 m	0,232	338° W	
	55	1,847	330° W	48 m	1,556	340° W	32 m	0,447	338° W	
	85	1,863	334° W	78 m	1,618	334° W	52 m	0,716	332° W	
	115	1,790	332° W	108 m	1,556	337° W	72 m	0,753	335° W	
	145	1,358	328° W	138 m	1,326	342° W	92 m	0,784	333° W	
	173	Rive droite		176 m	Rive droite		112 m	0,706	332° W	
							132 m	0,592	332° W	
							152 m	0,352	330°	
							169 m	Rive droite		

		PROFIL AVAL (Orientation 81° E)								
date	25-8-70			14-9-70			1-10-70			
H éch.aval	448-447 (1510 m ³ /s)			500 (1960 m ³ /s)			325 (755 m ³ /s)			
	Distance	Vitesse m/s	Orientation	Distance	Vitesse m/s	Orientation	Distance	Vitesse m/s	Orien- tation	
	0	Rive gauche		0	Rive gauche		0	Rive gauche		
	20 m	0,668	001° E	15 m	1,462	348° W	17 m	0,618	350° W	
	40 m	1,644	000°	35 m	1,999	354° W	37 m	0,758	348° W	
	60 m	1,706	359° W	55 m	1,921	353° W	57 m	0,879	350° W	
	80 m	1,657	000°	75 m	1,926	355° W	77 m	0,925	350° W	
	100 m	1,632	358° W	95 m	1,727	352° W	97 m	0,893	350° W	
	120 m	1,587	356° W	115 m	1,810	356° W	117 m	0,925	351° W	
	140 m	1,528	355° W	135 m	1,634	352° W	137 m	0,920	352° W	
	160 m	1,263	354° W	155 m	1,384	348° W	157 m	0,758	352° W	
	170 m	Rive droite		173 m	Rive droite		169 m	Rive droite		

V est exprimé en m/s

Gr. II



BENOUE à LAGDO

Vitesses et directions de l'écoulement

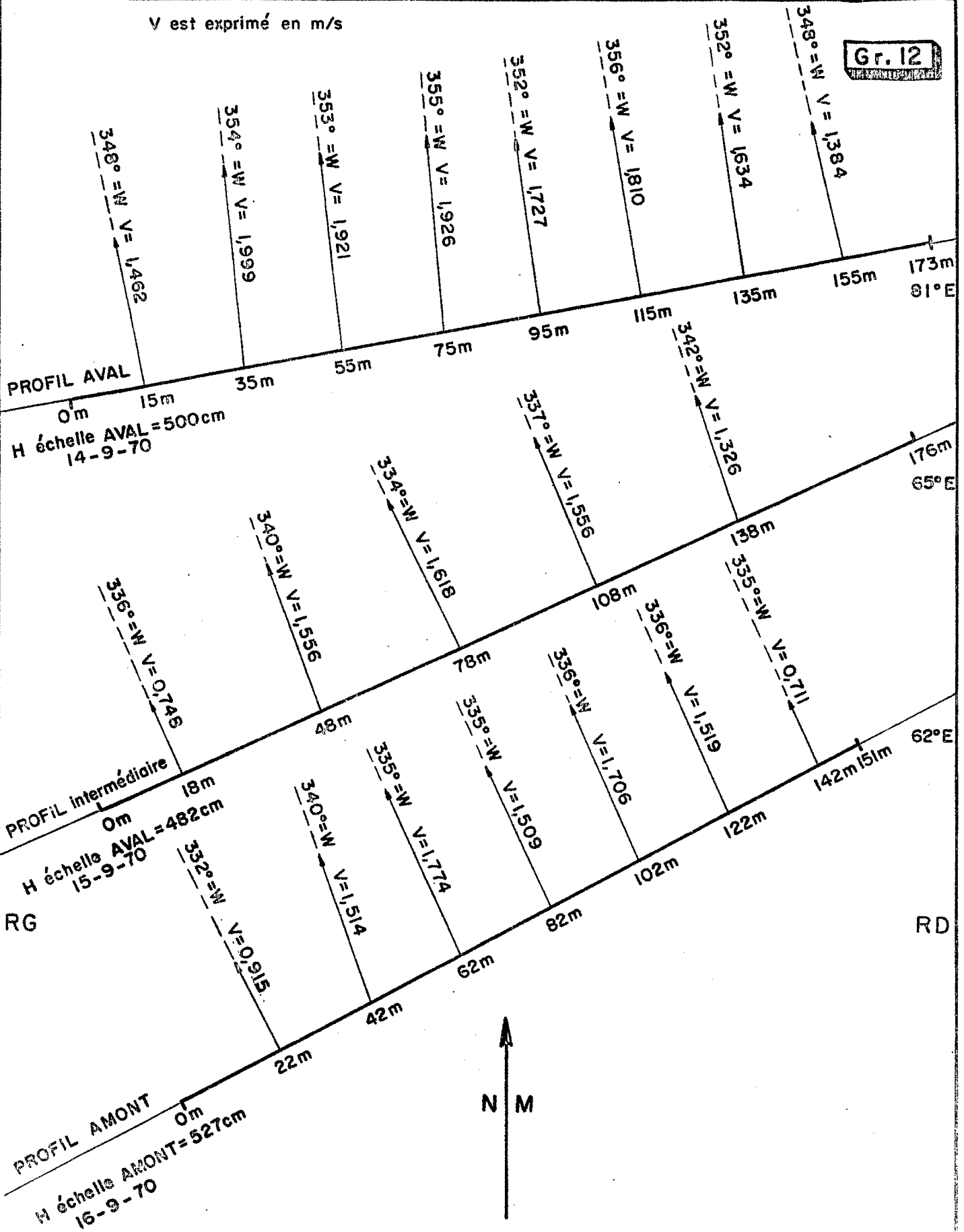
O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

V est exprimé en m/s

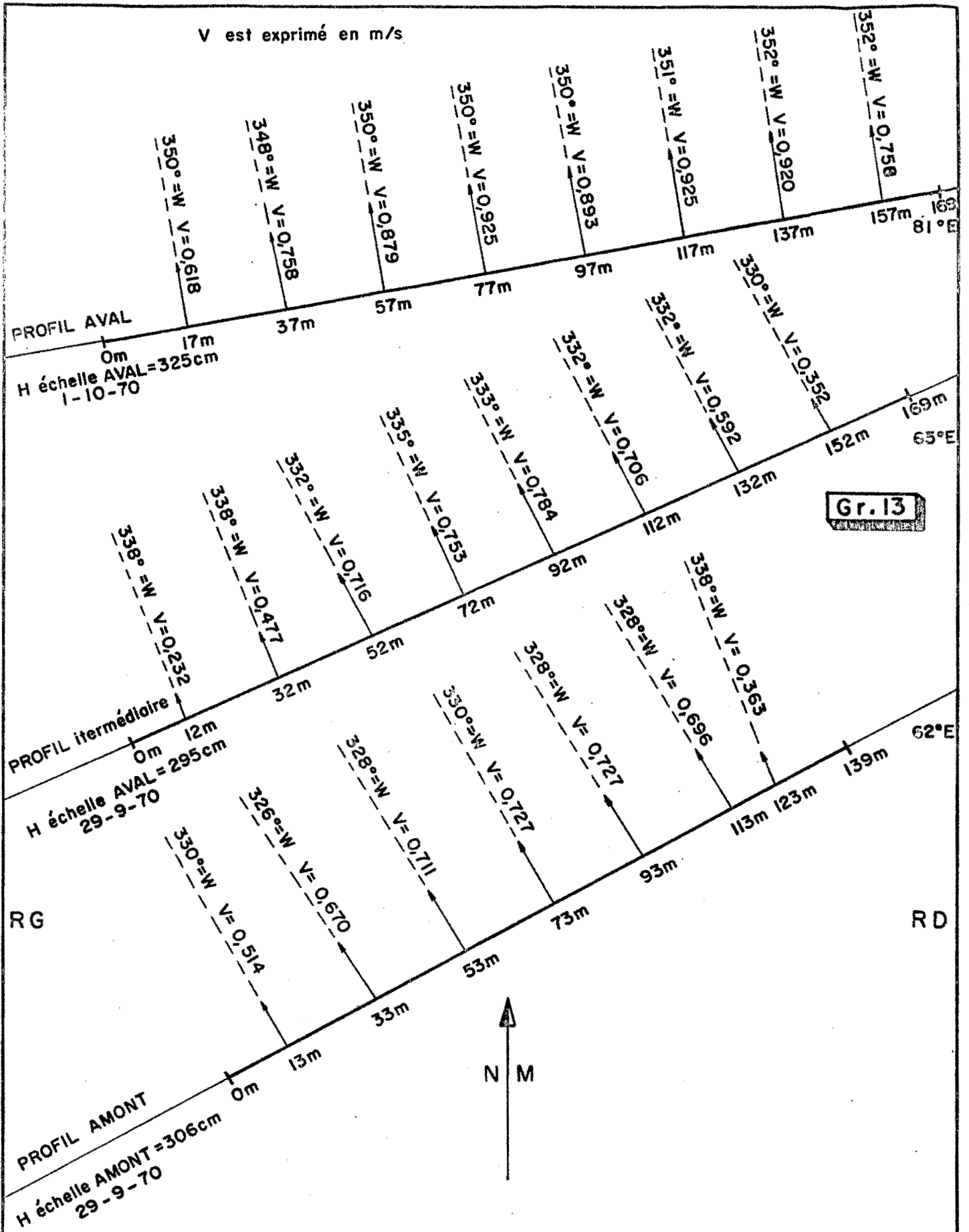
Gr. 12



BENOUE à LAGDO

Vitesses et directions de l'écoulement

V est exprimé en m/s



BENOUE à LAGDO

Vitesses et directions de l'écoulement

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

5. VARIATION DU LIT

Nous avons mesuré les variations du lit sur les trois profils utilisés pour la mesure des vitesses et des directions de l'écoulement. Le plus souvent nous avons effectué ces relevés de profil en même temps qu'un jaugeage.

Nous avons effectué un sondage de chacun des profils en février 1970 lors de l'installation du matériel limnimétrique (voir paragraphe 1.1.3.).

Au cours de la saison des pluies, nous avons effectué les dix relevés sur les trois profils.

a) Profil amont (voir graphique n° 14).

le 23. 8.70	H éch. amont	=	548-543
le 16. 9.70	" "	=	525-529
le 29. 9.70	" "	=	306

b) Profil intermédiaire (voir graphique n° 15)

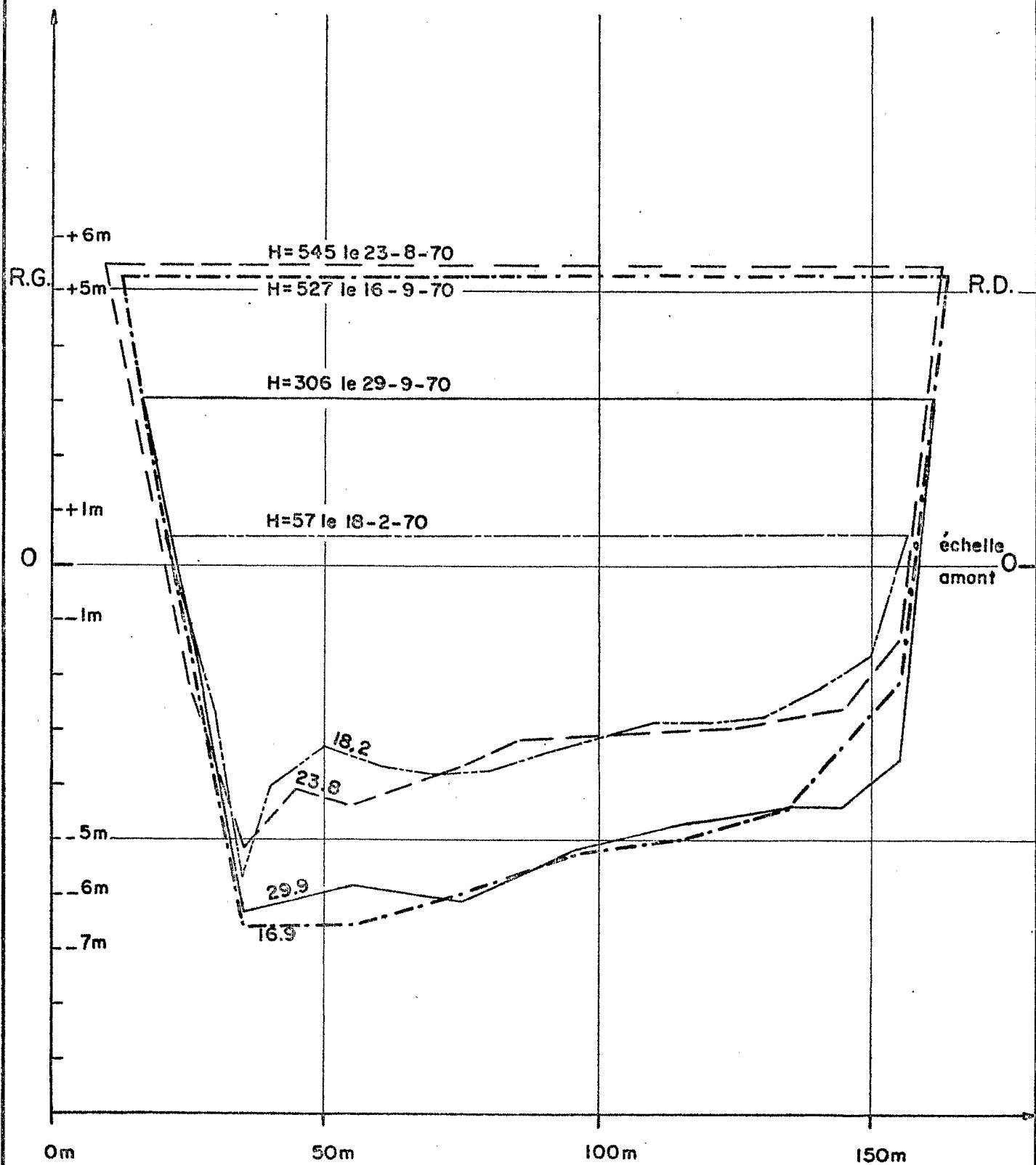
le 24. 8.70	H éch. aval	=	468-465
le 15. 9.70	" "	=	482
le 29. 9.70	" "	=	285

c) Profil aval (voir graphique n° 16)

le 16. 7.70	H éch. aval	=	126-132
le 25. 8.70	" "	=	448-447
le 14. 9.70	" "	=	510-506
le 1.10.70	" "	=	325

PROFIL AMONT

Date	23-8-70		16-9-70		29-9-70	
	Distance	Profondeur	Distance	Profondeur	Distance	Profondeur
	5 m	Rive gauche	8 m	Rive gauche	1 m	Rive gauche
	10 m	2,49 m	20 m	6,67 m	10	4,09 m
	15	5,07	30	11,81	20	9,34
	20	7,75	50	10,78	40	8,84
	30	10,57	70	11,20	60	9,14
	40	9,47	90	10,55	80	8,24
	50	9,77	110	10,25	100	7,74
	60	9,17	130	9,80	120	7,44
	70	9,07	150	7,40	130	7,49
	80	8,57	158,5	Rive droite	140	6,66
	100	8,47			146	Rive droite
	120	8,37				
	140	8,06				
	150	6,82				
	158	Rive droite				

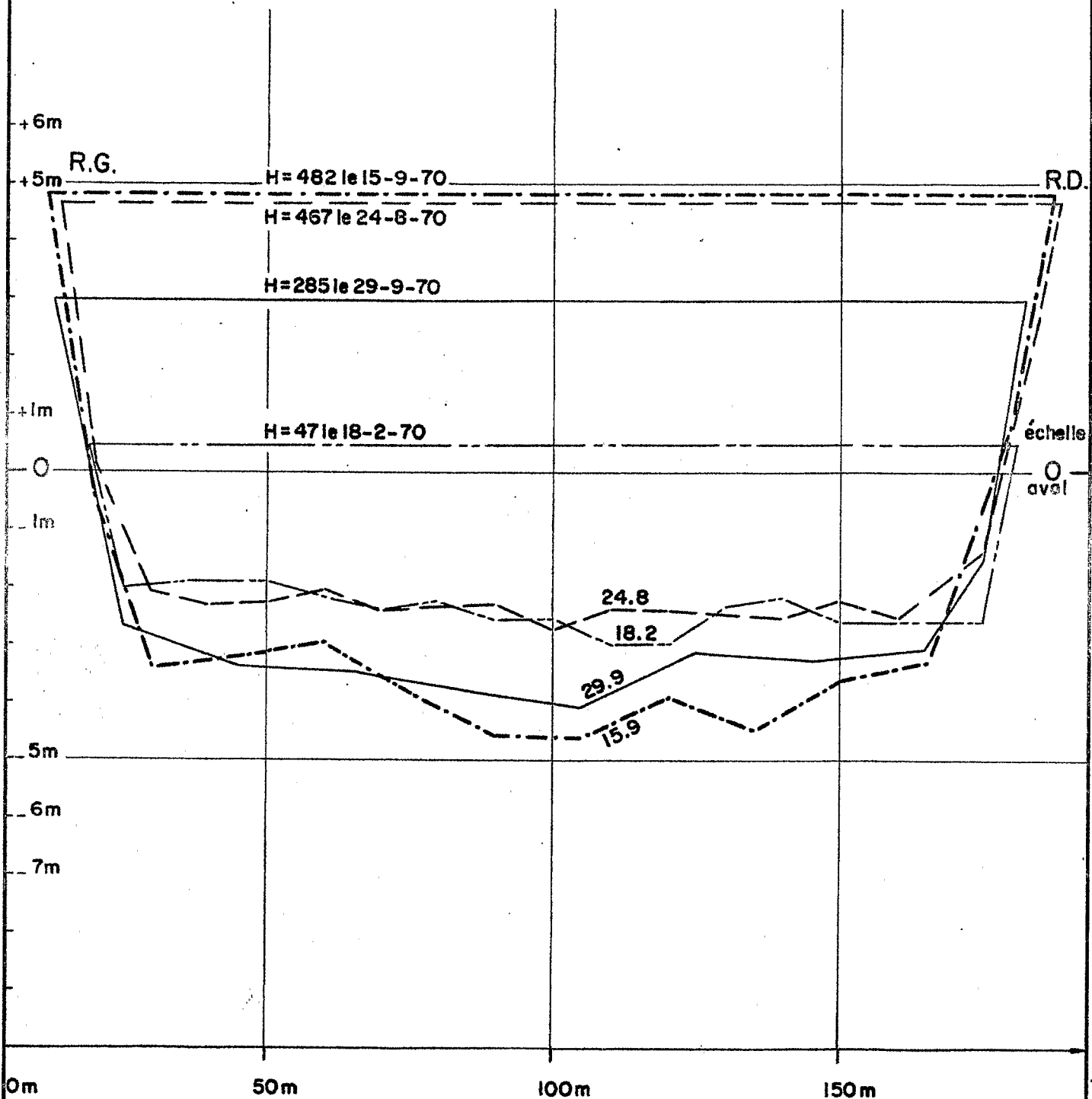


BENOUE à LAGDO

PROFIL AMONT
Variations du lit

PROFIL INTERMEDIAIRE

Date	24-8-70		15-9-70		29-9-70	
	Distance	Profondeur	Distance	Profondeur	Distance	Profondeur
	4 m	Rive gauche	2 m	Rive gauche	3 m	Rive gauche
	10 m	4,40 m	10 m	5,13 m	15 m	5,60
	20	6,72	20	8,20	35	6,33
	30	6,98	35	8,02	55	6,40
	40	6,92	50	7,87	75	6,80
	50	6,67	65	8,59	95	7,10
	60	7,03	80	9,37	115	6,15
	70	6,98	95	9,43	135	6,25
	80	6,92	110	8,76	155	6,10
	90	7,39	125	8,28	165	4,60
	100	7,03	140	8,44	172	Rive droite
	110	7,03	155	8,13		
	130	7,18	170	4,01		
	140	7,08	177,5	Rive droite		
	150	6,87				
	160	7,13				
	170	6,00				
	175	1,93				
	178	Rive droite				



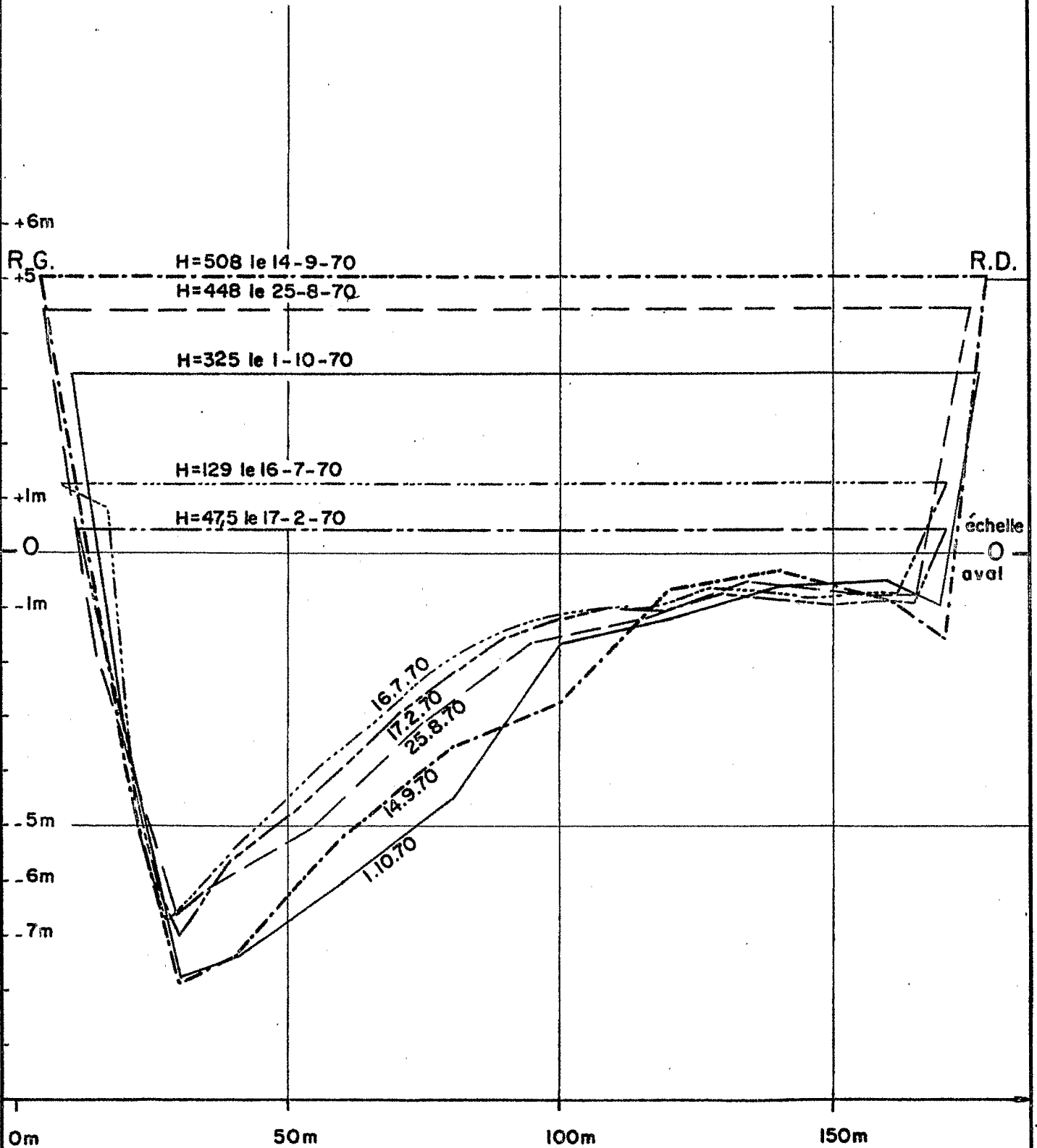
BENOUE à LAGDO

PROFIL INTERMEDIAIRE

Variations du lit

PROFIL AVAL

Date	16-7-70		25-8-70		14-9-70		1-10-70	
	Distance	Profondeur	D	P	D	P	D	P
	7 m	Rive gauche	0 m	R.G.	0 m	R.G.	8 m	R.G.
	10 m	0,72 m	10 m	6,53 m	15 m	8,83m	20 m	6,77 m
	15	6,36	30	10,64	25	12,93	40	10,69
	20	8,00	50	9,44	35	12,47	60	9,29
	30	7,03	70	7,58	55	10,25	80	7,75
	40	6,10	90	6,13	75	8,63	100	4,92
	50	5,12	110	5,75	95	7,80	120	4,40
	60	4,30	130	4,88	115	5,73	140	3,89
	70	3,37	150	5,23	135	5,40	160	3,78
	80	2,80	170	R.D.	155	5,92	170	4,27
	90	2,43			165	6,77	177	R.D.
	100	2,27			173	R.D.		
	110	2,29						
	120	1,93						
	130	1,98						
	140	2,13						
	150	2,03						
	155	2,08						
	164	R.D.						



BENOUE à LAGDO
PROFIL AVAL
Variations du lit

Les graphiques n° 14 à n° 16 mettent en évidence un creusement du lit de l'ordre de 1 à 2 mètres entre le 25.8.70 et le 15.9.70 sur les trois profils.

Le lit s'est probablement approfondi au cours de la crue de début septembre (maximum H = 798 le 4.9.70 à l'échelle amont).

Nous constatons que le tarage n'est pas sensiblement modifié par cette variation de lit, l'augmentation des profondeurs dans les sections de jaugeage étant compensée par une diminution des vitesses.

Nous pouvons donc supposer que le tarage de la BENOUE à LAGDO est déterminé :

- soit par une section de contrôle stable, probablement rocheuse, proche du défilé ;
- soit par des biefs amont et aval stables.

Il serait intéressant de déterminer, par ailleurs si cet approfondissement du lit se produit tous les ans ou s'il a été causé par la crue particulièrement forte de 1970.

6. PRELEVEMENTS DE MATERIAUX AU FOND DU LIT

Nous avons prélevé des matériaux au fond du lit à l'aide d'un récipient lesté et percé de petits trous pour permettre l'évacuation de l'eau lors du prélèvement.

Ce dispositif, assez rudimentaire, est pratiquement inutilisable en hautes eaux quand les vitesses et les profondeurs sont élevées. En effet lorsque nous opérons avec de fortes vitesses, il est difficile de faire pénétrer le récipient dans le fond meuble (même si le lest permet au récipient d'atteindre le fond, le courant l'empêche de s'enfoncer dans le sable). De plus lors de la remontée du récipient plein, nous traversons une zone de fortes vitesses qui peuvent lessiver ou emporter complètement l'échantillon prélevé.

Par contre, lorsque les vitesses sont faibles le dispositif de prélèvement employé est satisfaisant.

Nous avons prélevé 9 échantillons dont nous donnons la liste ci-dessous ainsi que leur composition granulométrique exprimée en %.

RECLAGE DU FOND A LAGDO 1970

COMPOSITION GRANULOMETRIQUE (%)
DES MATIERES MINERALES

N° de l'échantillon	Date	H Aval : cm	Profil	Profondeur : m	Distance : à la RG : m	Argile	Limons : fin : 2 µ à 20 µ	Limons : gros : 20 µ à 50 µ	Sable : fin : 50 µ à 200 µ	Sable : gros : 0,2 à 2 mm	Refus : > 2 mm
F 1	:25.8	:448	: AMONT	:	:	: 4,7	: 5,0	: 3,9	: 9,6	: 39,8	: 37,0
F 2	:25.8	:448	: INTERMEDIAIRE	:	:	: 4,0	: 3,4	: 5,0	: 18,3	: 40,0	: 29,3
F 3	:25.8	:448	: AVAL	:	:	: 0,8	: 1,1	: 0,3	: 5,3	: 48,1	: 44,4
F 4	: 1.10	:323,5	: AVAL	:3,89 m	: 132	: 0,5	: 2,7	: 0,7	: 14,9	: 79,9	: 1,3
F 5	:17.11	:108	:	:8,52	: 18	: 0,1	: 3,5	: 2,7	: 3,0	: 48,4	: 42,3
F 6	:17.11	:108	:	:8,62	: 28	: 4,1	: 5,4	: 5,7	: 12,0	: 28,1	: 44,7
F 7	:17.11	:108	:	:7,59	: 48	: 4,8	: 10,7	: 7,9	: 3,7	: 6,2	: 66,7
F 8	:17.11	:108	:	:3,68	: 78	: 3,0	: 12,5	: 6,0	: 2,6	: 31,5	: 44,4
F 9	:17.11	:108	:	:2,19	: 108	: C O N C R E T I O N S					

Le pourcentage des éléments de dimension supérieure à 0,2 mm (sable grossier et refus) est comprise entre 69,3 % et 92,5 % pour les 9 échantillons des matériaux du fond prélevés.

Le taux de matière organique des échantillons prélevés est très faible.

7. REPERAGE DE LA LIGNE D'EAU AU MOMENT DU MAXIMUM.

Nous avons mesuré la cote de la ligne d'eau au moment du maximum grâce à 6 échelles à maximum implantées sur les berges du défilé (voir plan d'implantation).

Le principe d'une échelle à maximum est simple : on dispose de petits corps flottants à des altitudes connues dans des godets fixés sur un support vertical ; tous les corps flottants déposés à une cote inférieure à la cote du maximum de la crue seront emportés par le courant. Nous pouvons donc déterminer la cote du maximum à 5 cm près (5 cm séparent deux godets consécutifs). Il peut arriver que des corps flottants soient emportés par le vent, ou que d'autres, submergés par la crue restent coincés au fond des godets ; mais ce sont des exceptions.

Nous avons obtenus les cotes maximales suivantes :

échelle amont	194,86
échelle n° 1	(194,75)
échelle n° 2 : (36 godets)	194,23
échelle n° 3 : (33 godets)	194,10
échelle n° 4 :	194,38
échelle n° 5 :	194,58
échelle n° 6 :	194,85

Nous avons reporté les cotes des maxima en fonction des distances des échelles à la section de l'échelle amont sur le graphique n° 17.

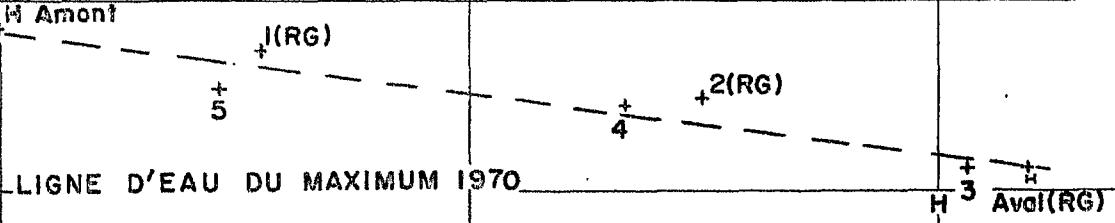
BENOUE à LAGDO

Gr. 17

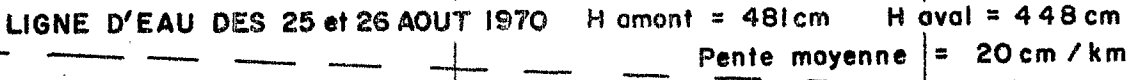
MATERIALIZATION DES LIGNES D'EAU

ALTITUDES (mètres)

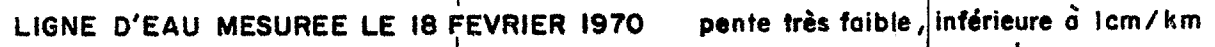
195
194
193
192
191
190
189
188
187



Pente moyenne = 67 cm / km ± 7 cm / km



Pente moyenne = 20 cm / km



Distances (mètres)

0m 100m 500m 1000m

8. MESURE DES TRANSPORTS DE SABLE EN SUSPENSION ET EN SALTATION

8.1. Principe et description de l'échantillonneur utilisé

Nous avons prélevé les matériaux transportés à l'aide d'un échantillonneur du type bouteille de DELFT DF 12.

Le principe de cet appareil est simple :

L'eau chargée de sédiments traverse l'échantillonneur qui a une forme de bouteille (goulot ou "bec" tourné vers l'amont).

L'échantillonneur est profilé de façon à ce que la vitesse d'entrée de l'eau chargée de sédiments soit sensiblement égale à la vitesse de l'écoulement non perturbé.

La décroissance rapide des vitesses dans les vastes chambres de décantation entraîne un dépôt de matière solide.

L'eau traitée sort ensuite de l'appareil par des trous en nombre variable disposés sur la face arrière de la bouteille.

On peut adapter deux becs de prélèvements différents sur l'échantillonneur :

- le grand bec de $3,8 \text{ cm}^2$ de section, adapté aux faibles vitesses (jusqu'à 1 m/s) ;
- le petit bec de $1,9 \text{ cm}^2$ de section, adapté aux moyennes et fortes vitesses (jusqu'à $2,5 \text{ m/s}$).

Pour prélever les échantillons, nous avons immergé la bouteille à la profondeur choisie pendant un temps de l'ordre de 10 à 15 minutes, la bouteille étant suspendue à un cable manoeuvré par un treuil étalonné.

A la fin de la mesure, il faut remonter lentement la bouteille et vider l'échantillon dans une éprouvette

graduée pour mesurer le volume de matière solide prélevé.

Pour connaître le volume réel de sable qui passerait dans la section du bec si l'écoulement n'était pas perturbé par la présence de l'échantillonneur, il convient de multiplier le volume du prélèvement par un coefficient K qui est le rapport d'un coefficient hydraulique et d'un coefficient de perte. Le coefficient hydraulique est le rapport entre le débit traversant le bec de l'échantillonneur et le débit de l'écoulement non perturbé qui traverserait la même surface. Le coefficient hydraulique dépend de la vitesse mesurée.

Le coefficient de perte est le rapport entre le volume total qui rentre dans la bouteille et le volume qui s'y dépose. Le coefficient de perte augmente quand la vitesse augmente ou quand la taille des grains prélevés diminue.

Tables de correction données par le constructeur :

Coefficient de correction K en fonction de la vitesse et de la composition granulométrique de l'échantillon												
Taille moyenne des grains (µm)		PETIT BEC (1,9 cm ²)					GRAND BEC (3,8 cm ²)					
		50	80	100	125	200	50	80	100	125	200	
Vitesse du courant (m/s)		85	110	130	200	400	85	110	130	200	400	
0	à 0,25	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	
0,25	- 0,50	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4	1,1	1,1	1,1	1,1	
0,50	- 0,75	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,1	1,0	1,0	1,0	
0,75	- 1,00	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	1,6	1,2	1,0	0,9	0,9	
1,00	- 1,25	1,3	0,9	0,9	0,9	0,9	1,9	1,3	1,1	1,0	0,9	
1,25	- 1,50	1,4	1,0	0,9	0,9	0,9	-	1,6	1,2	1,0	1,0	
1,50	- 1,75	1,5	1,1	1,0	0,9	0,9	-	-	1,3	1,1	1,0	
1,7	- 2,00	1,7	1,2	1,0	0,9	0,9	-	-	1,6	1,3	1,2	
2,00	- 2,25	1,9	1,3	1,0	0,9	0,9	-	-	-	1,6	1,4	
2,25	- 2,50	2,0	1,4	1,1	0,9	0,9	-	-	-	-	-	

8.2. Difficultés rencontrées

L'utilisation de l'échantillonneur et l'exploitation des résultats de l'analyse des échantillons se sont cependant avérées délicates pour plusieurs raisons.

8.2.1. Difficultés de manoeuvre de l'appareil dues à la vitesse de l'eau.

L'échantillonneur semble peu adapté aux vitesses élevées; nous avons dû lui adjoindre un saumon de 50 kgs pour qu'il ne soit pas entraîné par le courant. De plus, cet appareil est fait pour être manoeuvré à partir d'embarcations de tonnage relativement important ; le "ZODIAC" prévu s'est révélé trop léger et les paquets d'herbes flottantes qui s'accrochaient au câble supportant la bouteille ont souvent rendu les manoeuvres acrobatiques.

Pour les prélèvements effectués près du fond, le constructeur préconisait de fixer la bouteille sur un chassis ou cadre reposant sur le fond. La bouteille était ainsi immobilisée à une distance bien connue du fond. Nous n'avons pas pu descendre le cadre au fond de la BENOUE à cause des trop fortes vitesses, des corps flottants et de la légèreté de notre embarcation. Les prélèvements de fond ont donc été effectués comme les autres en descendant la bouteille lestée d'un saumon de 50 kgs à l'aide d'un treuil. Il en résulte une assez grande imprécision sur la distance séparant le bec de prélèvement du fond ; par ailleurs il est possible que l'échantillonneur ait parfois prélevé le sable qu'il avait auparavant lui-même soulevé en oscillant au voisinage du fond. Et il est difficile, pour un échantillon prélevé près du fond, de séparer la partie "suspension" de la partie "saltation".

8.2.2. Les prélèvements effectués près du fond où la vitesse est faible ont souvent été effectués avec le grand bec. Mais, au cours de la remontée, l'appareil traverse des zones de fortes

vitesse qui peuvent parfois lessiver une partie de l'échantillon prélevé.

8.2.3. Pour effectuer la correction K indiquée par le constructeur nous avons procédé à l'analyse granulométrique des échantillons mais le constructeur ne donne aucune indication sur la manière dont il convient de déterminer la "taille moyenne des grains de l'échantillon" à partir d'une telle analyse. Or nous avons des échantillons composés à la fois d'argile (taille inférieure à 2μ) et de grains de taille supérieure à 2 mm .

Il est évident que l'on ne recueillera qu'un faible pourcentage des matériaux très fins (argiles, limons fins) qui pénètrent dans la bouteille, l'échantillonneur ne donnant des résultats (après correction) que pour des grains de diamètre supérieur à 50μ .

Pour chaque série de prélèvements, nous avons dressé un tableau qui nous permettra d'effectuer la correction K. Nous avons procédé de la manière suivante :

a) Examen des données brutes : Nous avons rassemblé dans les douze premières lignes de ces tableaux les données suivantes :

- Paramètres mesurés directement sur le terrain (distances et profondeurs de prélèvement, temps de prélèvement, volume prélevé, vitesse au point de prélèvement).
- Paramètres de l'échantillon mesurés au laboratoire (% de matière organique de l'échantillon, analyse granulométrique de la partie minérale de l'échantillon en utilisant les classes suivantes : Argile : inférieur à 2μ ; limon fin de 2 à 20μ ; limon grossier de 20 à 50μ ; Sable fin de 50 à 200μ ; Sable grossier de 0,2 à 2 mm ; refus : supérieur à 2 mm).

b) Calcul des volumes de matière minérale prélevée dont la taille des composants est :

- inférieure à 50μ
- comprise entre 50 et 200μ
- supérieure à 200μ (0,2 mm).

Ces classes de taille peuvent être liées aux classes de tailles des tables de correction données par le constructeur.

c) Correction des deux derniers volumes par le coefficient K pour pouvoir déterminer le débit réel de matière minérale dont les grains sont de taille supérieure à 50μ .

Pour corriger le volume de la classe 50 à 200μ , nous adopterons la moyenne arithmétique des quatre coefficients donnés par le constructeur pour les tailles de 50 à 200μ .

Pour corriger le volume de la classe supérieure à 200μ , nous adopterons le coefficient K de la classe 200 à 400μ , car nous avons remarqué que, dans la gamme des vitesses observées, le coefficient K ne varie pas entre les classes 125- 200μ et 200μ - 400μ , ce qui signifie que le coefficient de perte reste constant et est probablement nul pour ces tailles. Nous pouvons donc penser que, à fortiori, ce coefficient sera nul pour des grains de taille supérieure et donc considérer K comme constant pour des tailles supérieures à 400μ .

8.2.4. La précision des mesures de volumes à l'aide d'un nombre entier d'éprouvettes est faible.

8.3. Mesures réalisées et commentaires

Nous avons réalisé 3 séries de mesures au cours de la saison des pluies. Nous donnons ci-après les résultats obtenus, dépouillés selon les indications du paragraphe 8.2.3.

Prélèvements du 25.8.70 de 10 h 30 à 12 h 45 H = 447
 $Q = 1510 \text{ m}^3/\text{s}$ effectués à 0,35 m du fond, la bouteille étant
 lestée du saumon de 50 kgs ; après examen des courbes de vitesse
 du jaugeage, nous estimons que la vitesse à 0,35 m du fond est
 comprise entre 0,75 et 1 m/s.

GRAND BEC DE $3,8 \text{ cm}^2$

Numéro	1	2	3	4	5
Distance (m) (RD 0 m. RG 170 m)	20	40	60	100	140
Profondeur de prélèvement (m) à 0,35 du fond	4,78	4,59	5,11	7,25	9,87
Vitesse (m/s) (Grand bec)	(0,8)	(0,8)	(0,8)	(0,8)	(0,8)
Durée du prélèvement	12'	12'30"	12'30"	12'	11'
Volume prélevé (cm ³)	12	28	172	68	14
% de matière organique ¹	9,1	0,7	4,4	2,3	5,0
% de matière minérale ² diam. inf. à 2μ	20,3	2,1	0,6	0,9	19,0
% " " " diam. de 2μ à 20μ	0,7	0,1	0,1	1,3	6,5
% " " " " 20μ à 50μ	8,8	0,9	0,2	0,1	11,4
% " " " " 50μ à 200μ	42,5	17,8	3,5	4,5	30,2
% " " " " $0,2 \text{ mm}$ à 2 mm	27,7	79,1	88,5	88,8	32,9
% " " " " sup. à 2 mm	0	0	7,1	4,4	0
Volume prélevé diam. inférieur à 50μ	3,2	0,9	1,5	1,5	4,9
" " " de 50 à 200μ	4,6	4,9	5,7	3,0	4,0
" " " sup. à $0,2 \text{ mm}$	3,0	22,0	156,7	61,9	4,4
Volume corrigé diam. de 50 à 200μ	5,1	5,4	6,3	3,3	4,4
Volume corrigé diam. sup. à $0,2 \text{ mm}$	2,7	19,8	141,0	55,7	4,0
Volume corrigé total de diam. sup. à 50μ	7,8	25,2	147,3	59,0	8,4
Débit en $\text{cm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ des éléments de diamètre supérieur à 50μ (sables fins et grossiers)	28,5	88,4	516,8	215,6	33,5

1 et 2 : résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon prélevé.

1 : exprimés en pourcentage de l'échantillon total.

2 : exprimés en pourcentage de la partie minérale de l'échantillon.

Prélèvement du 14-9-70 à 11 h, H AVAL = 500, Q = 1960 m³/s effectué à 0,13 m du fond, la bouteille étant fixée au bout du saumon de 50 kgs.

PETIT BEC DE 1,9 cm²

Numéro	6	7	8	9	10	11	12	13
Distance (m) (RD 2 ; RG 175 m)	20	40	60	80	100	120	140	160
Profondeur de prélèvement(m) (à 0,13 du fond)	590	519	532	780	885	10,29	11,97	8,54
Vitesse (m/s)	0,53	0,53	0,48	0,75	1,08	(0,6)	(0,6)	(0,1)
Durée du prélèvement	12'	12'	12'	12'	12'	12'	12'	12'
Volume prélevé (cm ³)	10	60	25	50	35	35	40	inférieur à 5 cm ³
% de matière organique (1)		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
% de matière minérale(2) diam.inf. à .2 μ		0,4	1,7	0,1	0,2	0,3	0,1	
% " " " diam. de 2μ à 20μ	PAS	46,6	0,3	0,9	0,1	0,9	0,2	PAS
% " " " " 20μ à 50μ	D'	0,2	1,9	0,1	0,1	0,1	3,8	D'
% " " " " 50μ à 200μ	E'	0,3	22,7	5,3	2,7	0,2	54,2	E'
% " " " " 0,2 mm à 2 mm.	C'	40,2	73,4	46,5	56,9	74,3	0,9	C'
% " " " " sup. à 2 mm	H'	12,3	0,0	47,1	40,0	24,2	40,8	H'
Volume prélevé diam.inférieur à 50μ		28,1	1,0	0,5	0,1	0,4	1,6	
" " diam. de 50 à 200 μ		0,2	5,6	2,6	0,9	0,1	21,5	
" " diam. sup. à 0,2 mm		31,2	18,3	46,5	33,7	34,3	16,6	
Volume corrigé diam. de 50 à 200 μ		0,2	6,2	2,6	0,9	0,1	22,6	
Volume corrigé diam. sup. à 0,2 mm		32,0	19,2	44,2	30,3	34,3	16,6	
Volume corrigé total de diam. sup. à 50 μ		32,2	25,4	46,8	31,2	34,4	39,2	
Débit en cm ³ /s/m ² des éléments de diamètre supérieur à 50μ (sables fins et grossiers)		235	186	342	228	252	287	

- 1 et 2 : résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon prélevé.
 1 : exprimés en pourcentage de l'échantillon total
 2 : exprimés en pourcentage de la partie minérale de l'échantillon.

Prélèvements du 1-10-70 (H éch. aval = 323,5 Q = 755 m³/s) effectués à diverses profondeurs, la bouteille étant fixée au bout du saumon de 50 kgs. La notation F à côté de l'indication de profondeur signifie que la bouteille repose sur le fond qui se trouve à 0,13 m en dessous du point de mesure.

GRAND BEC DE 3,8 cm².

Numéro	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distance (m) (RD Om 172 m)	40	40	40	40	80	80	80	80	120	120	120
Profondeur du prélèvement (m)	371 F	300	200	100	505 F	450	350	200	895 F	800	700
Vitesse (m/s)	0,53	0,58	0,69	0,74	0,70	0,74	0,88	0,92	0,67	0,74	0,80
Date du prélèvement	12†	12†30"	12†	12†	12†	12†	12†	12†30"	12†	12†	12†
Volume prélevé (cm ³)	20	20	15	15	20	15	10	10	20	15	10
% de matière organique (1)	(12,5)	(12,5)	(12,5)	(12,5)	(12,5)	(12,5)	(12,5)	(12,5)	(12,5)	(12,5)	(12,5)
% de matière minérale (2) diam. inf. à 2 μ	20,7	29,7	22,6	12,1	7,5	10,7	11,3	8,7	4,7	3,4	1,4
% de matière minérale (2) diam. de 2 μ à 20 μ	22,9	21,7	23,2	20,9	6,1	2,3	0,4	3,6	5,1	3,0	2,3
% de matière minérale (2) diam. 20 μ à 50 μ	3,9	5,8	4,0	22,7	0,6	11,1	13,4	13,2	6,2	17,3	17,5
% de matière minérale (2) diam. 50 μ à 200 μ	45,2	2,7	41,7	41,2	67,8	74,4	73,5	73,4	72,1	75,4	77,4
% de matière minérale (2) diam. 0,2 mm à 2 mm	7,3	40,1	8,5	3,1	18,0	1,5	1,4	1,1	11,9	0,9	1,4
% de matière minérale (2) diam. sup. à 2 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% de matière prélevée diam. inférieur à 50 μ	8,3	10,0	6,5	7,3	2,5	3,2	2,2	2,2	2,8	3,1	1,9
% de matière prélevée diam. de 50 à 200 μ	7,9	0,5	5,5	5,4	11,9	9,7	6,4	6,4	12,6	9,9	6,8
% de matière prélevée diam. sup. à 0,2 mm	1,3	7,0	1,1	0,4	3,1	0,2	0,1	0,1	2,1	0,1	0,1
% de matière corrigé diam. de 50 à 200 μ	8,5	0,6	6,6	6,5	14,3	11,7	7,7	7,7	15,1	11,9	8,2
% de matière corrigé diam. sup. à 0,2 mm	1,3	7,1	1,1	0,4	3,0	0,2	0,1	0,1	2,0	0,1	0,1
% de matière corrigé total (le diam. sup. à 50 μ)	9,8	7,7	7,7	6,9	17,3	11,9	7,8	7,8	17,1	12,0	8,3
Coef. de diffusion en cm ³ /s/m ² des sédiments de diamètre inférieur à 50 μ (tables fin et grossiers)	36	27	28	25	63	43	29	87	62	44	30

1 et 2 : résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon prélevé.
 1 : exprimés au pourcentage de l'échantillon total.
 2 : exprimés en pourcentage de la partie minérale de l'échantillon.

Nous avons effectué un jaugeage le jour de chaque série de mesures (nous donnons en annexe les données brutes de ces jaugeages).

Le prélèvement du 25.8.70 n'a concerné que les transports à 0,35 m du fond (saltation et suspension). Un montage de fortune ayant du être réalisé pour accrocher le saumon à la bouteille, il ne nous a pas été possible de mesurer la vitesse exactement au point de prélèvement. Nous avons estimé à 0,8 m/s la vitesse à 0,35 m du fond, en examinant les paraboles des vitesses.

Le prélèvement, ayant été effectué près du fond sans chassis porteur avec le grand bec, a pu être modifié par les perturbations signalées aux paragraphes 8.2.1. et 8.2.2. (prélèvement du sable soulevé par l'appareil lui-même et lessivage de l'échantillon pendant la remontée de la bouteille).

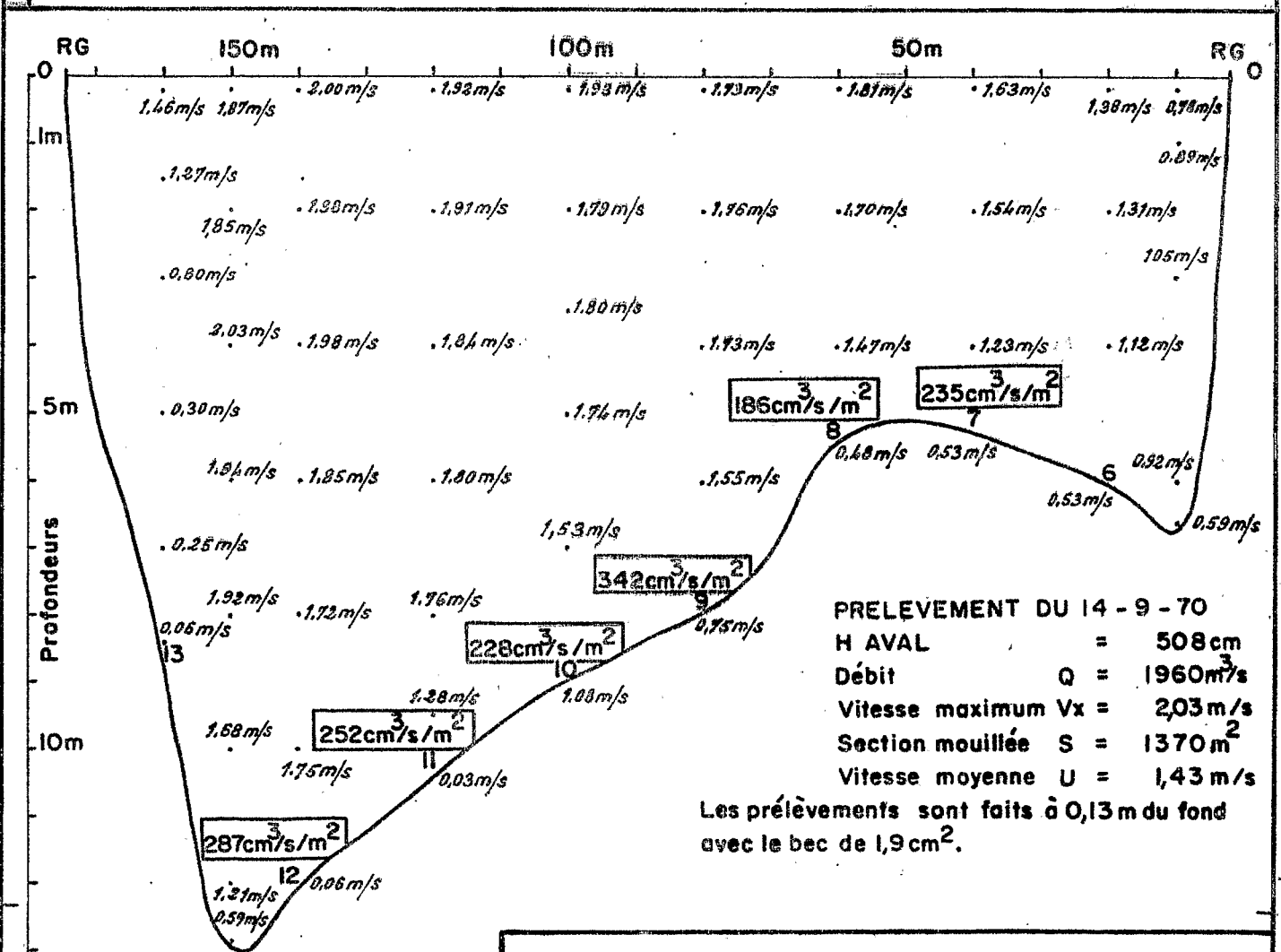
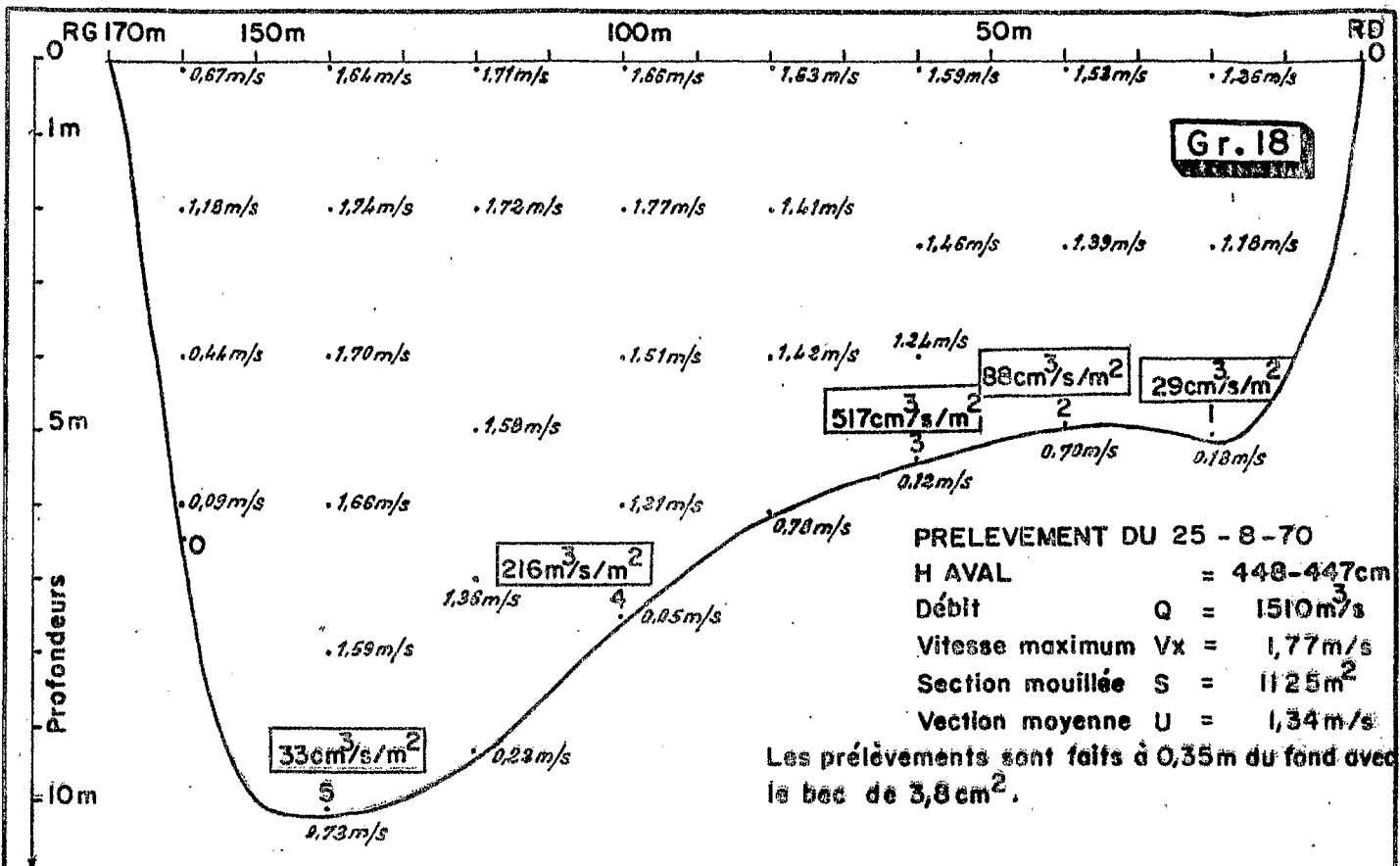
Nous remarquons que les volumes des échantillons n° 4 et surtout n° 3 sont beaucoup plus importants que ceux des autres. En examinant leur composition granulométrique, nous constatons que la différence provient surtout de l'abondance des éléments grossiers provenant sans doute de saltation (à moins que ce ne soit un échantillon du nuage de sable soulevé en manoeuvrant l'échantillonneur ?).

Sur le graphique n° 18 nous avons reporté les points des prélèvements sur le profil de jaugeage ainsi que les vitesses mesurées lors du jaugeage.

Prélèvement du 14.9.70 Les échantillons ont été prélevés à 0,13 m du fond, l'échantillonneur étant fixé en bout de saumon. Nous avons pu cette fois-ci mesurer directement la vitesse au point de prélèvement.

Les prélèvements ont été effectués à l'aide du petit bec de 1,9 cm. Les résultats semblent être plus homogènes que ceux du prélèvement du 25.8.70. (voir graphique n° 18).

Ces échantillons, prélevés près du fond, sont toujours composés d'éléments provenant et de saltation et de transport en suspension, mais il est difficile d'en connaître la proportion.



1,21m/s mesure de Vitesse
 86cm³/s/m² position et resultat d'un prélèvement

BENQUE A LAGDO
 Mesures des transports solides près du fond avec une bouteille Delft.

Prélèvement du 1.10.70

Les échantillons ont été prélevés au fond et à diverses profondeurs intermédiaires, la bouteille étant fixée en bout de saumon. Le prélèvement a été effectué au cours d'une petite crue survenant pendant la décrue annuelle ; la cote est égale à 325 à l'échelle aval et le débit à $755 \text{ m}^3/\text{s}$ soit environ le quart ou le cinquième du débit maximum. Le débit de sable obtenu par intégration des résultats des mesures ($0,034 \text{ m}^3/\text{s}$) sera très inférieur au débit de sable relatif au maximum de la crue.

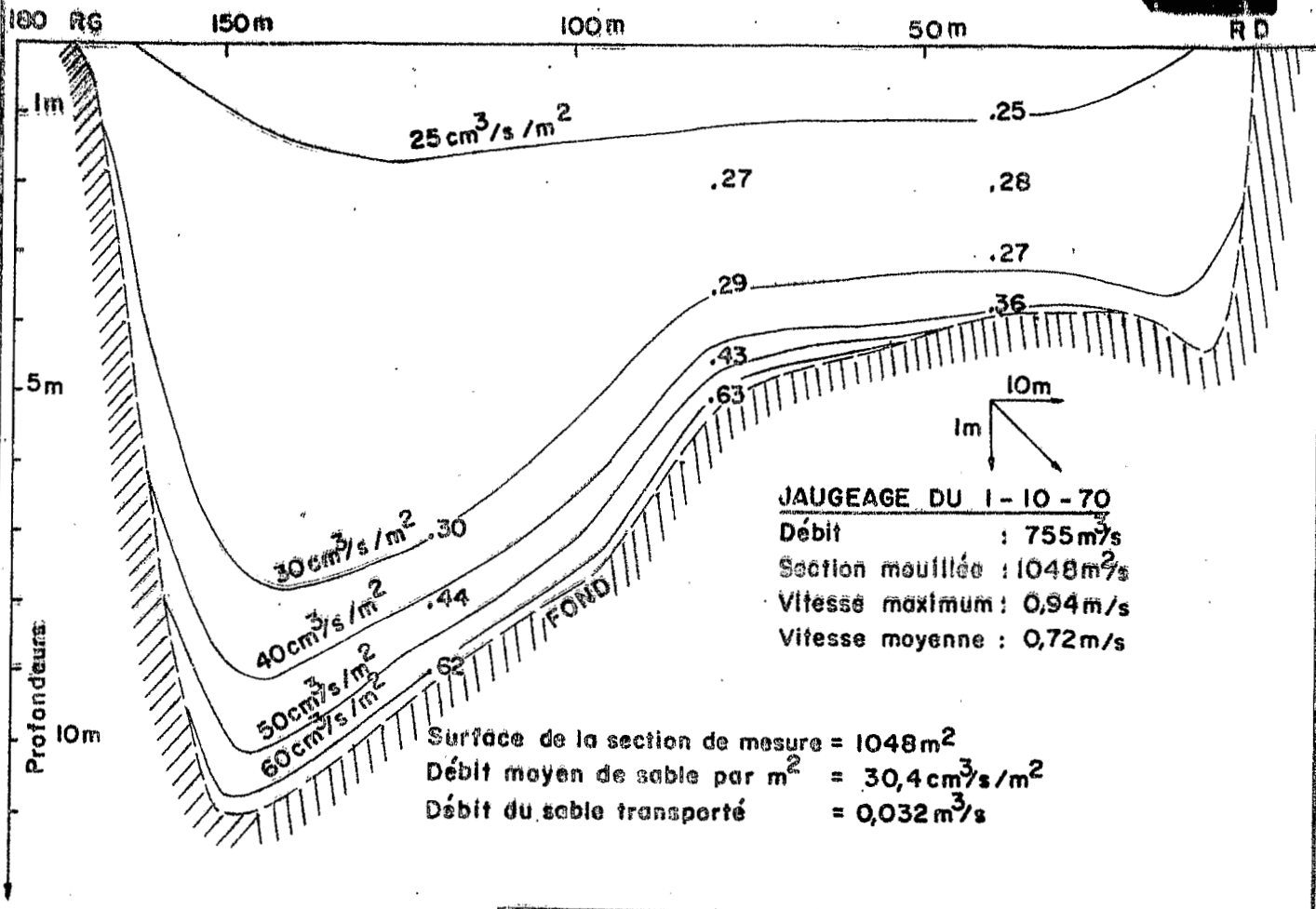
Le débit du sable en saltation ne doit pas être important à cause des faibles vitesses.

En examinant les résultats de l'analyse granulométrique nous constatons que la proportion d'éléments fins est plus forte pour les prélèvements de la verticale 40 que pour les autres. Ceci est également vrai pour le taux de matière organique, mais plusieurs résultats aberrants des analyses nous ont conduit à adopter le même taux moyen de matière organique pour tous les échantillons.

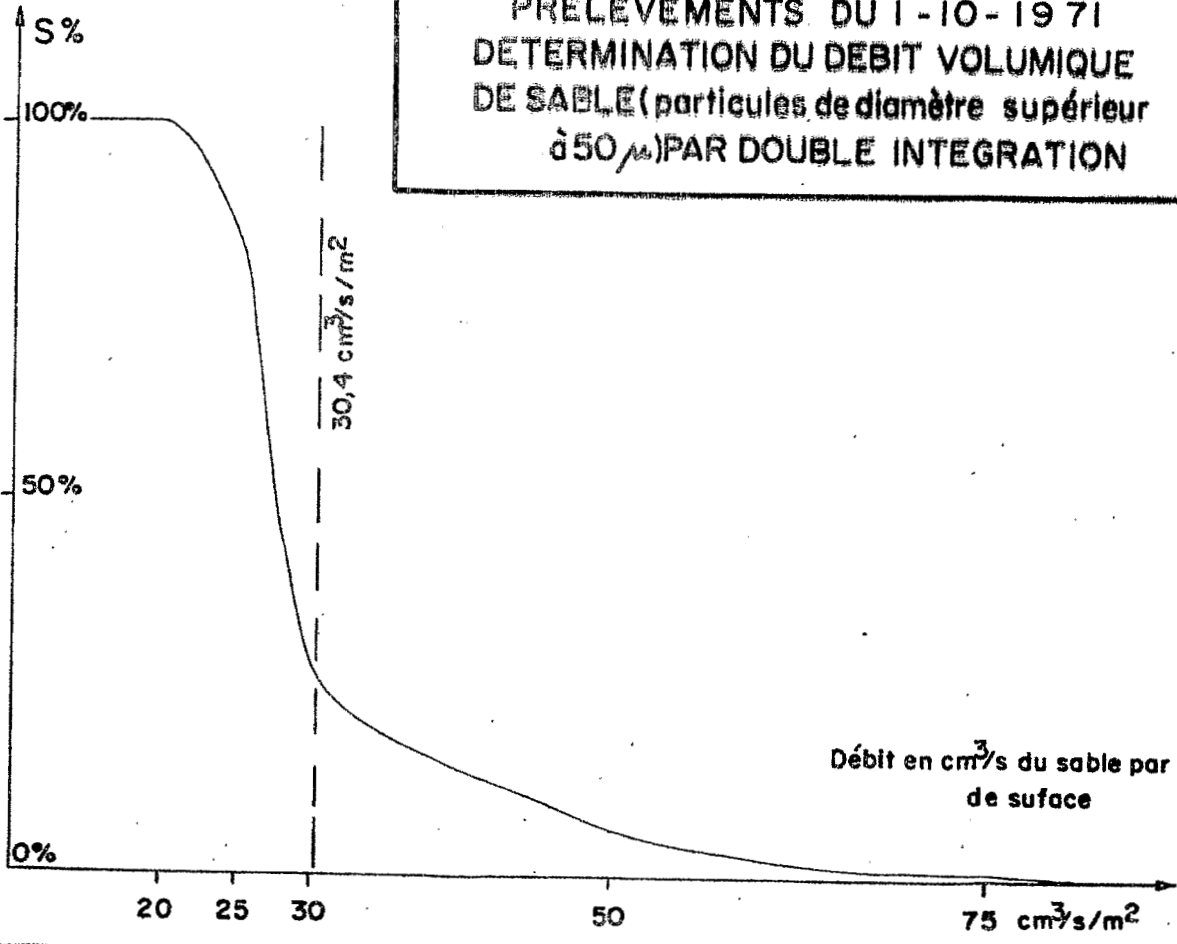
Sur le graphique n° 19, nous avons reporté sur un profil de mesure les différents résultats des mesures.

Comparaison de la granulométrie des échantillons prélevés près du fond.

Nous avons reporté dans le tableau ci-après les valeurs moyennes, exprimées en pourcentage des résultats de l'analyse granulométrique de tous les échantillons prélevés près du fond au cours d'un même jaugeage.



BENOUE à LAGDO
 PRELEVEMENTS DU 1-10-1971
 DETERMINATION DU DEBIT VOLUMIQUE
 DE SABLE (particules de diamètre supérieur
 à 50 μ) PAR DOUBLE INTEGRATION



Date du prélèvement	:	25-8-70	:	14-9-70	:	1-10-70
H échelle aval (cm)	$H_A =$	447	:	500	:	323,5
Débit (m^3/s)	$Q =$	1510	:	1960	:	755
Distance de prélèvement par rapport au fond (cm)	$\alpha =$	35	:	13	:	13
% de matière minérale de diam.inf. à 2μ	:	8,6	:	0,5	:	11,0
" " " " " de 2 à 20μ	:	1,7	:	8,2	:	11,3
" " " " " de 20 à 50μ	:	4,3	:	1,0	:	3,6
" " " " " de 50 à 200μ	:	19,7	:	14,2	:	61,7
" " " " " de 0,2 à 2 mm	:	63,4	:	48,7	:	12,4
" " " " " sup à 2 mm	:	2,3	:	27,4	:	0

Nous constatons que le pourcentage des matériaux grossiers des deux premiers échantillons (prélevés pour des débits élevés) sont plus importants que ceux du troisième (prélevé pour un débit deux ou trois fois plus faible, lors de la décrue).

Le premier prélèvement a été effectué à 0,35 m du fond et les deux autres à 0,13 m seulement.

9. CONCLUSION

De cette campagne de mesures de saison des pluies 1970, on retiendra la forte hydraulicité de l'année et le débit de pointe élevé de la crue annuelle. Et, il est regrettable que ce soit ce même débit de pointe élevé qui ait empêché MM. NOUVELOT et DELFIEU de se rendre à LAGDO pour y effectuer des mesures.

Essayons de dresser un bilan des résultats des mesures réalisées :

- Observations limnimétriques : satisfaisantes.
- Enregistrements limnigraphiques : incomplets, mais peuvent être reconstitués facilement grâce aux relevés limnimétriques.
- Tarage des échelles : satisfaisant jusqu'à 2000 à 2300 m³/s.
- Mesures des vitesses et directions de l'écoulement : satisfaisantes.
- Mesures des variations du lit : satisfaisantes.
- Prélèvements des matériaux du fond : impossibles en hautes eaux avec le matériel dont nous disposons. Satisfaisants en moyennes et basses eaux.
- Repérage de la ligne d'eau au moment du maximum : satisfaisant.
- Mesures des transports de sable à l'aide de la BOUTEILLE DE DELFT : en faible nombre, donnent une idée de ces transports.

Nous avons décidé d'entreprendre une Campagne de Mesures complémentaires au cours de la saison des pluies 1971.

Le programme des mesures 1971 reprend le programme 1970 en éliminant les mesures des vitesses et directions de l'écoulement ainsi que celles de variations du lit.

A N N E X E

HAUTEURS D'EAU EN 1970 DE LA BENOUE A RIAO

HAUTEURS D'EAU EN 1970 DE LA BENOUE A LAGDO AMONT

HAUTEURS D'EAU EN 1970 DE LA BENOUE A LAGDO AVAL

JAUGEAGE DU 25. 8. 70

JAUGEAGE DU 14. 9. 70.

JAUGEAGE DU 1.10. 70.

BENOUE A RIAO

ANNEE 1970

Hauteurs d'eau journalières en cm

Jours:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	102	85	76	65	48	76	141	304	575	400	200	147
2	101	85	76	65	48	98	200	282	570	410	198	146
3	101	85	76	65	46	102	205	300	640	455	192	145
4	99	85	75	65	46	107	200	385	652	480	189	144
5	98	86	74	65	43	98	187	340	616	460	182	142
6	98	85	72	64	43	93	176	390	595	420	180	140
7	97	85	72	64	43	90	170	418	478	380	178	138
8	97	85	72	64	45	87	186	470	560	344	176	138
9	97	84	71	64	47	85	186	460	556	325	176	137
10	97	84	70	64	50	84	196	428	548	305	176	137
11	97	83	70	64	51	90	180	434	560	290	176	136
12	96	83	70	64	55	89	163	436	592	277	176	135
13	96	82	70	64	55	86	162	470	596	268	175	135
14	96	82	68	63	56	95	160	508	580	258	174	134
15	95	81	68	63	56	88	173	520	560	253	172	134
16	96	81	68	62	55	90	180	540	568	262	171	133
17	94	80	68	61	55	92	280	570	580	266	167	132
18	94	80	67	60	55	94	252	588	565	248	167	131
19	93	80	67	60	58	92	266	590	562	246	165	130
20	93	80	66	58	60	90	255	586	575	230	163	123
21	93	80	66	56	60	95	225	592	564	226	160	120
22	92	78	66	56	60	98	200	605	526	220	158	118
23	92	78	66	55	60	98	208	590	500	218	157	118
24	92	78	66	54	60	114	320	560	468	216	156	117
25	91	78	66	53	60	110	300	540	440	215	155	117
26	90	78	66	52	60	120	262	540	420	215	153	115
27	89	77	66	51	61	122	238	554	420	215	152	114
28	90	77	66	50	63	126	223	565	397	216	149	112
29	89		66	50	65	135	220	584	366	212	148	110
30	89		66	48	68	155	226	595	380	209	148	110
31	88		66		70		332	590		207		110

BENOUE A LAGDO

ANNEE 1970

Hauteurs d'eau journalières en cm

AMONT

: Jours :	J :	F :	M :	A :	M :	J :	J :	A :	S :	O :	N :	D :
1						75	105	223	529			
2						76	144	205	567			
3						81	146	260	775			
4						81	136	301	744			
5						74	125	261	637			
6					26	73	123	314	564			
7					27	68	117	354	517			
8					27	68	138	404	508			
9					28	64	124	385	495			
10					31	60	134	353	495			
11					34	58	122	362	512			
12					37	57	111	370	568			
13		60			39	58	113	410	570			
14					39	63	110	447	543			
15					41	59	121	460	509			
16		59			49	61		499	526			
17					39	65	198	524	538			
18					41	66	209	557	519			
19					39	63	205	559	518			
20					41	63	181	547	534			
21					41	66	155	579	508			
22					41	66	138	595	460			
23					39	68	149	552	420			
24					39	86	245	503	395			
25					39	88	219	481	370			
26					37	90	188	481	354			
27					37	98	167	502	352			
28					39	94	156	518	330			
29					45	112	153	546	306			
30					48	112	160	583	321			
31					59		257	564				

BENOUE A LAGDO

ANNEE 1970

Hauteurs d'eau journalières en cm

ECHELLE AVAL

:Jours:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	:	:	:	:	:	63	94	210	507	:	:	:
2	:	:	:	:	:	65	134	193	535	:	:	:
3	:	:	:	:	:	70	136	249	708	:	:	:
4	:	:	:	:	:	70	126	284	704	:	:	:
5	:	:	:	:	:	64	115	248	606	:	:	:
6	:	:	:	:	14	63	113	298	532	:	:	:
7	:	:	:	:	15	58	106	338	490	:	:	:
8	:	:	:	:	16	58	128	381	482	:	:	:
9	:	:	:	:	18	54	114	364	470	:	:	:
10	:	:	:	:	21	50	123	334	471	:	:	:
11	:	:	:	:	28	48	111	342	486	:	:	:
12	:	:	:	:	26	46	101	352	536	:	:	:
13	:	:	:	:	28	48	103	386	536	:	:	:
14	:	:	:	:	29	52	100	419	512	:	:	:
15	:	:	:	:	31	48	111	431	483	:	:	:
16	:	:	:	:	39	51	134	467	497	:	:	:
17	:	:	:	:	29	55	193	489	509	:	:	:
18	:	:	:	:	31	55	198	517	492	:	:	:
19	:	:	:	:	29	52	194	518	492	:	:	:
20	:	:	:	:	29	52	170	508	505	:	:	:
21	:	:	:	:	29	56	144	536	482	:	:	:
22	:	:	:	:	29	56	127	546	438	:	:	:
23	:	:	:	:	29	58	138	513	401	:	:	:
24	:	:	:	:	29	75	233	470	378	:	:	:
25	:	:	:	:	28	78	206	448	355	:	:	:
26	:	:	:	:	27	79	176	448	339	:	:	:
27	:	:	:	:	27	87	156	469	340	:	:	:
28	:	:	:	:	29	83	145	485	315	:	:	:
29	:	:	:	:	35	102	142	307	292	:	:	:
30	:	:	:	:	37	102	149	536	309	:	:	:
31	:	:	:	:	50	:	245	521	:	:	:	:

Jaugeage du 25.8.70 à la section aval de LAGDO de 10 h 30 à 12 h 45.
 H aval = 448 - 447 cm. Q = 1510 m³/s.

Les profondeurs sont exprimées en mètres et représentent la distance séparant l'axe de l'hélice du moulinet de la surface de l'eau. Les mesures accompagnées de la mention F ont été effectuées à 13 cm du fond:

Distance	Profondeur	Vitesse	:	Distance	Profondeur	Vitesse	:	Distance	Profond.	Vitesse
0 m	Berge	Rive Droite		80 m	6,00 F	0,784m/s		140 m	10,51 F	0,727m/s
20 m	5,10 F	0,180 m/s			4,00 m	1,415			8,00 m	1,592
	2,50 m	1,185			2,00	1,410			6,00	1,658
	0,10 cm	1,263			0,10	1,632			4,00	1,701
40 m	4,75 F	0,696		100 m	7,45 F	0,047			2,00	1,743
	2,50	1,389			6,00	1,211			0,10	1,644
	0,10	1,528			4,00	1,514		160 m	6,40 F	0
60 m	5,62 F	0,116			2,00	1,769			6,00	0,086
	4,00	1,237			0,10	1,657			4,00	0,441
	2,50	1,462		120 m	9,31 F	0,216			2,00	1,180
	0,10	1,587			7,00	1,358			0,10	0,668
					5,00	1,576		170 m Rive Gauche		
					2,00	1,717				
					0,10	1,706				

Jaugeage du 14.9.70 à la section aval de LAGDO de 10 h 15 à 12 h 10
H aval = 510 à 506 cm. Q = 1960 m³/s.

Les profondeurs sont exprimées en mètres et représentent la distance séparant l'axe de l'hélice du moulinet de la surface de l'eau.

Les mesures accompagnées de la mention F ont été effectuées à 13 cm du fond.

Distance	Profondeur	Vitesse	Distance	Profondeur	Vitesse	Distance	Profondeur	Vitesse
2 m	Berge	Rive Droite	80 m	7,67 F	0,748	140 m	12,34 F	0,064
10 m	6,64 F	0,592 m/s		6,00	1,550		10,00	1,748
	5,00	0,920		4,00	1,727		8,00	1,722
	3,00	1,045		2,00	1,758		6,00	1,847
	1,00	0,889		0,20	1,727		4,00	1,983
	0,20	0,779	100	8,50 F	1,076		2,00	1,983
20 m	5,79 F	0,534		7,00	1,530		0,20	1,999
	4,00	1,118		5,00	1,738	150 m	12,80 F	0,592
	2,00	1,310		3,50	1,800		12,00	1,206
	0,20	1,384		2,00	1,790		10,00	1,680
40 m	5,27 F	0,534		0,20	1,926		8,00	1,915
	4,00	1,232	120 m	10,12 F	0		6,00	1,936
	2,00	1,540		10,00	0,027		4,00	2,030
	0,20	1,634		9,50	1,279		2,00	1,847
60 m	5,60 F	0,477		8,00	1,758		0,20	1,874
	4,00	1,467		6,00	1,800	170 m	8,70 F	
	2,00	1,699		4,00	1,841		8,50	0,062
	0,20	1,810		2,00	1,910		7,00	0,247
				0,20	1,921		5,00	0,300
							3,00	0,800
							1,50	1,269
							0,20	1,462
						175 m	Berge Rive Gauche	

Jaugeage du 1.10.70 à la section aval de LAGDO H aval = 325 cm
 $Q = 755 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les profondeurs sont exprimées en mètres et représentent la distance séparant l'axe de l'hélice du moulinet de la surface de l'eau.

Les mesures accompagnées de la mention F ont été effectuées à 23 cm du fond.

Distance	Profondeur	Vitesse	Distance	Profondeur	Vitesse	Distance	Profondeur	Vitesse
3 m	Berge	Rive Droite	80 m	4,69 F	0,696	140 m	10,46 F	0,544
10 m	4,04 F	0,037 m/s		3,60	0,879		9,71	0,690
	3,09	0,100		2,06	0,915		8,21	0,853
	2,06	0,232		0,20	0,925		6,18	0,915
	1,03	0,185	100 m	7,52 F	0,534		4,12	0,936
	0,20	0,268		6,70	0,690		2,06	0,920
20 m	3,55 F	0,384		4,63	0,842		0,20	0,899
	2,57	0,519		2,57	0,905	160 m	6,54 F	0,072
	1,54	0,618		0,20	0,893		5,66	0,082
	0,20	0,618	120 m	9,06 F	0,670		4,12	0,082
40 m	3,66 F	0,534		8,21	0,742		2,06	0,399
	2,57	0,607		6,18	0,842		0,20	0,758
	1,54	0,742		4,12	0,905	172 m	Berge	Rive Gauche
	0,20	0,758		2,06	0,925			
60 m	4,17 F	0,581		0,20	0,905			
	3,09	0,748						
	1,54	0,858						
	0,20	0,879						