

O. R. S. T. O. M.

Service Hydrologique

Note technique n° 38

Diffusion interne

METHODE DU "JAUGEAGE IMPOSE"

AU MOULINET

par

J. CRUETTE  
et A. LAFFORGUE

Ingénieur Hydrologue ORSTOM.

PARIS, Juillet 1975

### METHODE DU "JAUGEAGE IMPOSE" AU MOULINET.

---

La méthode la plus couramment utilisée pour effectuer un jaugeage au moulinet, consiste à faire des mesures de vitesse en différents points d'une section du cours d'eau. Le jaugeage commençant par une rive est considéré comme terminé lorsque l'on atteint la rive opposée.

En général, l'opérateur réparti ses points de mesure sur plusieurs verticales. Il dispose alors d'une double liberté : d'une part pour répartir les verticales sur la largeur de la section, d'autre part pour répartir les points de mesure de vitesse sur les différentes verticales. Par contre il est astreint à déterminer la profondeur de l'eau à chaque verticale afin de connaître la section mouillée. Un tel jaugeage, que nous appellerons "jaugeage normal" donne des résultats satisfaisants à condition que le niveau de l'eau (cote à l'échelle) n'ait pas changé d'une façon sensible pendant toute la durée de la mesure.

Si la cote à l'échelle a changé sensiblement, le débit obtenu après dépouillement est peu ou pas utilisable pour établir une courbe d'étalonnage. Dans ce cas, les hydrologues utilisent depuis longtemps une méthode plus élaborée, donnant généralement, satisfaction. Cette méthode consiste à déterminer à l'avance les verticales sur lesquelles seront faites des mesures. L'opérateur, lors de la mesure, n'a plus de liberté dans le choix des verticales mais conserve sa liberté de choix pour les points sur chacune des verticales. Chaque verticale sera donc mesurée plusieurs fois et des cotes à l'échelle différentes. La mesure sur une verticale étant beaucoup plus rapide que sur la section complète, la cote à l'échelle varie dans un intervalle beaucoup plus étroit. Il est alors possible d'étalonner chaque verticale, alors qu'il pouvait être impossible d'étalonner directement toute la section. Nous appellerons cette méthode, "jaugeage continu".

Dans certains cas très particuliers, le temps nécessaire pour effectuer des mesures correctes sur une verticale (de 4 à 10 minutes) est encore trop long pour pouvoir établir l'étalonnage de cette verticale, l'intervalle de variation de la cote à l'échelle étant trop important. Il est alors possible d'imaginer une méthode encore plus élaborée où l'on détermine à l'avance non seulement les verticales à mesurer mais également les points pour chaque verticale où seront effectuées les mesures de vitesse. La mesure de vitesse sur un point étant plus rapide que sur toute une verticale, il est possible d'associer à chaque mesure de vitesse une cote à l'échelle plus significative. Nous appelons cette méthode "jaugeage imposé" car l'opérateur ne peut plus choisir lors de la mesure ni la position des verticales, ni la position des points sur les verticales.

Le graphique 1 donne un exemple de résultats obtenus pour un point parfaitement défini dans une section par sa verticale (58,5) et par le répérage de la position du moulinet sur cette verticale (140). Les différentes mesures de vitesse effectuées en ce point pour des cotes à l'échelle comprises entre 18 et 45,5 permettent de tracer une courbe des vitesses pour ce point. Cette courbe permet de connaître la vitesse de l'eau en ce point pour plusieurs cotes à l'échelle que l'on peut choisir arbitrairement ( $H_i$ ) même si aucune mesure n'a été effectuée pour ces cotes. Si plusieurs points ont été ainsi mesurés sur une même verticale on obtient des courbes semblables pour chacun d'eux, ce qui permet d'y déterminer la vitesse de l'eau pour les

D 1

C R U

13268

même  $H_i$ . Donc pour un même  $H_i$  on peut connaître la vitesse de l'eau en plusieurs points d'une même verticale et tracer la courbe habituelle de la vitesse en fonction de la profondeur, donnant le débit laminaire ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) pour la cote  $H_i$ . Comme il est possible de faire la même courbe pour tous les  $H_i$  choisis, il est possible d'établir l'étalonnage de la verticale. En effectuant le même travail sur toutes les verticales nous obtenons l'étalonnage de toutes les verticales, la suite du dépouillement est alors effectuée comme pour un jaugeage continu.

Cette méthode a été mise en oeuvre sur les stations du bassin versant de SAKASSOU (Côte d'Ivoire) et nous l'exposons ici en détail en utilisant les résultats obtenus sur le bassin versant Est.

#### I - CHOIX DE LA STATION DE MESURE.

---

Toute la méthode est basée sur l'existence de la courbe reliant la vitesse en un point à la cote à l'échelle (ou l'épaisseur de l'eau). Pour que cette courbe existe et soit unique il faut que plusieurs conditions soient réalisées :

- station parfaitement stable et non influencée ni par l'aval ni par l'amont ; cette condition, relative à l'existence d'un seuil de contrôle parfait correspond à la possibilité d'avoir pour la station une courbe d'étalonnage parfaite (stable et univoque).
- section de mesure parfaitement calibrée. En effet, une station stable et univoque ne possède pas obligatoirement un bief où l'écoulement soit suffisamment régulier pour que la vitesse de l'eau en un point donné soit toujours le même pour une cote à l'échelle donnée ; il faut donc un bief rectiligne, bien calibré et propre, au moins au moment de la mesure.

La station prise comme exemple contrôle un bassin versant de 65 hectares. Elle a été équipée pour mesurer des débits pouvant atteindre  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Elle est calibrée par canal rectangulaire de 117 cm de largeur, de 125 cm de profondeur et de 10 m de longueur. Elle est contrôlée par un déversoir métallique horizontal à mince paroi créant une pelle de 35 cm au-dessus du fond du canal. Ce déversoir est échantré en son centre par un V de  $90^\circ$  et de 15 cm de hauteur. Les débits inférieurs à  $10 \text{ l/s}$  sont jaugés par capacité ce qui permet un étalonnage de la partie en V du déversoir.

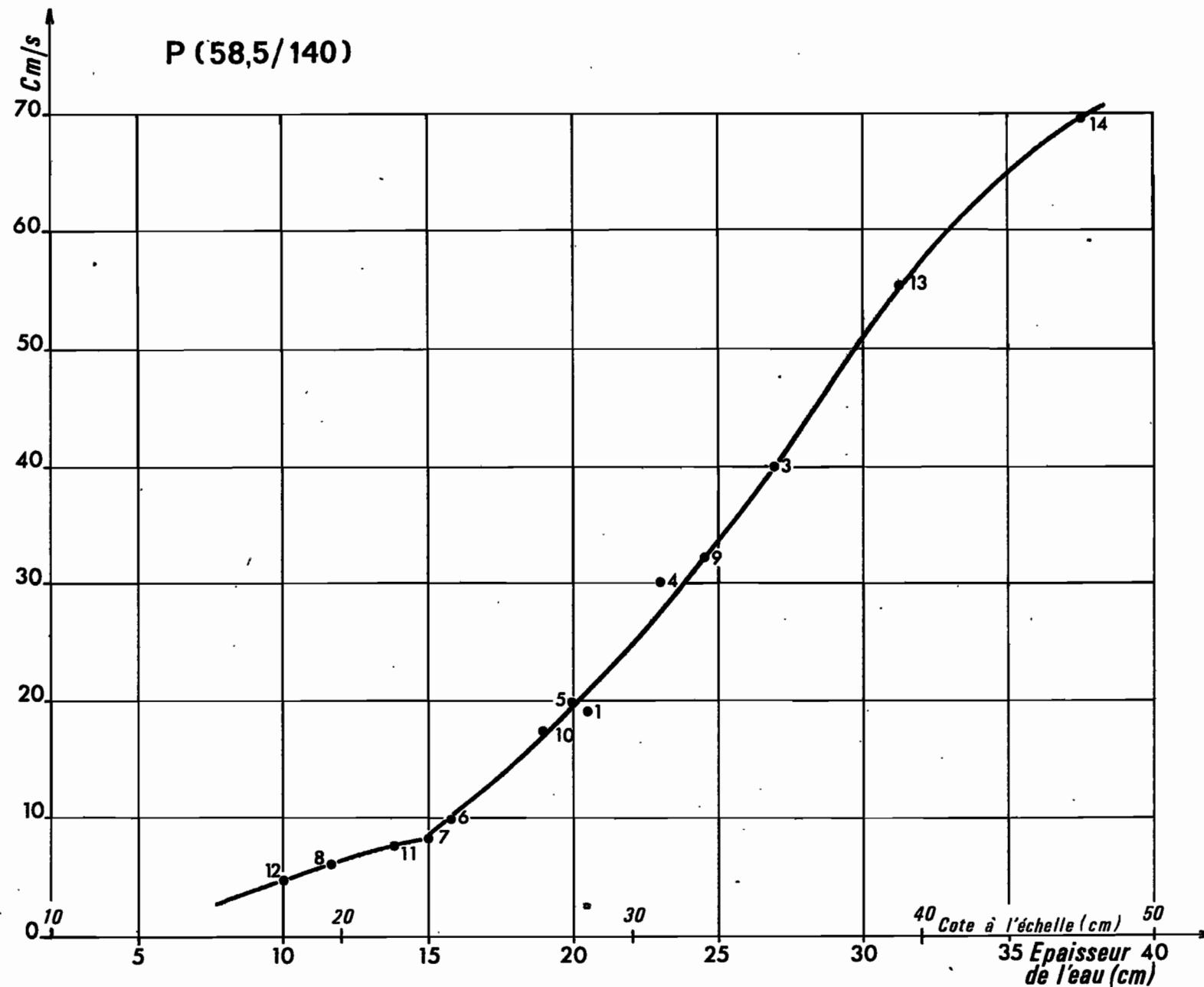
A cinq mètres en amont du déversoir, un limnigraphie journalier a été mis en place dans un puits qui communique avec le canal. Dans le même puits une échelle limnimétrique permet la lecture de la cote à l'échelle avec une précision de deux millimètres. Le fond du puits est plus bas que le fond du canal, ce dernier correspondant à la cote 8,1 à l'échelle.

Le dispositif pour les mesures par point est placé sur une passerelle au droit de l'échelle limnimétrique. Il se compose de :

- un tube horizontal portant des graduations de "distances"
- un manchon horizontal qui glisse librement sur ce tube

COURBE DES VITESSES D'UN POINT

Gr. 1



- un manchon verticale soudé sur le précédent destiné à recevoir la tige d'un micromoulinet
- un deuxième tube horizontal en-dessous et parallèle au précédent destiné à maintenir par simple contact la tige du moulinet en position verticale.

La position du moulinet est repérée par la graduation du premier tube lue à une extrémité du premier manchon (distance de la verticale) et par la graduation lue sur la perche du micromoulinet au niveau de l'extrémité supérieure du deuxième manchon (position du moulinet sur la verticale). Sur ce dispositif la graduation 140 de la perche du micromoulinet correspond à la position la plus basse possible du moulinet, son axe étant alors à 3 cm du fond du canal ou au niveau de la graduation 11,1 à l'échelle. Lors des mesures, le moulinet restera toujours à sa position la plus basse sur la perche, l'ensemble perche-moulinet étant déplacée pour changer de point de mesure. Le graphique 2 illustre l'ensemble de l'équipement.

## II - CHOIX DES VERTICALES.

Dans l'exemple choisi, le problème du choix des verticales est simple. En effet la section du canal étant rectangulaire, la largeur du plan d'eau est constante quelque soit la cote à l'échelle et le choix des verticales à mesurer est indépendant de cette cote. On a choisi à priori d'effectuer des mesures sur 9 verticales. La largeur étant de 117 cm l'application stricte de la règle des milieux aurait donné les verticales les plus proches des bords à 3,5 cm de ceux-ci. Elles ont été placées à 4 cm. D'autre part, l'échancrure en V du déversoir créant une discontinuité dans l'écoulement, les verticales du centre ont été rapprochées les unes des autres.

En attribuant au bord rive droite (BRD) la graduation zéro on obtient finalement la répartition suivante des verticales (graphique 2 bis).

BRG	BRD
117	113      106      97      82      58,5      35      20      11      4      0

Dans les cas où la section de mesure n'est pas rectangulaire, le choix des verticales se fera comme lors d'un jaugeage continu, les verticales à mesurer étant choisies pour différentes tranches de cotes à l'échelle afin de tenir compte des variations de la largeur du plan d'eau. On adopte alors les principes suivants :

- avoir pour chaque tranche au moins 7 verticales à mesurer aussi bien réparties que possible
- chaque verticale sera mesurée dans un intervalle aussi grand que possible (au moins deux tranches)
- en passant d'une tranche à l'autre, on abandonne deux verticales et on en adopte deux nouvelles
- deux verticales au moins seront mesurées quelque soit le niveau de l'eau

Le graphique 3 montre une disposition possible pour une section trapézoïdale sur laquelle on a adopté 8 verticales et 3 tranches de variation du niveau de l'eau. Dans la pratique, il est commode d'utiliser pendant les mesures un tableau des verticales donnant les mêmes renseignements comme ci-dessous.

TABLEAU DES VERTICALES.

H	D	73	90	103	110	120	135	165	180	190	197	210	227	D	H
70		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		
40			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

III - CHOIX DES POINTS DE MESURE.

Dans l'exemple choisi, la section de mesure étant rectangulaire, il est possible d'adopter la même loi de répartition des points sur toutes les verticales, ce qui simplifie beaucoup le travail de préparation des mesures et surtout le protocole de mesure. Dans le choix de la position des points, il faut essayer de réunir les objectifs suivants.

- 1) avoir toujours une mesure le plus près possible du fond
- 2) chaque point choisi doit faire l'objet de mesure dans l'intervalle de variation du niveau de l'eau le plus grand possible.
- 3) faire des mesures sur au moins cinq points régulièrement répartis sur la verticale quelque soit la cote à l'échelle.
- 4) faire une mesure le plus près possible de la surface. Il est bien évident que les trois derniers objectifs sont contradictoires et qu'il faut chercher le compromis le meilleur possible.

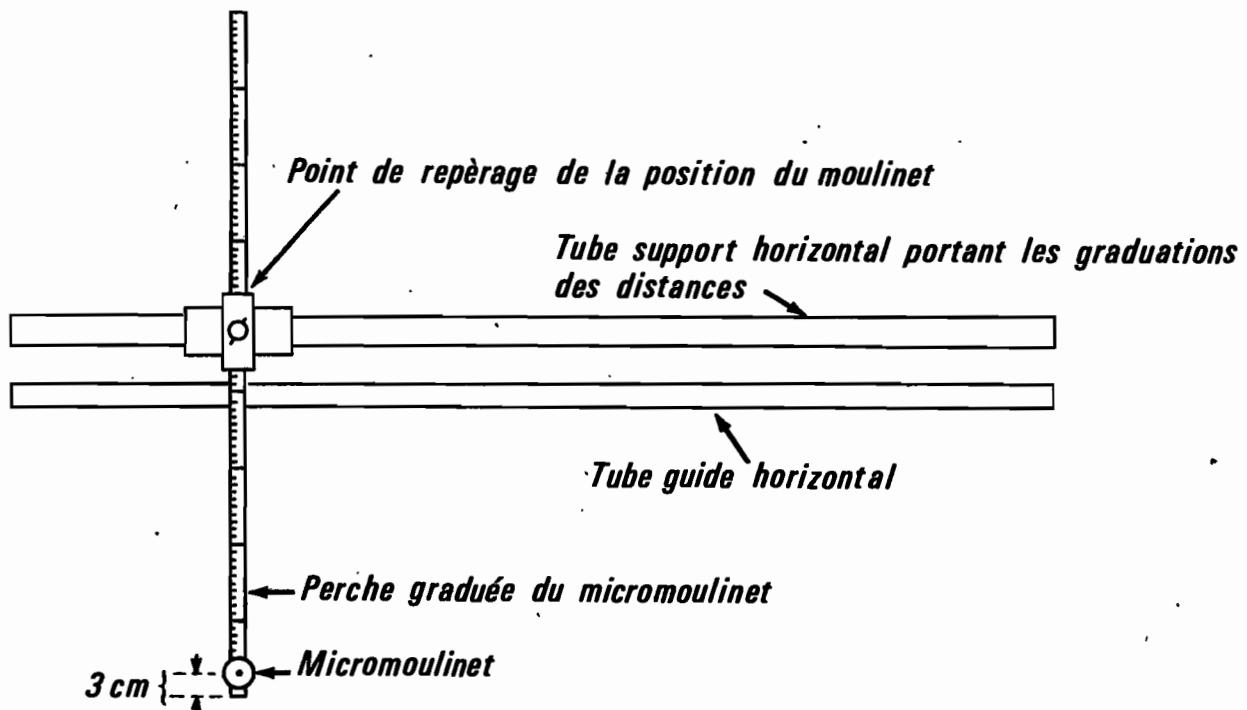
Pour déterminer la position de 6 points sur une verticale nous proposons le schéma de travail suivant (graphique 4) :

On établit un graphique portant

- en abscisse la cote à l'échelle (H)
- en ordonnée l'épaisseur de l'eau (E) et le repérage de la position du moulinet (I).

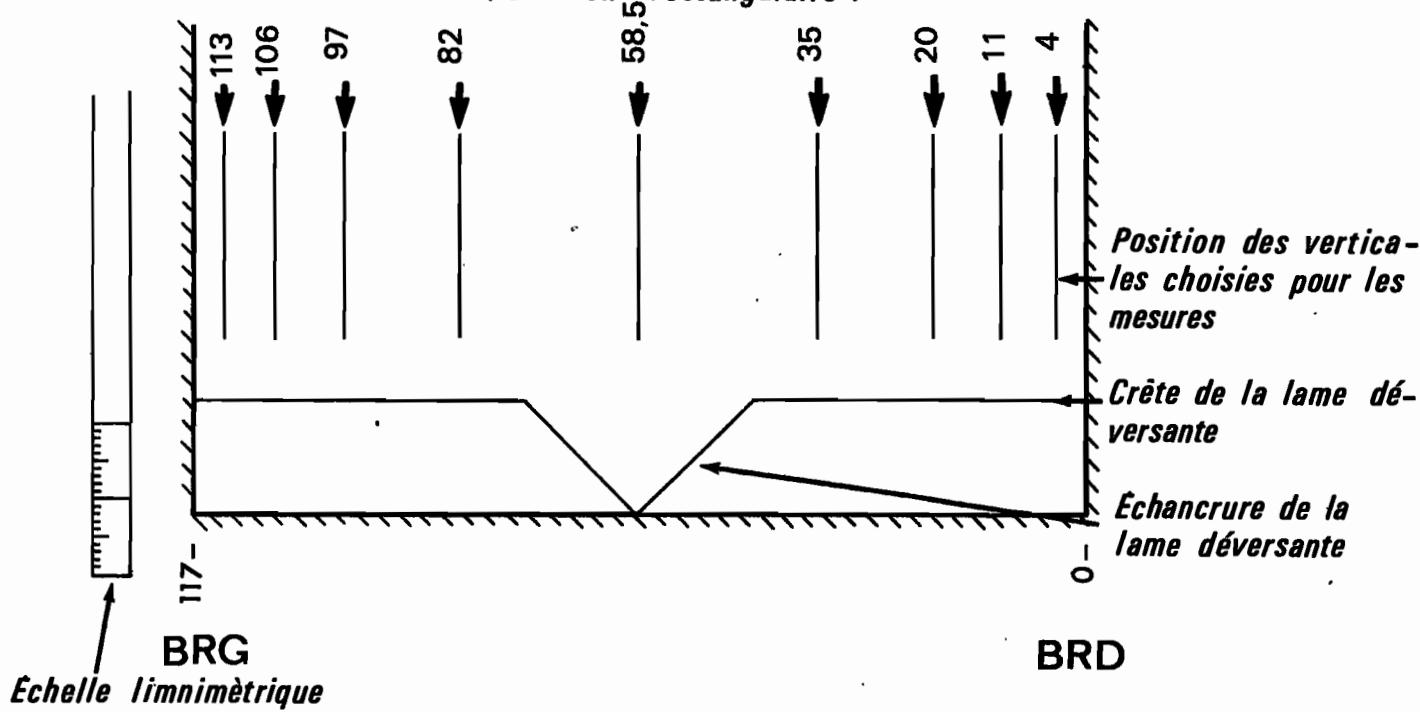
Dans notre exemple la position la plus basse du moulinet correspond à la graduation 140 de la perche, son axe étant alors à 3 cm au-dessus du fond. Dans cette position une mesure est possible si l'épaisseur de l'eau est de 6 cm.

## ÉQUIPEMENT DE LA SECTION DE MESURE



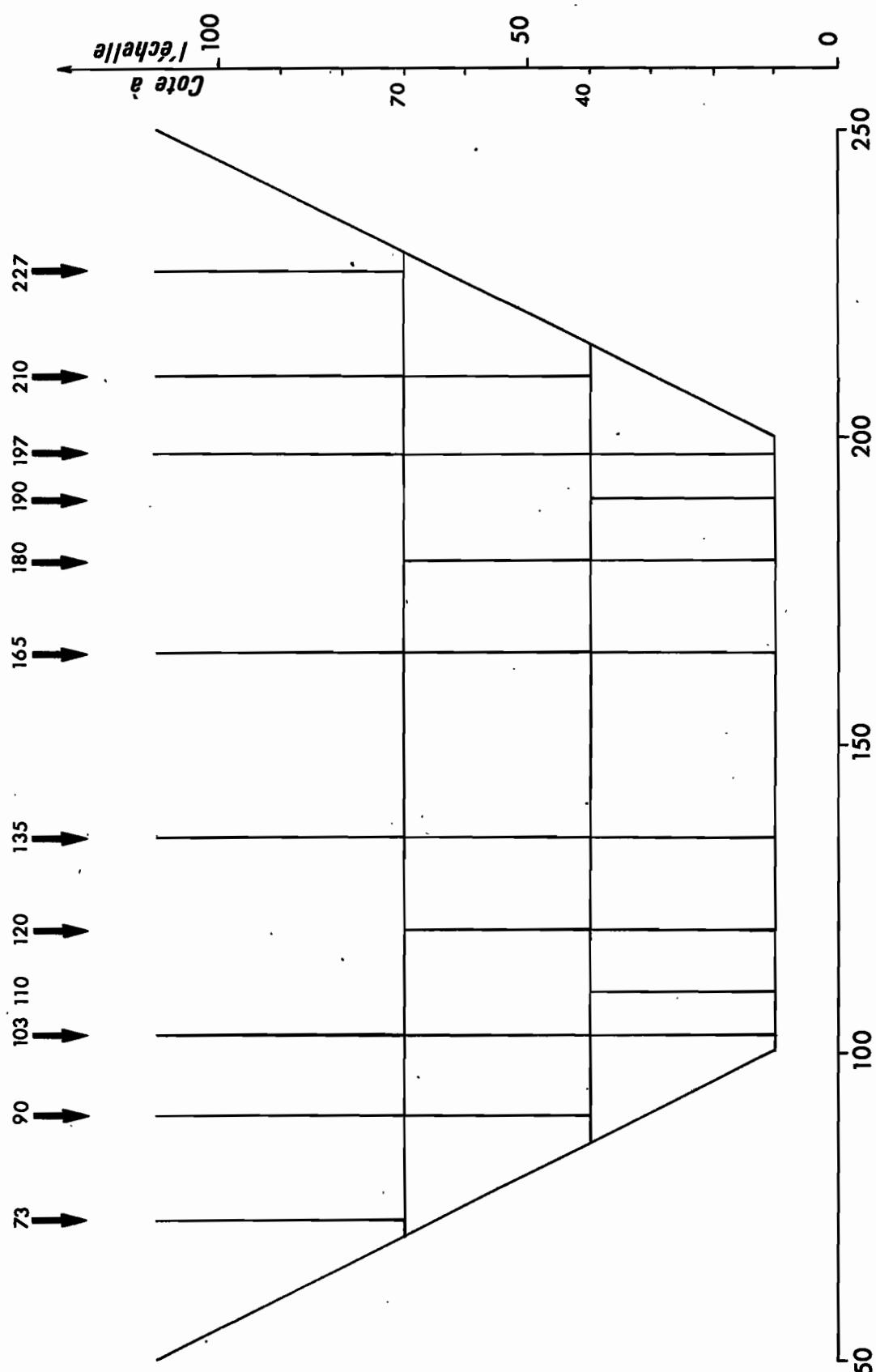
## CHOIX DES VERTICALES DE MESURE

Gr. 2 bis

*(Section rectangulaire)*

## CHOIX DES VERTICALES DE MESURES

(Section trapèzoïdale)



ce qui correspond à une cote à l'échelle de 14 cm. L'origine de notre graphique aura alors les coordonnées ( $H = 14$ ,  $E = 3$  ou  $P = 140$ ).

La position la plus basse possible du moulinet correspond à l'axe des abscisses et la position la plus haute possible correspond à la première bissectrice (B).

La surface de l'eau est représentée par une parallèle à la première bissectrice coupant l'axe des ordonnées pour ( $E = 6$ ).

Le problème consiste à placer entre la première bissectrice et l'axe des abscisses un certain nombre de segments de droite horizontaux correspondant à une position de l'axe du moulinet (E ou P) à utiliser pour un certain intervalle de H.

On commence par déterminer les bornes intervalles de variation des cotes à l'échelle. Pour cela on place un point A distant de l'origine de  $4a$  en abscisse et  $3a$  en ordonnées. Sur le graphique 4 le point A est à (20 cm, 15 cm) de l'origine. On relie alors par une droite (A) ce point à l'origine.

On détermine ensuite la cote à l'échelle minimum jaugeable ( $H_1$ ). Dans notre exemple  $H_1 = 21$  cm. On trace alors une verticale passant par  $H_1$ , qui coupe (B) en  $A'_1$ . On trace alors une horizontale passant par  $A'_1$  qui coupe (A) en  $A_2$ . Ce point  $A_2$  donne la limite supérieure  $H_2$  du premier intervalle. La verticale passant par  $A_2$  coupe (B) en  $A'_2$ . L'horizontale passant par  $A'_2$  coupe (A) en  $A_3$  ce qui nous donne la troisième limite  $H_3$ . En continuant ainsi on obtient toutes les limites  $H_i$  de plus en plus espacées.

On place ensuite un point C distant de l'origine de  $5b$  en abscisses et de  $4b$  en ordonnées. Sur le graphique C est à (20 cm, 16 cm) de l'origine. On relie alors par une droite (C) ce point à l'origine. Cette droite coupe les verticales en plusieurs points  $C_1, C_2, \dots, C_{10}$ . A partir de ces points on trace trois segments de droites horizontaux correspondant à six limites d'intervalle. Pour  $C_n$ , on tracera de  $H_n - 1$  à  $H_n + 2$ , puis de  $H_n + 3$  à  $H_n + 4$  puis de  $H_n + 5$  à  $H_n + 6$ . (Exemple  $n = 4$ , tracer de  $C_4$  un segment horizontal vers  $H_3$  et le prolonger jusqu'à  $H_6$ , puis de  $H_7$  à  $H_8$ , puis de  $H_9$  à  $H_{10}$ ).

Après avoir utilisé le point  $C_1$ , on tracera une nouvelle ligne de rappel par l'origine et le point  $C'_1$  où  $C'_2$  pour compléter les intervalles inférieurs. Le graphique 4 montre le résultat obtenu. Dans la plus grande partie du graphique, nous avons 5 ou 6 points à mesurer quelle que soit la cote à l'échelle (étant entendu que l'axe des abscisses représente la position du point le plus bas) et le nombre de points est presque le même que celui des intervalles. Dans la partie inférieure le découpage peu paraître trop fin et on peut-être amené à regrouper les deux premiers intervalles par exemple. Par contre chaque point est au définitive mesuré sur un intervalle très large ce qui est essentiel pour la méthode ;  $P_i$  est mesuré de  $H_{i-1}$  à  $H_{i+6}$ .

Naturellement, il est possible d'obtenir un découpage différent des intervalles en déplaçant le point A et une répartition différente des points en déplaçant le point C.

En pratique les mesures à SAKASSOU ont été effectuées en utilisant cette méthode mais avec seulement 5 points par verticale. Le graphique 5 en

donne la représentation et le tableau suivant, plus utilisable sur le terrain, donne les mêmes renseignements.

Naturellement si toutes les verticales n'ont pas la même cote de fond, une répartition différente devra être faite pour chaque type rencontré.

REPARTITION DES POINTS SUR UNE VERTICALE.

Cote à l'échelle	Repérage du moulinet	Epaisseur de l'eau
140	x x x x x x x x x x x	3
138	x ! ! ! ! ! ! ! ! ! !	5
137	! ! x x x ! ! ! ! ! !	6
136	x ! ! ! ! ! ! ! ! !	7
134	x x x x x ! ! ! ! !	9
132	x ! ! ! ! ! ! ! ! !	11
131	! ! x ! ! x ! ! x ! !	12
125	! ! x x ! ! x ! ! x !	18
119	! ! ! x x ! ! x ! ! x !	24
113	! ! ! ! x x ! ! x ! !	30
98	! ! ! ! x x ! ! x ! !	45
83	! ! ! ! ! x x x x ! !	60
63	! ! ! ! ! ! ! x x x !	80
39	! ! ! ! ! ! ! ! x x !	104

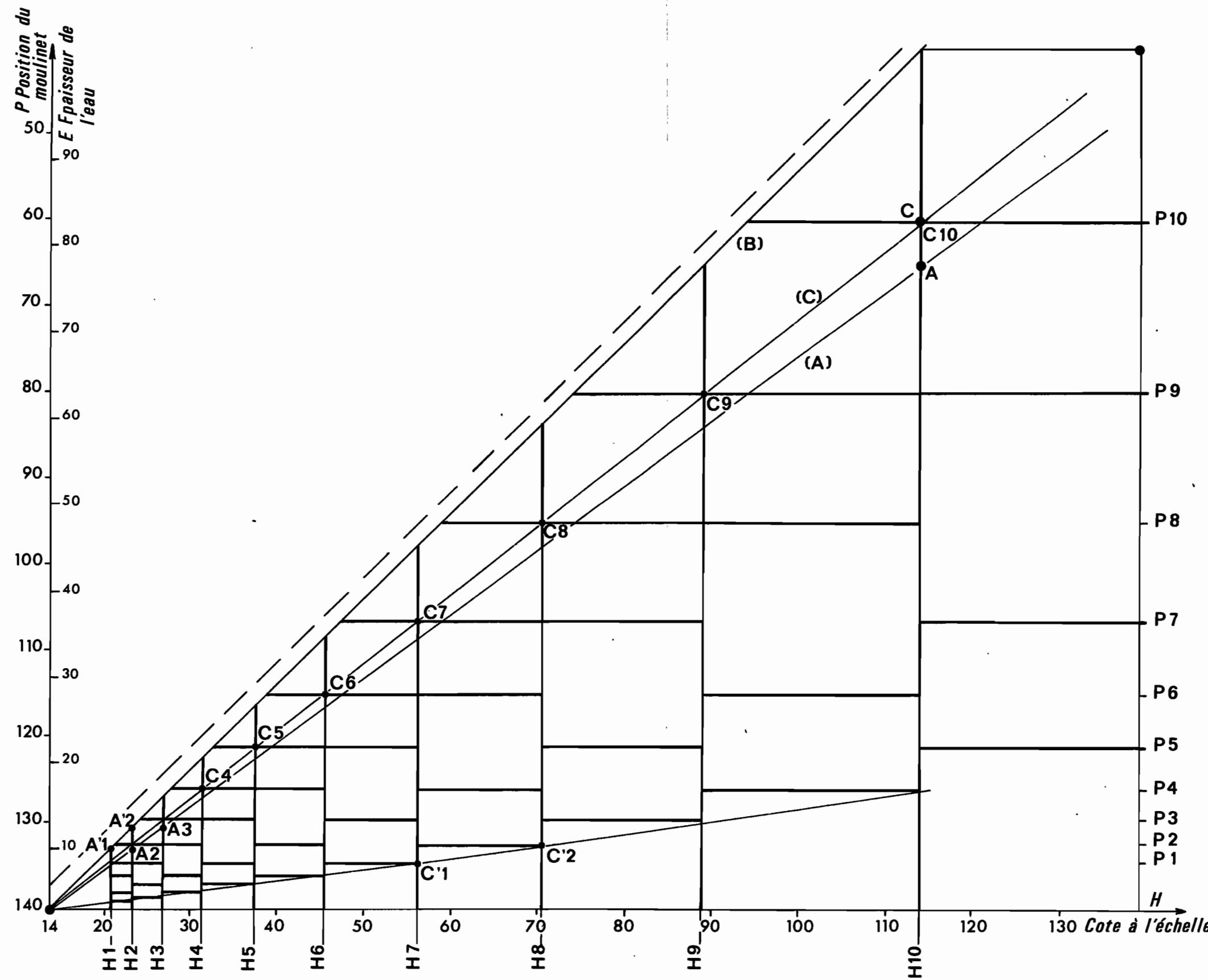
IV - EXECUTION DES MESURES.

Lorsque toutes les opérations de préparation sont correctement faites, les mesures elles-mêmes sont peut-être plus faciles à exécuter que dans le cas d'un jaugeage normal ou continu.

Gr. 4

## REPARTITION DES POINTS SUR UNE VERTICALE

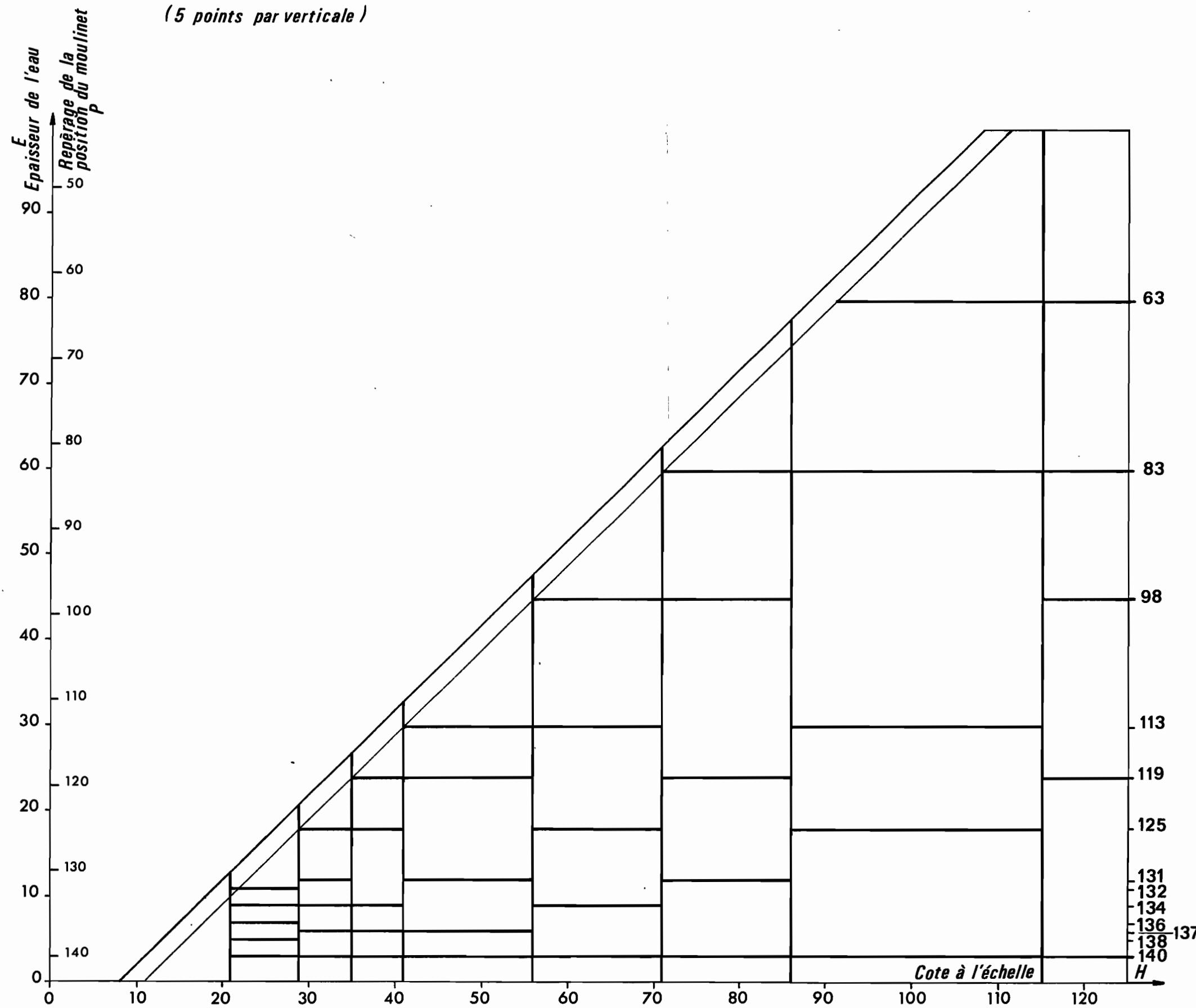
( 6 Points par verticale )



REPARTITION DES POINTS SUR UNE VERTICALE

Gr\_5

(5 points par verticale)



Dans l'exemple choisi, les mesures sont exécutées un peu plus rapidement car on peut effectuer pour une même profondeur du moulinet de mesures de vitesse sur toutes les verticales en déplaçant le curseur sur le tube horizontal. Cette opération est très facile et ne nécessite pas de desserrer et resserrer une vis de blocage comme cela serait le cas en faisant varier la profondeur du moulinet.

Chaque mesure de vitesse est une information indépendante à partir du moulinet où elle est effectuée sur un point choisi et où on connaît correctement la cote à l'échelle au moment précis de cette mesure. Le temps perdu entre deux mesures n'intervient pas sur la précision du résultat.

Il est bien évident cependant que cette méthode conduira à de bons résultats que si les mesures sont faites le plus rapidement possible et tant que la cote à l'échelle varie de façon à obtenir le plus grand nombre possible de résultats, surtout au moment des plus hautes eaux.

#### V - DEPOUILLEMENT DES MESURES.

---

Le dépouillement des mesures commence naturellement par le calcul des vitesses. On réunit ensuite les résultats en établissant un tableau pour chaque verticale. Nous donnons ci-après le tableau des résultats obtenus sur la verticale 58,5.

Pour chaque position du moulinet on établit une double ligne, pour la cote à l'échelle (H) et pour la vitesse (V).

Pour chaque mesure effectuée on établit une double colonne, pour porter les valeurs de H et V et pour porter des commentaires. On indique ainsi l'évolution du niveau de l'eau au moment de la mesure : crue ( $\nearrow$ ), décrue ( $\searrow$ ), niveau constant ( $\rightarrow$ ).

On indique également un appréciation sur la qualité de la mesure - Dans l'exemple ces appréciations avaient les significations suivantes.

TB : très bonne mesure

B : mesure correcte

M : mesure médiocre

I : cote à l'échelle interpolée car elle n'a pas été réellement lue et notée pendant la mesure.

Il est alors facile d'établir le graphique 6 représente l'étalonnage de chaque point mesuré sur la verticale 58,5 (à l'exception du point 30 qui n'a que deux mesures de vitesse).

Sur ce graphique on lit la vitesse de l'eau à chaque point pour plusieurs cotes à l'échelle. Ici on a choisi les cotes suivantes :

20      23      26      28      30      32,5      35      37,5      40      42,5      45

On établit alors les profils de vitesses pour chacune de ces cotes,

V I T E S S E S   M E S U R E E S   S U R   L A   V E R T I C A L E   5 8 , 5 .

Moulinet Re- pè- re		Date N°	31.5. 72 1	7.6. 72 2	7.6. 72 3	7.6. 72 4	7.6. 72 5	13.6. 72 6	15.6. 72 7	27.6. 72 8	11.7. 72 9	11.7. 72 10	18.10. 72 11	18.10. 72 12	11.9. 74 13	11.9. 74 14	Date N°	Moulinet Re- pè- re	Prof.
140	3	H V	28,3 19,2 B		35,0 ↘	31,0	28,0 ↘	23,8	23,0 ↗	19,7 ↗	32,6 ↘	27,0 ↘	21,9	→ 18,0	→ 39,3 ↘	45,5 ↘	H V	140	3
138	5	H V			40,0 M	30,0 M	19,9 I	10,0 B	8,2 B	5,9 B	32,3 B	17,4 TB	7,6 B	4,8 B	55,4 B	69,6 B	H V	138	5
137	6	H V						23,8 10,5 B	23,0 B	19,7 B	28,0 ↘	24,9 ↘	21,6	→ 17,9	5,5 B		H V	137	6
136	7	H V	28,3 ↘ 22,7 B		31,0 32,0 M	28,0 ↘ 23,2 I	23,8 10,6 B	23,0 B	19,7 B	25,4 ↘	28,7 ↘	20,9	→ 17,8	→ 36,5 ↘	43,0 ↘	H V	136	7	
134	9	H V	28,2 ↘ 24,2 B				23,8 11,5 B	23,0 B	19,7 B	25,0 ↘	29,4 ↘	21,2	→ 17,8	→ 34,6 ↘	48,9 B	H V	134	9	
132	11	H V			31,0 34,6 M	28,0 ↘ 22,8 I	23,8 12,1 B	23,0 →		26,2 ↘						H V	132	11	
131	12	H V	28,2 ↘ 22,7 I	42,3 ↘ 72,0 M	34,8 ↘ 43,9 M		23,8 → 11,6 B			30,1 30,4 B					41,4 ↘ 66,5 B	H V	131	12	
125	18	H V	28,1 ↘ 23,8 B	42,0 ↘ 74,0 M	34,6 ↘ 42,5 M	31,0 33,9 M	28,0 ↘ 23,1 B			37,6 60,4 I	31,1 ↘ 33,3 B					H V	125	18	
119	24	H V	41,7 ↘ 74,0 M	34,6 ↘ 43,5 M						40,0 ↘ 67,1 B						H V	119	24	
113	30	H V	41,4 ↘ 66,5 M							42,2 → 69,6 B						H V	113	30	

H : Cote à l'échelle en cm

V : Vitesse en cm/s

: Mesure faite en crue

: Mesure faite en décrue

: Mesure faite à cote constante

TB : Très bonne mesure

B : Mesure correcte

M : Mesure médiocre

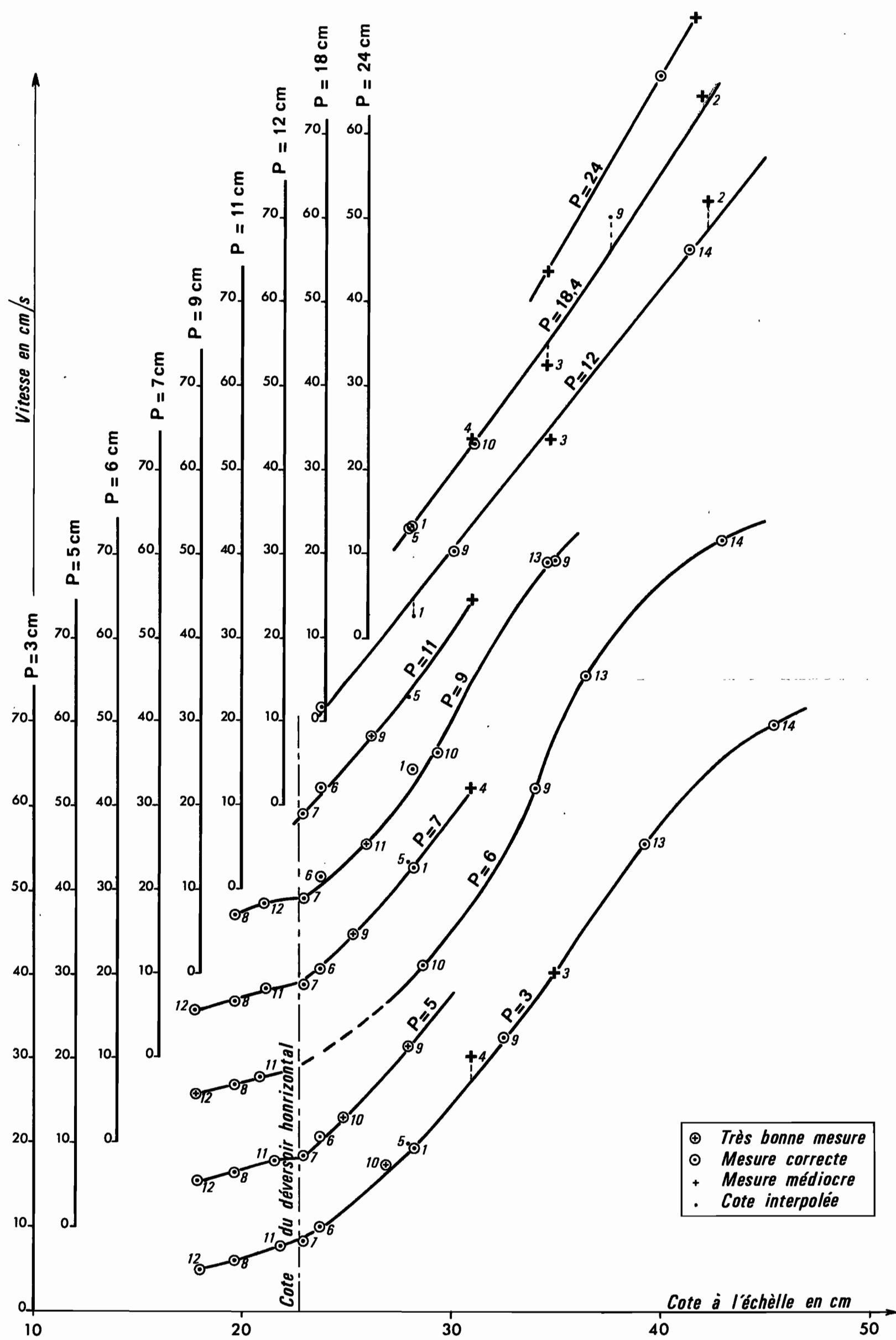
I : Cote à l'échelle interpolée.

Reper. Repérage de la position du moulinet  
(lecture sur la perche support)

Prof. Position de l'axe du moulinet par rapport au fond (cm).

ÉVOLUTION DES VITESSES SUR LA VERTICALE 58,5

Gr. 6



comme le montre le graphique 7 relatif à la verticale 58,5.

La suite du dépouillement est effectuée comme dans le cas d'un jaugeage continu. Le graphique 8 montre l'étalonnage de la verticale 58,5.

Le même travail étant effectué pour toutes les verticales, il est alors possible d'établir les courbes de débit, comme le montre le graphique 9, pour obtenir enfin la courbe d'étalonnage de la station (graphique 10).

**CONCLUSION :**

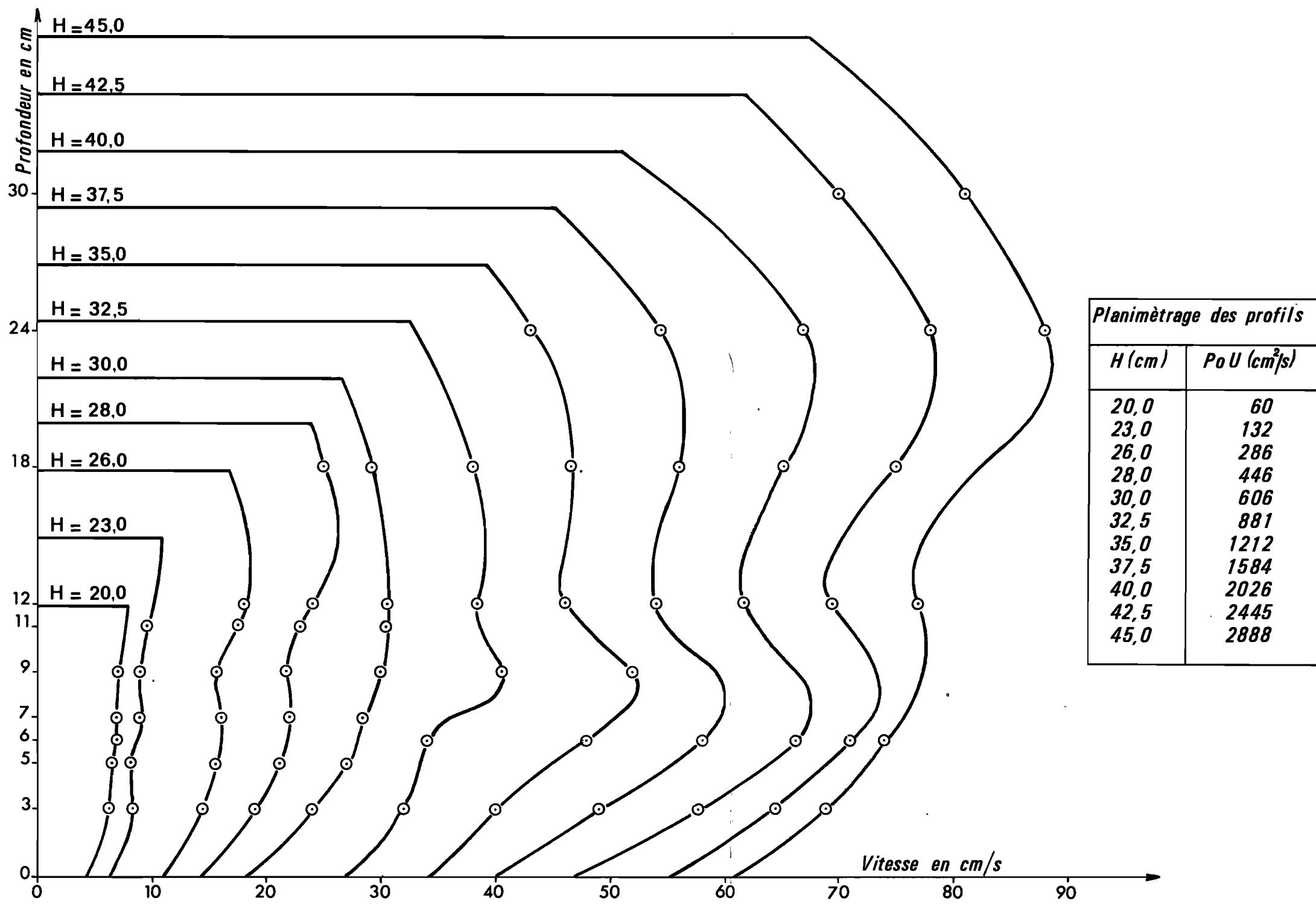
---

A condition de précéder à un aménagement correct de la station de mesure et à une préparation méticuleuse du protocole de mesure il est possible d'obtenir des résultats très précis dans la mesure des débits, même lorsque le niveau de l'eau varie très rapidement, en utilisant la méthode de jaugeage imposé au moulinet.

Cette méthode permet de connaître d'une façon très fine la répartition et l'évolution des vitesses dans la section de mesure, ce qui peut également être utile lors de l'analyse des résultats de mesure de transports solides.

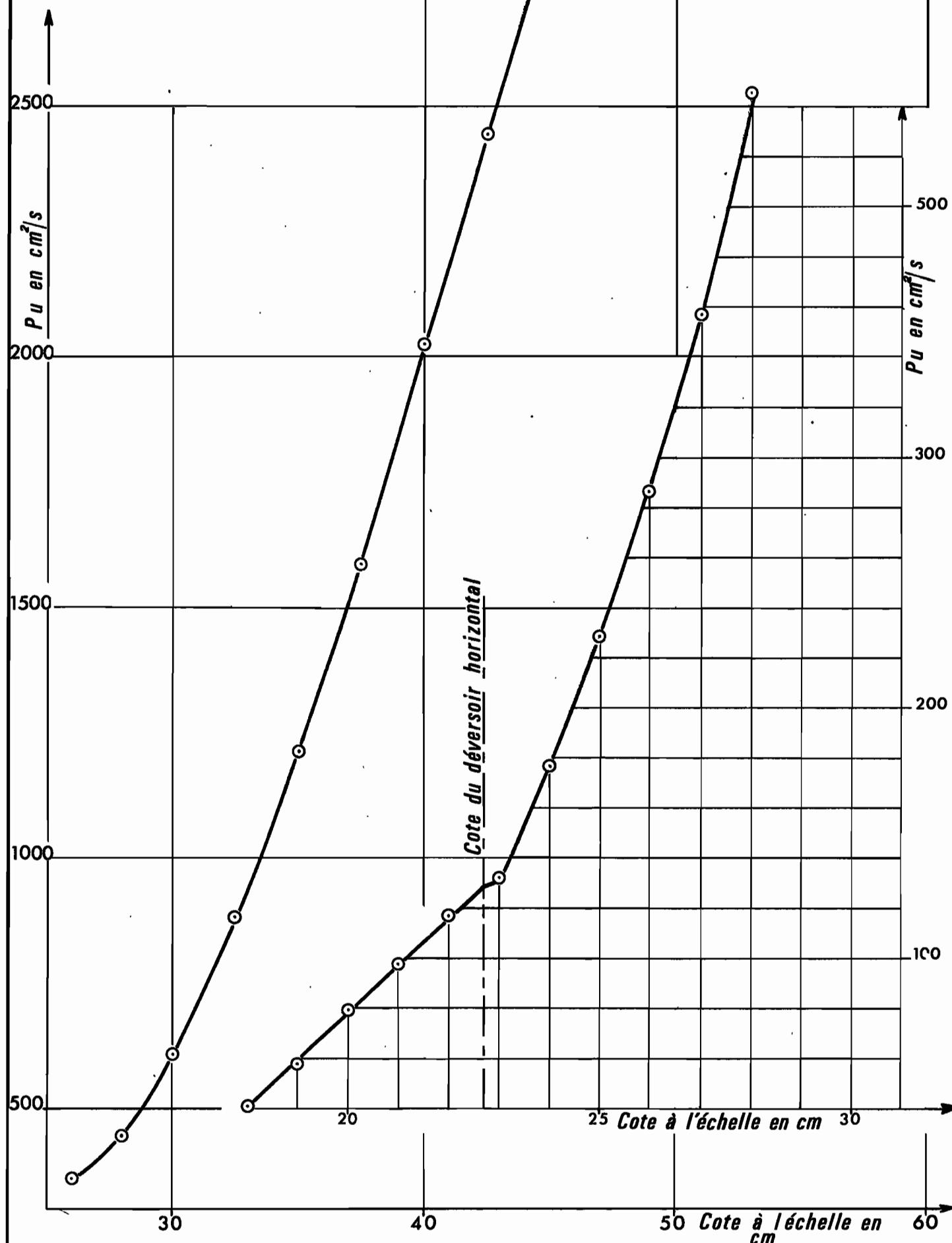
Gr.7

## PROFILS DES VITESSES SUR LA VERTICALE 58,5



Gr. 8

**VERTICALE 58,5**  
**EVOLUTION DES Pu**



COURBES DES DÉBITS

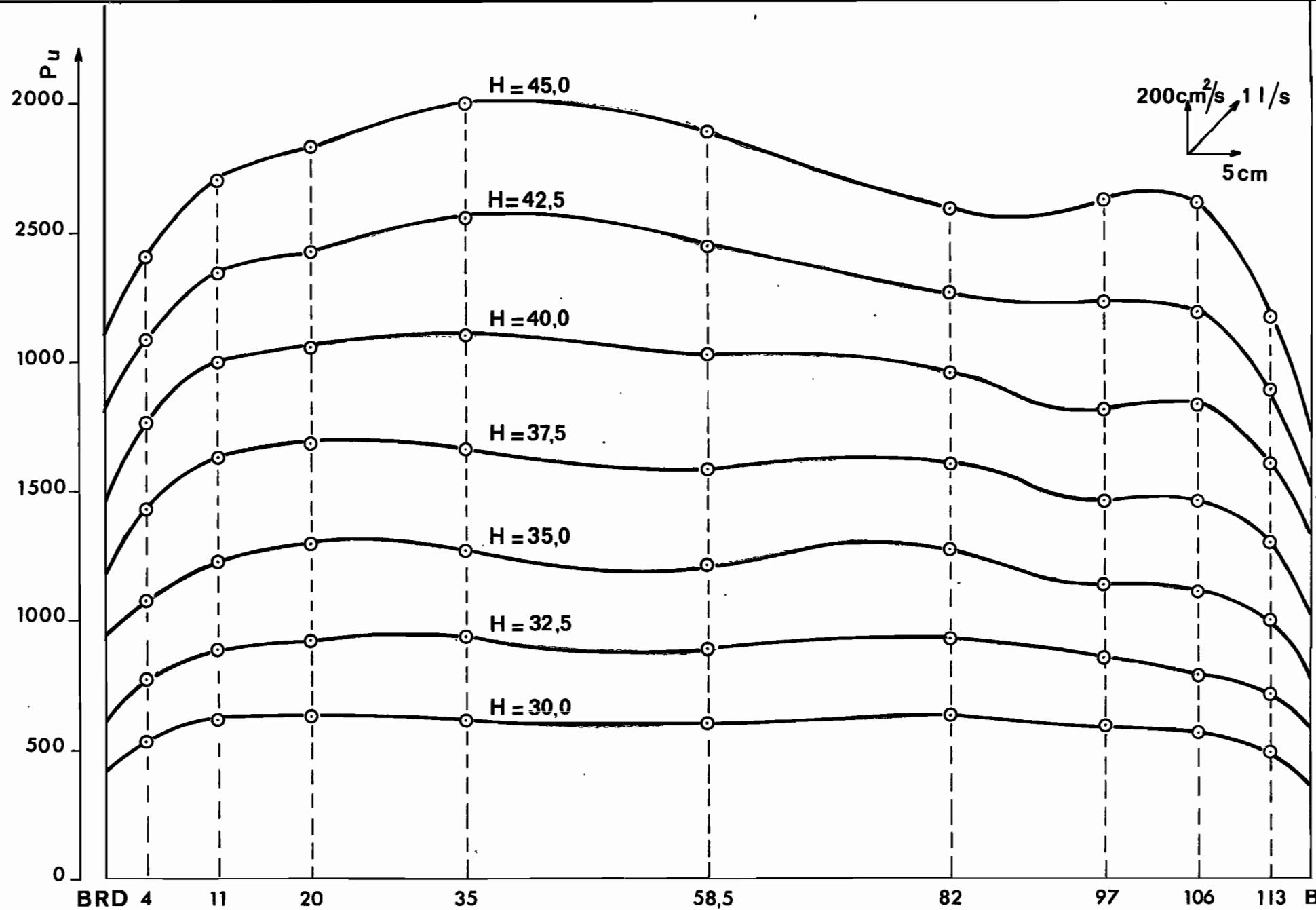
Gr. 9

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

date  
1.4.75

des.  
J.G.

DIV. 261 818



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

date des. DIV - 261 819

H (cm)	45,0	42,5	40,0	37,5	35,0	32,5	30,0	28,0	26,0	24,0	22,0	21,0	20,0
Q (l/s)	319,0	272,0	228,5	183,0	141,0	102,4	70,0	49,9	32,3	19,9	12,1	10,1	8,30

