

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305513

xx
649

5-10 10 702/100
Frankfurter. Levent III.

Monographies publiées
à l'occasion de l'Exposition Universelle de 1900.

BROCHURE I.

L'Administration des Eaux en Hongrie, par *Léopold Faragó.*

BROCHURE II.

Le Service national hydrométrique en Hongrie, par *Joseph Péch.*

BROCHURE III.

Nivellements de haute précision effectués par la Section hydrographique de la Direction nationale des Eaux, par *Balthasar Szilágyi.*

BROCHURE IV.

L'état actuel des Jaugeages en Hongrie, par *Samuel Hajós.*

BROCHURE V.

Le Service de l'Hydraulique agricole en Hongrie, par *Ladislav Józsa.*

BROCHURE VI.

Ecole royale hongroise des Commis de l'Hydraulique agricole, par *Joseph Udránszky.*

BROCHURE VII.

Les travaux de Régularisation et d'Endiguement en Hongrie, par *Edmond de Kolossváry.*

~~BROCHURE VIII.~~

~~Les travaux de Dessèchement en Hongrie, par *Adalbert Péch.*~~

BROCHURE IX.

Le Service des Ingénieurs sanitaires en Hongrie, par *Kálmán de Farkass.*

~~BROCHURE X.~~

~~La Pisciculture en Hongrie, par *Jean Landgraf.*~~



DIRECTION NATIONALE DU SERVICE DES EAUX EN HONGRIE.

PUBLICATION DIRIGÉE

PAR

LÉOPOLD FARAGÓ

CHEVALIER DE L'ORDE FRANÇOIS JOSEPH, CONSEILLER DE SECTION, CHEF DE LA SECTION DE L'HYDRAULIQUE AGRICOLE
DE LA DIRECTION NATIONALE DES EAUX AU MINISTÈRE ROYAL HONGROIS DE L'AGRICULTURE.

BROCHURE IV.

L'ÉTAT ACTUEL DES JAUGEAGES
EN HONGRIE.

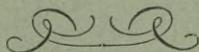
PAR

SAMUEL HAJÓS

INGÉNIEUR-EN-CHEF PRES LA SECTION HYDROGRAPHIQUE DE LA DIRECTION NATIONALE DES
EAUX AU MINISTÈRE ROYAL HONGROIS DE L'AGRICULTURE.

PAR ORDE DE

M. LE MINISTRE ROYAL HONGROIS DE L'AGRICULTURE.



BUDAPEST
IMPRIMERIE «PATRIA»

1900.



III - 307065

DIRECTION NATIONALE DU SERVICE DES EAUX EN HONGRIE.

PUBLICATION DIRIGÉE

PAR

LÉOPOLD FARAGÓ

CHEVALIER DE L'ORDE FRANÇOIS JOSEPH, CONSEILLER DE SECTION, CHEF DE LA SECTION DE L'HYDRAULIQUE AGRICOLE
DE LA DIRECTION NATIONALE DES EAUX AU MINISTÈRE ROYAL HONGROIS DE L'AGRICULTURE.

BROCHURE IV.

L'ÉTAT ACTUEL DES JAUGEAGES + EN HONGRIE.

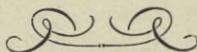
PAR

SAMUEL HAJÓS

INGÉNIEUR-EN-CHEF PRES LA SECTION HYDROGRAPHIQUE DE LA DIRECTION NATIONALE DES
EAUX AU MINISTÈRE ROYAL HONGROIS DE L'AGRICULTURE.

PAR ORDE DE

M. LE MINISTRE ROYAL HONGROIS DE L'AGRICULTURE.



BUDAPEST
IMPRIMERIE «PATRIA»
1900.

L'état actuel des Jaugeages en Hongrie.

La Section hydrographique organisée, en 1886, dans l'Administration des Eaux du Ministère royal hongrois de l'Agriculture embrasse dans son programme le jaugeage des principaux cours d'eau du pays, lors des diverses phases de crues, c'est-à-dire la détermination des débits.

Nous avons exposé les travaux de la Section dans les *Annales Hydrographiques* (Vizrajzi Évkönyvek) de 1888 (tome III.) dans une étude intitulée »Description détaillée des procédés employés dans les jaugeages opérés sur la Tisza et ses affluents«. Nous y avons reproduit les articles du règlement de la Section qui servent de base à nos travaux, exposé le but que nous poursuivons, rappelé nos procédés d'autre fois et les principaux procédés suivis à l'Etranger; puis nous avons fait connaître tous les détails de notre procédé, décrit notre outillage et nos instruments. Nous ne pouvions que répéter ce que l'on savait déjà sur les méthodes de jaugeage, en ajoutant quelques faits relatifs à nos conditions particulières et aux moyens que nous avons à notre disposition.

En 1898 nous avons fourni, dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 3^o trimestre une description plus détaillée de nos opérations récentes.

Point n'est besoin d'expliquer le motif et le but de ces jaugeages opérés sur une vaste échelle. Dans tous les pays qui exécutent la régularisation des cours d'eau sur une base conforme aux exigences de la science et de la pratique, qui organisent la prévision des crues comme principale condition de protection contre les inondations et de l'encouragement de la navigation, la détermination des courbes de débit des différentes sections des rivières constitue une fonction aussi importante que toute autre espèce de relevé.

La série des jaugeages a été inaugurée dès la seconde année de l'existence de la Section hydrographique. La Section a commencé les travaux sur le Danube, en vue de la sécurité de la capitale du pays; puis il a passé sur la plus importante rivière du pays, la Tisza, et sur ses affluents, et il y continue sa grande oeuvre actuellement encore, tout en portant son attention, en même temps, sur les forces vives que les torrents mettent à la disposition de l'industrie, ainsi que sur les débits d'eau nécessaires aux irrigations.

Jusqu'à ce jour la Section a opéré plus de 800 jaugeages, dont 530 sur la Tisza (rivière aussi importante au point de vue technique que pour les conditions économiques du pays), une vingtaine sur le Danube; et 266 jaugeages ont été opérés à des diverses hauteurs d'eau sur les neuf principaux affluents de la Tisza.

Au cours de ces jaugeages cette Section a successivement arrêté les modifications et innovations, par lesquelles son outillage et sa méthode diffèrent des instruments et des procédés communément employés.

La description de notre outillage et de notre méthode nous paraît plus opportune, maintenant, que nous les avons complétés en tous points et qu'une pratique de plusieurs années a justifié l'utilité de notre procédé tout à fait nouveau.

Mais, avant d'exposer notre nouvelle méthode, nous croyons utile de rappeler les anciens procédés, afin de mettre en relief l'utilité de nos innovations et d'expliquer la marche de nos travaux depuis le commencement au lecteur qui n'aurait pas eu l'occasion de consulter notre première description publiée il y a dix ans dans un nombre d'exemplaires fort restreint.

A) JAUGEAGES.

1^o L'outillage.

Nous opérons tous nos jaugeages d'après la méthode directe ; lorsque le courant est assez fort pour faire tourner le moulinet, nous employons le moulinet de Woltmann ; dans les endroits où l'eau coule avec une vitesse de quelques centimètres seulement, nous avons recours aux flotteurs (flotteurs de surface, ou bâtons flottants plongés jusqu'au fond). L'opérateur se place sur un pont flottant ou sur une plate-forme constituée par l'appontage de deux barques, pour plonger le moulinet dans l'eau. Dans les cas exceptionnels — lorsque le courant est trop fort pour les embarcations ou lorsque l'urgence du travail ne nous laisse pas de temps pour construire la plate-forme — nous nous contentons d'un pont pour y plonger le moulinet. Notre outillage comporte les objets suivants :

a) **Le pont flottant.** — Cette espèce d'embarcation, qui sert pour la plupart de nos jaugeages (*fig. 1*), est un plancher long de 9^m,50 et large de 5 mètres, posé sur deux tuyaux en tôle ayant 10 mètres de long, 85 centimètres de diamètre et 3 millimètres d'épaisseur, placés à 2^m,50 de distance; ils sont renforcés et joints entre eux. Chaque tuyau est divisé en trois sections étanches et obturé à la partie antérieure. Ce plancher se trouve à 1 mètre au-dessus du niveau de l'eau. Sur la partie antérieure des tuyaux de tôle se trouve la pince de serrage R, qui serre le câble tendu sur la section et fixe le pont flottant sur le point d'expérience. Sur les deux supports solidement rattachés au corps du pont flottant on a suspendu, à l'aide de deux câbles qui courent sur les poulies P, un poids en fer forgé (F) ayant 3 mètres de long et 10 centimètres de diamètre; le moulinet de Woltmann est posé au bout de ce poids, sur un arbre en fer, long de 1 mètre. Les câbles qui soutiennent le poids partent du treuil T, dont le tambour, de 1 mètre de circonférence, permet de relever, à l'aide du compteur qui y est rattaché, et cela au courant de l'opération, la profondeur à laquelle se trouve l'appareil. Le chevalet des cordages et le gouvernail complètent l'outillage du pont. La cabine de l'opérateur et les caisses destinées aux instruments et batteries servent également à faciliter l'opération.

b) **Autres embarcations.** — L'outillage des opérations comporte encore le nombre nécessaire de canots ordinaires qui sont ancrés le long de la section et

espacés de 40 à 50 mètres; ils servent à supporter, à l'aide de barres fourchues, le câble tendu sur la section. L'expédition dispose, en outre, d'un ou de deux chalands outillés, de façon à ce qu'on puisse subdiviser la section au cas où la largeur de la rivière dépasse 300 à 400 mètres, ou que l'intensité du trafic ne permet pas de poser un câble à travers la rivière. Les expéditions organisées pour une période plus prolongée sont encore munies d'un chaland de plus grandes dimensions qui renferme non seulement les locaux nécessaires au logement et au train de vie des ingénieurs et des ouvriers, mais aussi les instruments, outils et matériaux nécessaires pour l'entretien des embarcations et des instruments de jaugeage. Il arrive parfois que l'expédition doit disposer d'un vapeur à hélice, lorsqu'elle doit opérer dans un courant assez fort pour que la main-d'oeuvre soit insuffisante pour les déplacements et l'ancrage, ou lorsque le débit d'une onde plus forte réclame des jaugeages réitérés, de sorte que l'outillage doit devancer le courant.

c) **Le moulinet.** — Au début, nous avons opéré nos jaugeages avec les moulinets communément employés. Nous avons les anciens moulinets Woltmann à ailettes planes, puis les moulinets plus récents d'Amsler et de Harlachner avec des ailes hélicoïdales de toutes formes et de toutes dimensions. Nous évitons d'employer le tube Darcy, qui se prête plutôt à fixer les vitesses de surface, tandis que nous préférons, par principe, les jaugeages à toutes profondeurs où le tube Darcy ne se prête pas au relevé exact des niveaux d'eau, en raison des oscillations de l'embarcation; dans les jaugeages de surface, opérés sur les ponts, nous nous en sommes tenus au moulinet Woltmann, ne fût-ce que pour obtenir l'uniformité des instruments.

Plus tard nous avons adopté un instrument construit par l'auteur de la récente, le moulinet type «H», dont nous nous sommes servis pour la plupart de nos jaugeages récents.

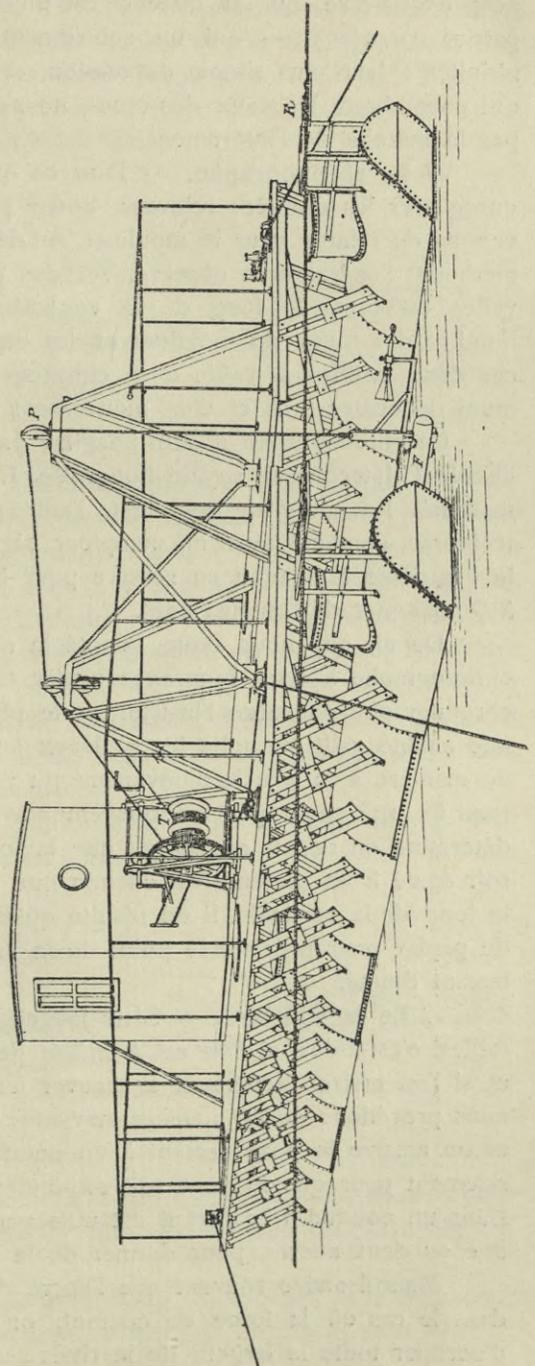


Fig. 1.

Pour ce qui concerne cet instrument, nous renvoyons le lecteur à la description qu'il trouvera plus loin. Ici nous nous bornons à constater que son équation giratoire reste linéaire sur un plus long parcours que chez les autres moulins, c'est-à-dire que sa marche est plus régulière; relevons aussi le fait que les parties »mortes« — qui ne contribuent pas à activer le mouvement — sont réduites à leur plus simple expression, et cet autre fait que les racines et herbes qui encombrant les eaux des crues, ne s'accrochent pas aux ailettes et n'entravent pas la marche de l'instrument.

d) Le chronographe. — Pour ce qui concerne le chronographe destiné à enregistrer les données relevées, notre procédé est analogue à celui que nous venons de relater pour le moulinet. Au début, nous avons opéré d'après l'ancienne méthode; l'opérateur a observé, sur des points d'expérience, espacés à des intervalles différents le long de la verticale et pendant une durée déterminée, le nombre des tours du moulinet et les espaces de temps écoulés, et il a marqué ces deux chiffres à l'aide d'un chronographe, semblable à l'appareil Morse, mais muni de quatre bras et d'un mouvement électrique.

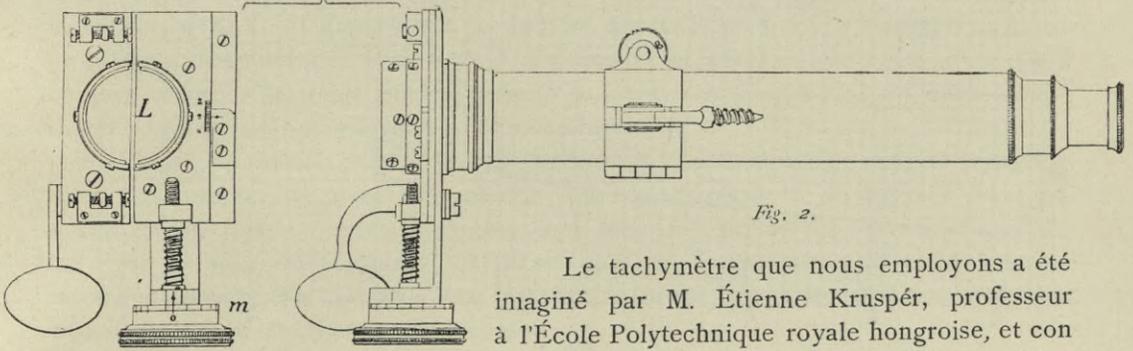
Ce chronographe a été imaginé par feu M. Ignace Horváth, professeur à l'École Polytechnique royale hongroise. L'un des quatre bras de ce chronographe marquait les tours du moulinet, l'autre les demi-secondes du chronomètre, le troisième, combiné avec un compteur, signalait chaque centième demi-seconde, et le quatrième était tenu en réserve pour les cas où l'un des autres bras viendrait à fonctionner défectueusement.

Depuis que nous avons adopté la méthode de l'auteur, nous employons le chronographe à deux bras avec papier sans fin se déroulant automatiquement. Ce chronographe constitue l'instrument le plus important de notre nouvelle méthode; une chaîne galle rattache les rouleaux au treuil qui plonge le moulinet dans l'eau, de manière à ce que le mouvement du rouleau, et en conséquence celui du papier sans fin, soit réglé par les mouvements du treuil. Le chiffre de transmission est déterminé en raison de ce fait que la longueur de la bande de papier dévidée soit égale à un dixième du chemin que le moulinet a parcouru dans sa descente le long de la verticale. Il en résulte qu'on n'a qu'à relever la longueur de la bande de papier pour préciser le point de la verticale que le moulinet occupe à chaque instant donné.

e) Le tachymètre. — Si le jaugeage s'opère dans des conditions assez favorables, c'est-à-dire si l'on est à même de tendre le câble en travers de la rivière et si l'on arrive facilement à trouver les verticales et à y fixer le pont flottant nous procédons de la manière suivante: le câble est visiblement gradué d'avance et on amarre le pont flottant à un point quelconque du câble, ce qui suffit généralement pour que le pont soit solidement fixé pendant la durée de l'opération. Dans un courant très fort il est utile parfois de placer, en amont de la verticale, une ou deux ancras, pour donner de la rigidité au câble.

Mais il arrive souvent que l'ancre doit retenir seule le pont dans la verticale, dans le cas où la force du courant, ou bien l'intensité du trafic, ne permet pas d'occuper toute la largeur de la rivière avec le câble qui servirait à fixer le pont et à le rattacher solidement à la verticale. Dans ce cas, le pont flottant est dirigé approximativement sur l'endroit de la verticale et ce point de l'opération est déter-

miné soit trigonométriquement, soit par la tachymétrie. La détermination trigonométrique est plus précise; mais nous la pratiquons rarement, car elle exige la présence constante d'un ingénieur au rivage, et elle présente encore l'inconvénient que l'opérateur, placé sur le pont flottant, n'est pas à même d'établir, directement et avec rapidité, s'il occupe bien l'emplacement voulu, ce qui fait qu'il tâtonne et perd son temps à louvoyer sur des points d'une valeur problématique. Dans les déterminations tachymétriques, toute l'action se concentre dans les mains de l'opérateur qui procède plus rapidement et en toute indépendance.



Le tachymètre que nous employons a été imaginé par M. Étienne Kruspér, professeur à l'École Polytechnique royale hongroise, et construit d'après l'héliomètre du célèbre opticien M. Fraunhofer. En voici le principe: à l'aide du verre objectif coupé en deux d'une lunette, nous obtenons que, parmi les quatre images formées sur une mire à deux disques, les deux images intérieures se rencontrent en un seul et même point par le mouvement des sections de l'objectif; la mesure de ce déplacement et la distance qui sépare les deux disques permettent de fixer la distance entre la mire et la lunette.

Le tachymètre (*fig. 2*) est construit comme suit: La partie essentielle, le verre objectif *L*, coupé en deux parties égales, est encadrée de manière à ce que l'une des parties est mobile par rapport à l'autre moitié; on peut préciser l'écart des deux parties à l'aide d'un micromètre; quand on dispose les deux parties de manière à leur donner un seul et même axe optique, elles constituent un seul objectif, et l'objet observé — le disque de mire — présente l'image à l'instar de la lentille commune; mais, aussitôt que le rapport des deux moitiés subit la moindre modification, nous voyons le disque de mire en deux images, attendu que les moitiés du verre objectif ont deux axes optiques.

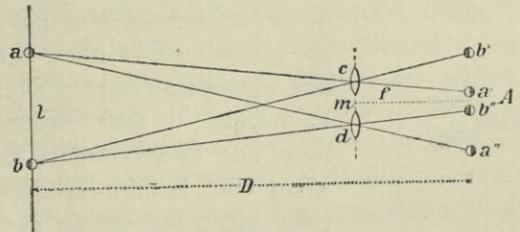


Fig. 3.

Or notre télescope vise deux disques *a* et *b* (*fig. 3*) espacés de la distance *l*; nous obtenons ainsi quatre images: *a'* et *a''*, les images du disque *a*; puis *b'* et *b''* les images du disque *b*.

Si nous modifions la situation marquée dans la figure, en rapprochant légèrement les deux moitiés, il arrivera, avec une distance donnée de la demi-lentille,

que l'image supérieure du disque a , sera *congruente* dans A avec l'image inférieure du disque b . Et c'est alors que le tachymètre indique la distance D que nous cherchons; c'est que nous avons deux triangles semblables Aab et Acd , dans lesquels nous connaissons ab ; la distance entre les deux disques est de 1 mètre par centimètre, cd donne l'écart de deux moitiés du verre objectif indiqué sur le cadre; A est la hauteur du triangle Acd , c'est-à-dire la distance du foyer.

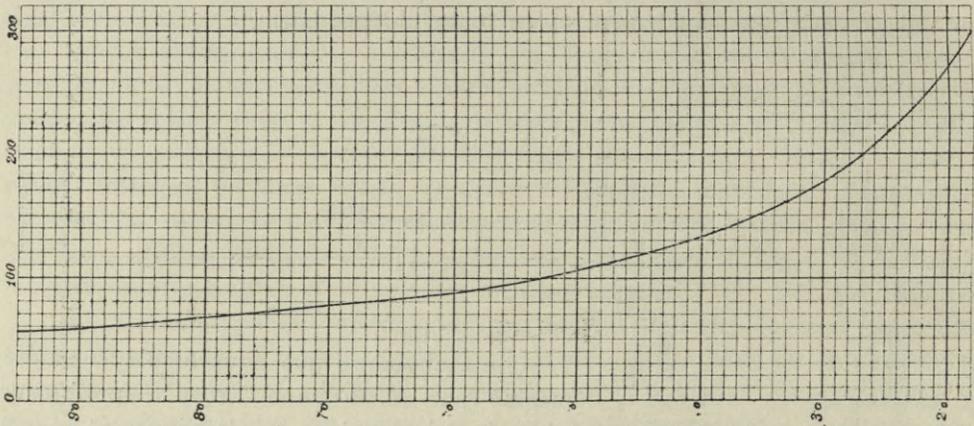


Fig. 4.

Le travail sera facilité et rendu plus expéditif, si nous calculons d'avance les valeurs cd afférentes aux différents écarts D et si nous les inscrivons sur un papier gradué en millimètres (fig. 4).

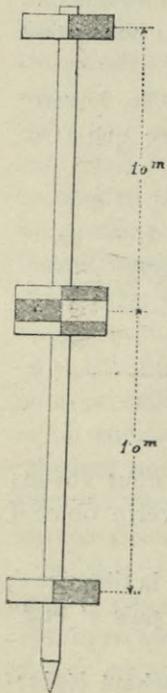


Fig. 5.

Le tachymètre que nous venons de décrire, est un instrument on ne peut plus pratique pour déterminer, sur le pont flottant même, l'emplacement de l'embarcation. Malgré les oscillations du pont, il est extrêmement simple d'en arrêter le point fixe, car la disposition mutuelle des quatre images restera toujours la même: une fois les images des deux disques devenues *congruentes*, elles ne se sépareront plus par suite des mouvements de l'embarcation. La précision que nous obtenons n'est nullement inférieure à celle des autres instruments similaires. Si les distances à relever viennent à grandir, il faut naturellement augmenter l'écart des disques, pour que le micromètre indique des déplacements faciles à relever; à cet effet, la mire représentée dans la fig. 5 comporte trois disques, pour qu'on puisse, en cas de besoin, employer des disques de 1 ou 2 mètres.

En guise de support, nous utilisons la paroi ou le mât; le tachymètre y est fixé avec la vis c .

2^o Exécution des jaugages.

a) **Détermination des points d'expérience.** — Le règlement de la Section hydrographique énonce les principes qui ont régi nos opérations. Comme il importe de jauger les sections dont les conditions d'écoulement sont les plus caractéristiques, il s'ensuit

qu'il faut opérer toujours en amont et en aval des confluent; car l'affluence de nouvelles masses d'eau doit forcément modifier les conditions de l'écoulement de la masse liquide, de même que la modification du lit ou de la pente permet de conclure à la modification des conditions d'écoulement. L'expérience nous montre que ces conditions se modifient non seulement en raison des confluent latéraux, mais encore en raison d'autres circonstances. Le débit peut diminuer si la masse d'eau a dû ralentir dans les alluvions, si l'infiltration, l'évaporation ou la stagnation dans les terrains d'inondation en ont réduit la vitesse soit définitivement, soit momentanément. Si une section est longue, il faut, quand même elle ne renferme pas de confluent, installer une station de jaugeages, en vue d'établir la perte que le débit a pu subir sur le parcours de la section. Il y a encore un autre motif de déterminer des jaugeages surtout dans les petits cours d'eau, c'est qu'il importe d'établir le débit sur les points où l'on prendra plus tard les eaux nécessaires aux exploitations agricoles et industrielles.

En jalonnant les points d'expérience, nous choisissons des sections transversales en ligne droite, aussi longues que possible, et où le fil du courant reste au milieu du lit. Il faut éviter les sections qui sont trop profondes ou ensablées ou qui sont en train de s'ensabler, de même que les sections où le lit s'élargit ou se rétrécit fortement; les sections coupées par des ponts présentent enfin l'inconvénient d'un tourbillonnement anormal des eaux.

b) **Les procédés de jaugeage.** — Nous avons déjà dit que nous opérons les jaugeages importants à *toutes les profondeurs*. Dans les cas moins importants, ou lorsque le courant rendait notre outillage complet inaccessible, nous opérons *sur des ponts pour mesurer la vitesse de surface* et, lorsque cette vitesse était trop faible pour faire tourner le moulinet, nous déterminions cette vitesse à l'aide de *flotteurs*. Dans d'autres cas où, l'outillage étant bien au complet, le temps aurait manqué pour passer une demi-heure ou une heure à chaque verticale à relever les vitesses dans les diverses profondeurs, nous avons recours à une quatrième méthode que l'on appelle le procédé *intégrant* ou, d'après son promoteur, la méthode *Treviranus*.

Depuis quelques années, nous employons enfin le nouveau procédé, imaginé par l'auteur. On peut l'appeler le *procédé détaillé*; car, au lieu d'additionner les tours d'ailette, comme on le fait par le procédé intégrant, on détaille les débits relevés sur tous *les points possibles* de la verticale.

Nous ne parlerons ici que de la première, de la quatrième et de la cinquième méthode; quant à la seconde, elle est semblable à la première; et la troisième est tellement simple que son emploi doit être absolument uniforme dans le monde entier.

α) *Jaugeages à toutes profondeurs par points déterminés.* — Ici encore, de même que dans tout jaugeage direct, il faut déterminer d'abord le nombre et la situation des verticales à relever dans le profil en travers.

Il importe, à cet égard, qu'il y ait une verticale (section élémentaire) pour chaque point remarquable du profil en travers qui est connu par les levés précédents du lit; leur écart ne doit pas être supérieur à 20 ou 25 mètres sur la Tisza et à 20 ou 40 mètres sur le Danube; à proximité du rivage, les verticales se suivent plus serrées; dans les terrains d'inondation on les établit partout où l'on peut supposer une variation de la vitesse.

Le choix du nombre et de l'emplacement des points d'expérience le long des sections élémentaires est déterminé par la condition que les points d'expérience doivent se conformer aisément à la figure de la courbe de débit. Cette courbe ressemble, comme on sait, à une parabole dont l'axe est horizontal et se trouve à quelques décimètres au-dessous du niveau de l'eau. Comme les variations de vitesse établies sur le parcours des verticales présentent une courbe, dont la courbe raide est près du niveau de l'eau, le barème pour le jalonnage des points d'expérience était tout donné. Nous relevons donc la vitesse dans chaque section élémentaire :

A une profondeur de 0 mètre (au niveau de l'eau)

—	0 ^m ,25
—	0 ^m ,75
—	1 ^m ,50
—	2 ^m ,50
—	4 ^m ,00
—	6 ^m ,00

Puis à des intervalles de 2 mètres; et enfin:

A 1 ^m ,50 au-dessus du fond	
1 ^m ,00	—
0 ^m ,50	—

c'est-à-dire aussi près que possible du fond.

Pour ce qui concerne la durée de chaque observation, il fallait attendre que les vitesses maxima ou minima qui surgissent en raison du mouvement tourbillonnant des filets d'eau viennent à se produire deux ou trois fois. Nous avons dressé un relevé graphique des variations qui ont été observées, pendant une certaine période, dans le nombre des tours par seconde, sur quelques points particulièrement caractéristiques à l'égard des variations de vitesse. Il résulte de ce relevé que les vitesses extrêmes de la Tisza reviennent à trois ou quatre reprises: en trois minutes sur les sections ayant 2 mètres de vitesse maxima, et en cinq minutes dans les filets lents rapprochés du fond; on a, en conséquence, arrêté la règle que les observations auront une durée de trois à cinq minutes, en raison de la vitesse des divers points d'expérience.

Les données relevées ont été enregistrées de deux manières. Pour les relevés opérés avec l'outillage complet, les nombres de tours de moulinet et les phases du temps de passage ont été enregistrés, par transmission électrique, avec un chronographe à quatre bras, analogue à l'appareil de Morse; on a inscrit dans la première ligne, en cas de petite vitesse, chaque tour de l'ailette et, en cas de plus grande vitesse, chaque cinquantième ou chaque centième tour; sur le second bras, on voit paraître la trace de chaque demi-seconde; dans la troisième ligne, un compteur introduit dans le circuit marque chaque centième demi-seconde; le quatrième bras est en réserve pour le cas où l'un des autres bras fonctionnerait mal.

Dans les cas où il n'a pas été possible d'opérer sur un pont flottant et où l'on a dû le faire sur des batelets réunis par un appontement, ou sur un pont fixe, on a marqué chaque centième tour du moulinet à l'aide d'une sonnerie actionnée par deux éléments; l'opérateur n'avait qu'à marquer les coups de sonnette qu'il entendait pendant la durée réglementaire de l'observation. Dans le cas où

l'outillage devait être plus réduit encore, on signalait les centièmes tours de moulinet non pas par une sonnerie, mais par un simple téléphone dont le courant était fourni par un seul élément miniature.

β) *Jaugeage à toutes profondeurs d'après la méthode dite intégrale.* — Nous avons déjà parlé des cas où nos ingénieurs, disposant de l'outillage complet, se trouvaient à court de temps pour opérer les jaugeages par points déterminés ci-dessus décrits. Dans ces cas il fallait recourir à la méthode intégrale suivante : On descend le moulinet avec un mouvement aussi régulier que possible, jusqu'au fond de la rivière ; on combine le nombre total des tours relevés avec le temps de passage, pour calculer le nombre moyen de tours par seconde ; la vitesse arrêtée sur la base de l'équation de l'ailette nous donne la vitesse moyenne approximative de la section élémentaire considérée.

On voit que ce procédé donne un résultat rapide en diminuant les frais du travail en même temps qu'elle met un peu à l'abri des caprices météorologiques. Au point de vue de la théorie, le résultat se précisera, en raison directe de la rapidité avec laquelle nous relevons les verticales successives de la section, de manière à réduire l'influence que les variations du niveau exercent sur le résultat final. Le procédé est, de plus, tel qu'on ne saurait en souhaiter de plus simple. Il nous semble cependant que la simplicité constitue le principal avantage de cette méthode et que la précision de ses résultats laisse quelque peu à désirer. Il est d'abord difficile d'obtenir, à moins de recourir à un outillage compliqué, et partant coûteux, une régularité de la descente telle que l'écart des temps employés à observer les divers points de la verticale puisse manquer d'exercer une influence sur la vitesse moyenne de la verticale ; rappelons ensuite que le moulinet suspendu ne peut jamais descendre jusqu'au fond, de sorte que le nombre de tours qui correspond à la vitesse de fond manque dans le chiffre total des tours ; aussi la méthode intégrale donne-t-elle généralement des vitesses moyennes plus élevées que n'en donnent les autres méthodes. Mais, quand même une longue pratique nous ferait arriver à opérer la descente du moulinet avec la régularité nécessaire et jusqu'au fond, le principal inconvénient de cette méthode subsisterait toujours, savoir que le moulinet, quand il a franchi les couches d'eau ayant les vitesses les plus diverses, donne comme résultat non pas les chiffres des tours accomplis dans chaque couche, mais le total des tours, de sorte que la vitesse moyenne de la section élémentaire entière ne nous sera fournie que par une opération arithmétique. Si encore l'équation qui exprime le rapport entre le nombre des tours et la vitesse de l'eau figurait une ligne droite, on pourrait arriver à un résultat tout à fait satisfaisant, pourvu que la descente du moulinet ait été opérée avec une vitesse régulière. Mais, comme on ne saurait imaginer un moulinet qui remplirait cette dernière condition, il s'ensuit que le jaugeage opéré d'après la méthode intégrale fournira des résultats défectueux, tant que la vitesse des couches superposées dans la ligne de la verticale présentera des variations. L'importance de l'erreur dépendra de la vigueur de la courbe de vitesse ; elle grossira en raison des écarts que présentent les vitesses des diverses couches.

En comparant les deux méthodes, on voit que la première (jaugeage par points déterminés) est parfaite au point de vue de l'exactitude ; elle fournit le meilleur moyen d'éliminer, en raison de la longue durée des observations, les

irrégularités causées par les mouvements tourbillonnants et pulsatifs de l'eau. Mais elle présente l'inconvénient de comporter une durée excessive des opérations, durée pendant laquelle la hauteur, la pente, le débit — et, dans les rivières à fond mouvant, le lit même — sont susceptibles de subir des modifications importantes; si l'opération dure plusieurs jours, les déformations peuvent devenir trop considérables pour qu'on puisse les négliger dans le calcul du débit par seconde, ou bien les écarter à l'aide de telles formules problématiques.

L'autre méthode, dite le procédé Treviranus ou le procédé »intégrant«, est moins parfaite à l'égard de l'exactitude, car on ne peut descendre le moulinet avec la régularité voulue; d'autre part, une couche de 30 à 40 centimètres s'étendant au-dessus du fond se dérobe au jaugeage en raison de la construction du moulinet, de sorte que cet élément donnant la vitesse minima — que la méthode précédente relève du moins par voie de prolongation — se trouve tout à fait éliminé, ce qui conduit à un résultat final indûment majoré. La méthode présente encore un autre inconvénient; comme on ne peut construire un moulinet dont l'équation giratoire serait une formule linéaire, il n'est pas admis de calculer la valeur moyenne de la somme algébrique des nombres de tours en vue d'obtenir la moyenne des vitesses qui varient irrégulièrement le long de la verticale. Les seuls avantages de cette méthode consistent dans la rapidité et la simplicité de l'opération. A mesure que les relevés s'opèrent plus rapidement, le temps affecté à chaque relevé se rapprochera de la seconde, c'est-à-dire de l'unité de temps à laquelle nous rapportons le débit, et l'écart entre le résultat relevé et la réalité ira en diminuant.

γ) *Jaugeage à toutes profondeurs d'après la méthode dite détaillée.* Le nouveau procédé tend à réunir les avantages des deux méthodes précédentes, tout en écartant les inconvénients théoriques ou pratiques que nous venons de constater.

Voici, en quelques mots, le procédé: on fait descendre le moulinet Woltmann (tout comme dans le procédé intégrant) d'un mouvement lent et régulier — avec une vitesse de 2 décimètres environ — jusqu'au fond du lit et, pendant la durée de descente, le chronographe enregistre mécaniquement les profondeurs de chaque point successivement touché, le nombre de tours et la durée (en secondes) de la descente, c'est-à-dire toutes les données nécessaires pour tracer la parabole verticale avec toute la précision voulue.

On obtient ce résultat en imprimant à la bande de papier — sur laquelle le courant électrique inscrit les signes correspondants à chaque tour d'ailette et à chaque demi-seconde de passage — un mouvement proportionnel à celui de la descente du moulinet. Il est évident que, de cette manière, la longueur de cette bande indique toujours la profondeur à laquelle le moulinet s'est trouvé au moment où les signes représentatifs des nombres de tours et des temps de passage ont été imprimés sur le papier.

L'instrument essentiel de ce procédé est reproduit dans la *fig. 6*. C'est un chronographe, semblable à l'appareil télégraphique Morse, à cette différence près que les rouleaux *c* qui tirent le papier sans fin sont actionnés non pas par un mouvement d'horlogerie ou par un moteur électrique, mais par le treuil qui fait plonger le moulinet. A cet effet, nous avons accolé au tambour du treuil une roue dentée, dont la chaîne de renvoi fait tourner la grande roue motrice A du

chronographe; cette dernière roue renvoie le mouvement aux rouleaux du papier sans fin, au moyen des quatre roues dentées r_1 , r_2 , r_3 , r_4 . Comme le tambour du treuil a une circonférence exacte de 1 mètre et que les rouleaux du papier ont une circonférence de 10 centimètres, il s'ensuit que, lorsque le treuil dévide 1 mètre de câble, c'est-à-dire lorsque le moulinet descend de 1 mètre, le chronographe déroule 10 centimètres de ruban de papier sous les plumes. Cela veut dire que la longueur du ruban dévidé par le chronographe nous donne la mesure de la profondeur à laquelle nous avons plongé le moulinet. Cette disposition de notre chronographe constitue le principe essentiel de notre procédé de jaugeage et — disons-le dès maintenant — de notre méthode de tarage.

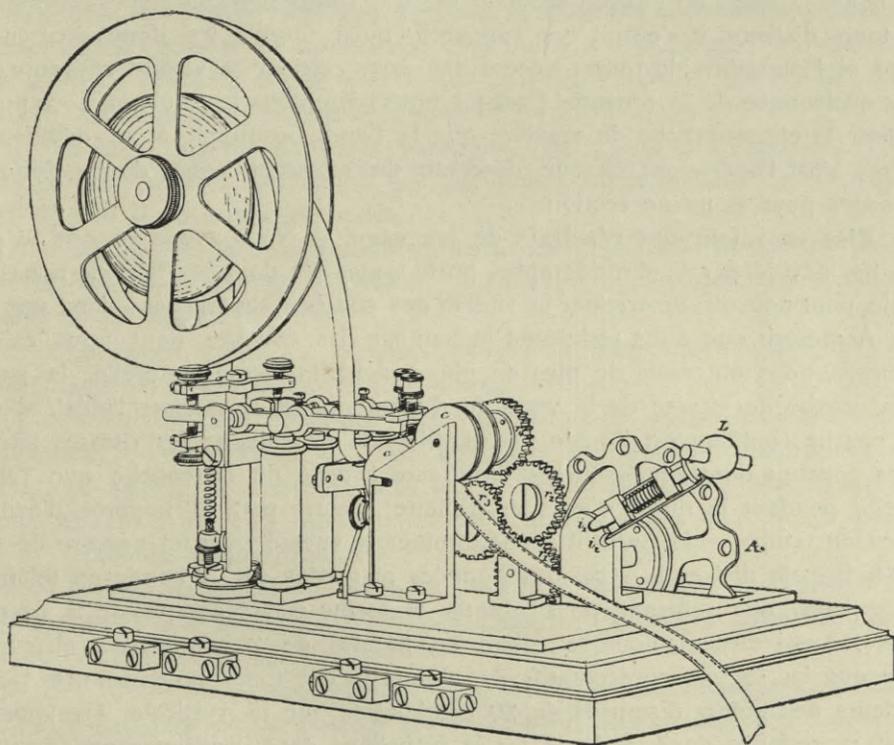


Fig. 6.

Afin que la bande de papier continue à se dérouler quand nous remontons le moulinet par le mouvement inverse du treuil, nous avons pris les dispositions suivantes: Sur les quatre roues dentées qui transmettent le mouvement du câble aux rouleaux du papier sans fin, les trois premières r_1 , r_2 et r_3 sont encastrées dans une plaque commune; grâce au levier à encliquetage L, cette plaque peut être disposée de manière à ce que la roue r_2 ou la roue r_3 , à mouvement continu, engrènent dans la roue r_4 , laquelle actionne les rouleaux directement. Dans le premier cas, lorsque la clenche se trouve dans l'entaille supérieure z , la bande se dévidera dans le sens du câble A (attendu qu'il y a double transmission); dans le second cas, les rouleaux iront en sens inverse, car maintenant ce sont trois roues dentées qui transmettent le mouvement du câble aux rouleaux.

Si la clenche se trouve au milieu entre les deux entailles, le mouvement du rouleau s'arrête, le câble et les trois premières roues dentées courent à vide.

L'opération du jaugeage même est identique à celle employée dans la méthode intégrante; le moulinet est descendu jusqu'au fond du lit avec une vitesse continue et régulière de 1 à 2 décimètres (bien que la régularité ne soit pas une condition aussi essentielle que dans la méthode intégrante), et voilà une opération achevée.

Nous avons déjà dit que le chronographe est rattaché au treuil, de manière à ce que la bande de papier déroulée corresponde à chaque instant à la profondeur dans laquelle se trouve le moulinet, la longueur de la bande étant égale à un dixième de cette profondeur. Comme le chronographe inscrit sur la bande, dans une ligne, la trace de chaque seconde et dans l'autre ligne les signes représentatifs des tours d'ailette, il s'ensuit que l'appareil nous fournit les deux éléments (le temps et le nombre de tours) nécessaires pour calculer la vitesse afférente à un point quelconque de la verticale. Lorsque nous remontons le moulinet, nous pouvons disposer le chronographe de manière que la bande continue à se dévider et à réitérer ainsi l'opération; chaque descente du moulinet nous donne donc deux jaugeages pour la même section.

Mise en valeur des résultats de jaugeage. — Nous avons vu, que le papier sans fin, dévidé par le chronographe, porte toutes les données (*) dont nous avons besoin pour pouvoir déterminer la vitesse des couches superposées dans une verticale. A mesure que nous réduisons la hauteur des couches dont nous calculons la vitesse, nous obtenons de plus en plus précise la forme naturelle, la parabole de la courbe de vitesse de la verticale. La possibilité de réaliser l'idéal, d'obtenir une courbe continue, est limitée par la difficulté de calculer les vitesses afférentes à des couches dont l'épaisseur est inférieure à celle de la couche que l'appareil franchit pendant la durée d'un tour d'ailette; d'autre part, il importe d'éviter les pertes de temps; aussi suffit-il de déterminer la vitesse pour tel nombre de points, c'est-à-dire de diviser la série des données marquées sur la bande en tel nombre de groupes, qui suffisent pour obtenir la forme caractéristique de la courbe de vitesse. Aussi divisons-nous le ruban en bandes de 2 centimètres chacune, de sorte que les signes représentatifs des temps et des tours nous donnent les profondeurs des points distancés de 20 centimètres sur la verticale. Quelques paraboles, reproduites dans la *fig. 7 bis* et recueillies dans les jaugeages du dernier printemps, permettent de voir que la subdivision en couches de 20 centimètres se conforme assez bien à la courbe continue des lignes représentatives des variations de vitesse.

Nous avons cru devoir reproduire dans les *fig 7 et 7 bis* (supplément), toute une série de jaugeages comparés — opérés à titre d'études, d'après des méthodes diverses — notamment toutes les données relatives à une section en travers, d'abord en vue de pouvoir mettre à l'épreuve l'exactitude du nouveau procédé, ensuite pour en comparer le résultat avec les résultantes des jaugeages opérés à tour de rôle

(*) Nous avons choisi pour notre méthode la dénomination *détaillée*, attendu que les données qui s'inscrivent sur la bande de papier nous permettent de construire la parabole d'une manière aussi détaillée qu'il est possible.

d'après l'ancienne méthode des observations prolongées, sur des points déterminés et d'après la méthode intégrante.

Dans ces jaugeages comparés nous avons relevé les vitesses dans le profil entier à trois reprises et nous avons obtenu plusieurs résultats. Voici comment nous avons jaugé le profil divisé en sections élémentaires espacées de 10 mètres; nous avons plongé le moulinet dans la première des verticales pour jauger d'après la méthode procédant par points déterminés; puis nous avons immédiatement remonté le moulinet relevant la verticale, d'après la méthode »détaillée«; dans la seconde verticale, nous avons opéré le jaugeage *détaillé* à la descente et à la montée de l'appareil, ce qui nous a fourni deux autres résultats; nous avons continué les opérations, en alternant les méthodes de la même manière sur les verticales suivantes; enfin nous avons calculé la moyenne arithmétique des données marquées sur les rubans au cours des deux derniers jaugeages, ce qui nous a fourni les deux résultats obtenus avec les jaugeages opérés d'après la méthode intégrante à la descente, et puis à la montée de l'appareil.

Les chiffres inscrits dans les paraboles (*fig. 7 bis*) indiquent les vitesses moyennes (les largeurs moyennes des paraboles) correspondantes aux jaugeages opérés d'après les diverses méthodes.

Afin de faciliter la comparaison, nous avons réuni dans le tableau placé au bas de la figure les vitesses moyennes obtenues avec les différentes méthodes. Il résulte de ce tableau :

1^e Que l'écart entre les résultats des deux jaugeages opérés d'après la méthode détaillée, à la descente et à la montée, varie de $- 1.1$ à $+ 5.7$ 0/0.

(Il convient de faire remarquer que, en mettant en regard les extrêmes, nous avons éliminé les verticales I. et XXI, lesquelles ne sauraient déterminer notre jugement, vu qu'elles se trouvent dans les eaux tourbillonnaires des rivages. Les verticales extrêmes influent, du reste, si peu sur le résultat final qu'on peut les traiter de quantités négligeables).

2^e Les vitesses moyennes obtenues avec les *observations par points déterminés*, rapportées aux moyennes recueillies dans les jaugeages *détaillés*, donnent des écarts variant de $- 4.6$ à $+ 7.6$ 0/0.

3^e Les vitesses moyennes obtenues par l'addition arithmétique des données recueillies, c'est-à-dire par le procédé d'*interprétation*, fournissent, par rapport aux résultats de la méthode détaillée, des écarts variant entre $- 7.7$ et $+ 1.4$ 0/0.

4^e En mettant en regard les *deux jaugeages* du procédé intégrant, on trouve que les écarts vont de $- 4.0$ à $+ 6.7$ 0/0.

Afin que le lecteur puisse apprécier la précision relative que présentent les divers procédés lorsqu'il s'agit non pas de la vitesse moyenne de telle section élémentaire verticale, mais du débit, par seconde, d'une section en travers, c'est-à-dire lorsqu'il s'agit du résultat final qui est le véritable objet des jaugeages, j'ai réuni dans un petit tableau, inscrit dans le dessin du profil, les résultats finaux des jaugeages en question. Il résulte de ce tableau que les écarts s'élèvent à :

- + 1.4 0/0 pour deux jaugeages de la méthode intégrante, rapportés l'une à l'autre;
- + 0.75 0/0 pour les observations à des points déterminés rapportées au procédé détaillé;
- 2.3 0/0 pour la méthode d'intégration rapportée au procédé détaillé; et
- + 1.8 0/0 pour deux jaugeages comparés de la méthode intégrante.

Après cette comparaison il sera facile de décerner la méthode qu'il faut reconnaître comme supérieure, car il n'y a que deux points de vue qu'il faut prendre en considération, celui de l'exactitude et celui des avantages techniques ou économiques.

Quant à l'exactitude, il va sans dire qu'elle ne saurait être que relative. Il ne faut rechercher qu'une chose, à savoir si l'écart entre le résultat obtenu avec la nouvelle méthode à apprécier et entre celui obtenu avec la méthode ancienne reconnue comme la meilleure reste en deçà des limites fixées par les besoins pratiques. Le relevé en pourcents que nous avons soumis au lecteur indique que le résultat obtenu avec la méthode *détaillée* accuse un écart de 0.75% par rapport à celui que donne le jaugeage *par points déterminés* universellement adopté. L'écart est donc de beaucoup inférieur à celui que nous admettons entre deux opérations faites par points déterminés. On sait que ce dernier écart est de 5%.

Le résultat obtenu avec la méthode *détaillée* n'est point fortuit, mais dû à la méthode. Nous n'en voulons pour preuve que l'écart accusé dans notre exemple par deux jaugeages à méthode détaillée. Cet écart est de 1.4%, c'est-à-dire toujours de beaucoup inférieur à l'écart que nous admettons dans les opérations par points déterminés.

En établissant le même parallèle pour la méthode *intégrale* nous voyons, que cette dernière méthode, rapportée aux deux méthodes précédentes ne donne pas non plus un écart de beaucoup supérieur à celui d'entre les deux méthodes précédentes, car celui-ci est de 1.8% et celui-là de 2.3%. Le fait est extrêmement important, il atteste d'une manière éclatante la viabilité de notre méthode qui est la plus expéditive, surtout lorsque nous voulons seulement établir le rapport entre un grand nombre de jaugeages, sans nous préoccuper des valeurs absolues dont nous n'avons point besoin quand il s'agit de questions d'importance locale ou d'études scientifiques.

Dans ce dernier cas il importe encore de tenir compte de ce singulier fait que l'écart entre le résultat du jaugeage intégral et celui obtenu avec les autres méthodes sera *toujours* ou — comme dans le cas présent — pour la plus grande partie négatif, c'est-à-dire que la méthode intégrale donne toujours plus qu'une autre méthode. Et ce n'est pas une exception fortuite, mais une règle qui découle de la nature de la méthode intégrale. C'est tellement vrai que l'on pourra — toutes les fois que la méthode intégrale donnera un résultat inférieur à celui d'une autre méthode qu'on aura employée en vue d'établir une comparaison — hardiment affirmer que l'un ou l'autre des deux résultats est faux. Cela s'explique par le fait que le moulinet ne pouvant — en raison de sa construction — mesurer la vitesse de la couche d'eau de 30 à 40 cm. qui recouvre le fond, les tours afférents à cette couche d'une vitesse minime n'entrent pas dans le total des tours; dès lors le résultat sera forcément plus grand qu'avec le jaugeage par points déterminés ou avec le jaugeage détaillé, dans lesquels on prolonge et met en ligne de compte la partie finale de la parabole de vitesse, d'après le principe de la continuité.

Pour ce qui concerne la précision absolue qu'il est possible d'obtenir avec les divers systèmes, on devra s'en remettre à la théorie ou plutôt à la spéculation, tant qu'on n'aura pas réussi à jauger la masse d'eau avec une mesure dûment poinçonnée. Nul ne saurait préciser la masse d'eau qu'une rivière (nous parlons

de cours d'eau importants) débite dans une seconde. Nous partons même de cette conviction que avec les méthodes indirectes actuelles on ne saurait s'attendre à arriver à des chiffres d'une valeur absolue; dès lors nous nous bornons à rechercher parmi les diverses méthodes celle dont le résultat paraît plus vraisemblable que celui des autres méthodes.

Envisagée à ce point de vue là, la méthode *intégrale* sera la *plus faible* parmi les trois méthodes en question et cela non seulement parceque, en raison des causes techniques indiquées elle donne toujours un résultat *supérieur* à la réalité, mais encore et surtout parceque l'équation giratoire du moulinet Woltmann ne forme jamais une ligne droite, mais une courbe qui dépend de la construction et surtout de l'état momentané du moulinet. Or, si la ligne qui représente le rapport entre les tours et la vitesse de l'eau n'est pas une ligne droite, alors la *moyenne arithmétique* des tours faits avec des vitesses fort variées pendant la descente continue du moulinet — et c'est tout ce que nous pouvons obtenir avec l'opération — ne nous permettra point de calculer exactement la vitesse de l'eau, de même qu'on ne saurait calculer la superficie d'une figure plane divisée en trapézoïdes, en voulant multiplier la *moyenne arithmétique* de la longueur latérale des trapézoïdes avec la largeur totale de la figure.

La faute que nous commettons de ce chef avec la méthode augmente en raison de la variation de vitesse des fils d'eau de la verticale et en raison de la curvité de la ligne qui reproduit le mouvement giratoire du moulinet. Mais, en général, la faute ne sera jamais assez forte pour modifier l'opinion favorable que nous avons exprimée sur la méthode intégrale, portant que cette méthode suffit parfaitement pour les besoins pratiques, surtout dans les opérations qui ne visent que le rapport relatif.

Le parallèle entre les méthodes par »points déterminés« et »détaillée«, au point de vue de la précision absolue, sera déjà plus difficile à établir; ici nous n'avons pas de critérium sûr, comme pour la méthode intégrale. Les divers points des paraboles verticales, prises comme base du calcul de débit, sont dans les deux cas, les résultats moyens d'observations ayant duré plus ou moins longtemps et c'est tout ce que nous savons lorsque nous voulons juger la précision absolue.

Si nous posons la question de savoir si nous devons prendre la moyenne d'observations plus prolongées ou celle d'observations plus courtes, alors nous devons certes préférer la méthode par points déterminés. Dans un mouvement d'une variabilité extrême, telle que celui des cours d'eau naturels, ou les écarts de vitesse dépassent les 100%, on ne pourra se rendre un compte exact de la vitesse d'écoulement, que si nous prolongeons les observations de manière à ce que les extrêmes de vitesse puissent revenir à plusieurs reprises et prévaloir dans les divers coefficients de la vitesse totale. C'est ce qui a été constaté par des mesurages d'abord par M. Harlacher et puis par la Section Hydrographique (v. le tome III. de nos *Annales*).

Mais comme les mesurages comparés aboutissent à ce résultat que — malgré les grands écarts que la vitesse des fils d'eau présente d'une minute à l'autre et que l'on ne peut apparemment éliminer qu'à la suite d'observations prolongées — la méthode détaillée fournit des résultats qui se rapprochent jusqu'à $\frac{3}{4}\%$ de ceux de la méthode par points déterminés et qui présentent, entre eux, des

écarts tellement minimes (1.4⁰/o) qu'on peut, sans le moindre doute, les considérer comme correctes et logiques : — nous avons tout lieu d'affirmer que, à l'égard de la *précision*, la *méthode détaillée* ne cède en rien à la méthode par points déterminés que l'on avait reconnue comme la plus parfaite. Nous devons, de plus, prendre en considération le fait que, pendant l'opération prolongée de la méthode avec points déterminés le niveau d'eau peut subir des modifications qui nous forcent à apporter aux paraboles de vitesse des «réductions», déterminées par nos sens naturels ou par des formules problématiques, qui exercent une influence sensible sur le résultat final. Avec la méthode détaillée ce cas ne se présentera jamais, car l'opération s'exécute trop rapidement pour que, pendant sa durée le niveau puisse se modifier dans une mesure appréciable. Cette circonstance nous engage à dire que la méthode détaillée est décidément préférable à la méthode par points déterminés.

Si nous visons un procédé économique et commode, la méthode par points déterminés n'entre pas même en ligne de compte à côté de la méthode détaillée. Si nous mesurons le profil d'un lit majeur sur le cours moyen de la Tisza, le procédé par points déterminés où les verticales sont distancées à 20 et 25 mètres, demande une *journée entière* ; avec la méthode détaillée comportant des verticales à des intervalles de 10 mètres, le travail dure à *peine deux heures*.

Sur les grands fleuves cet écart de durée est de beaucoup plus frappant encore. Nous fîmes des jaugeages sur le Danube à Budapest, en 1892, lorsque l'eau dépassait l'étiage de 6 mètres environ. Deux jours suffirent à peine pour terminer une opération faite d'après la méthode par points déterminés. Le professeur *Harlachner*, une autorité en fait de tachymétrie opéra en 1878, en amont de Vienne un jaugeage sur le Danube ; la profondeur maxima était un peu au-dessous de 8 mètres, la largeur de la section était de 430 mètres, c'est à dire à un niveau moyen ; cette seule opération durait du 25 avril au 1^{er} mai, c'est à dire sept jours et pendant cette durée l'eau montait de 1.47 m. à 2 m. et quelques centimètres et redescendait ensuite à 1.68 m.

En adoptant la méthode par points déterminés, on ne pourra, en temps d'inondations, confier à une seule expédition deux sections, plus éloignées l'une de l'autre, qu'en supposant les conditions les plus favorables et l'on devra se résigner d'avance à la pensée que, dans l'une ou l'autre des sections, on ne réussira pas à saisir le moment le plus important, celui de la culmination.

Les crues du Danube en 1897 nous ont fourni l'occasion de fixer notre opinion sur l'emploi de la méthode détaillée.

A la suite des grandes pluies tombées à la fin de juillet sur le cours supérieur du Danube, nous pûmes prévoir, dès les premiers jours d'août, que nous aurions des hautes eaux peu communes (plus de 6.80 m.) dont le jaugeage se prêterait admirablement à compléter la série de nos jaugeages opérés à Budapest. La Direction Nationale des Eaux décida de faire jauger le Danube à Budapest au moment de la culmination prévue pour le 9 août. L'ordre nous fut remis le 4 août à midi. Le temps pressait ; nous ne pûmes plus songer à amener notre grand outillage flottant qui se trouvait sur la Tisza ; s'engager sur les eaux rapides du Danube avec l'appontement de canots eût été dangereux ; nous jugeâmes plus simple et plus opportun de monter notre outillage sur un petit vapeur à hélice,

de disposer la vapeur avec une précision approximative dans les verticales successives de la section et de relever avec le tachymètre la distance exacte qui séparait ces verticales du rivage. En procédant ainsi, le lendemain, le 5 août au soir, le vapeur était tout outillé; dans la matinée du 6 août nous pûmes déjà procéder à la première opération qui réussit à souhait, malgré l'inexpérience des bateliers et des ouvriers. Les deux jours suivants nous fîmes, l'eau continuant à monter, une opération par jour; le 9 août, jour prévu pour la culmination nous terminâmes le jaugeage à midi, juste au moment de la culmination. Nous eûmes donc quatre jaugeages alors que, avec une autre méthode, nous eussions eu de la peine à faire aboutir une seule opération.

Encouragés par ce succès à peine espéré, nous demandâmes à la Direction l'autorisation à étudier à Mohács aussi (à 200 kil. en aval de Budapest) le débit des eaux culminantes, afin d'étudier l'aplatissement et la retenue de la crue. La Direction accorda l'autorisation demandée et nous chargea de jauger en même temps, si possible, le débit maximal en aval des confluent, savoir en aval du confluent de la Drave, à Gombos ou à Ujvidék, en aval de l'embouchure de la Tisza, à Szlankamen et en aval de celle de la Save aux environs de Pancsova ou Báziás.

Dès le dernier jour des opérations de Budapest nous nous mîmes en route vers Mohács; nous y arrivâmes le lendemain à midi et nous procédâmes dès l'après-midi à un jaugeage que nous considérâmes comme essai et qui réussit parfaitement. Le 11 août, jour de la culmination, nous procédâmes dans la matinée au second jaugeage. L'après-midi nous continuâmes notre voyage; le 12 août le matin nous jaugeâmes le Danube à Ujvidék, le 13 août entre Szlankamen et Szurduk; le 14 août à midi le jaugeage était terminé en aval de l'embouchure de la Save, près la commune serbe Ritopek qui se trouve à 15 kilom. en aval de Pancsova et à 555 kil. en aval de Budapest.

Il nous semble que ce résultat atteste pleinement l'utilité de la méthode détaillée. Nous irons même plus loin et nous dirons que, avec toute autre méthode, il eût été impossible, même en faisant les plus grands sacrifices, d'opérer un jaugeage aussi complet des hautes eaux en question. Avec l'ancienne méthode on aurait dû envoyer une équipe spéciale à chacune des échelles énumérées, réunir un outillage plus complet qu'il n'en existe et disposer d'un grand nombre d'ingénieurs que l'on ne saurait jamais détacher de leur service quand le pays entier est menacé par les inondations.

La méthode détaillée présente pourtant un inconvénient, c'est que l'enregistrement des données recueillies est fort laborieux. Avec la méthode par points déterminés les nombres de tours par seconde sont pour ainsi dire tout acquis; avec la méthode détaillée il faut les copier du ruban de papier qui contient deux rangées de petits signes et puis le nombre des points à calculer et à reporter sur le dessin est beaucoup plus considérable pour chaque verticale qu'avec la méthode par points déterminés. Avec celle-ci nous avons pour chaque verticale, en moyenne, dix points, que l'on peut pour ainsi dire copier sur le registre, tandis que la méthode détaillée comporte, pour chaque verticale, une cinquantaine de points à relever sur le ruban et à calculer.

Mais comme le temps requis pour le travail de bureau est bien moins précieux, que l'économie de temps faite avec les travaux sur les rivières, nous croyons que le point de vue en question ne saurait entrer en ligne de compte quand on doit choisir entre les deux méthodes.

3^o *Enregistrement des jaugeages.*

Quel que soit le procédé que nous avons employé pour les relevés, l'enregistrement commence toujours par l'opération qui consiste à relever, sur la ligne graphique représentative de l'équation de l'ailette, les vitesses qui correspondent aux chiffres des tours par seconde. Ensuite nous traçons les paraboles verticales; dans la méthode des jaugeages »par points«, nous utilisons tous les points relevés; dans la méthode »détaillée« nous prenons des couches de 20 centimètres. Les lacunes de ces paraboles, c'est-à-dire les vitesses de la surface et du fond sont comblées au moyen de prolongements proportionnels; dans les figures ainsi complétées, nous déterminons par un calcul géométrique la largeur moyenne qui correspondra à la vitesse moyenne de la verticale respective. Nous reportons ces vitesses moyennes sur les points correspondants du profil en travers du lit, perpendiculairement sur le niveau de l'eau; puis nous relient les points marqués par une courbe continue, et nous obtenons la courbe des vitesses moyennes. Maintenant nous divisons la partie submergée du profil en travers en des bandes de 5 mètres chacune; nous multiplions la superficie de chaque bande avec la hauteur dont la courbe des vitesses moyennes dépasse le ruban, c'est-à-dire avec la vitesse moyenne correspondante de la fraction de section, et nous obtenons la masse d'eau que cette sous-section débite dans une seconde. En additionnant les masses liquides ainsi relevées, nous établissons enfin le débit, par seconde, de la section entière.

Nous inscrivons dans un registre spécial les résultats obtenus sur chaque station, ainsi que la méthode suivie et les autres circonstances de l'opération. Afin de faciliter l'orientation et de rendre possible la détermination des débits, qui correspondent aux diverses hauteurs, c'est-à-dire afin de rendre possible l'établissement de la *courbe des débits* — nous inscrivons les résultats de jaugeage obtenus sur les diverses stations dans *un tableau graphique*, sous forme de points pleins ou vides, selon que le jaugeage a été opéré en temps de crue ou de baisse, ou sous forme de point étoilé, lorsque nous avons travaillé en temps calme. Nous mettons à côté des points les N-os d'ordre respectifs du Registre; le plan de la situation et le tableau graphique avec le profil en travers forment les annexes du Registre de la station respective.

Pour nous faire mieux comprendre, nous ajoutons l'extrait de notre Registre pour une station à laquelle nous avons opéré quelques séries de jaugeage en vue d'étudier certaines questions hydrographiques.

On trouvera, dans la *fig. 8.* (supplément) la reproduction réduite du tableau graphique comme annexe de ce registre. Cette feuille a pour objet la série des jaugeages opérés, en 1895, sur la section de la Tisza près Püspöki. Cette série a fait partie des jaugeages que nous avons — en vue d'élucider certaines questions hydro-

techniques — effectués simultanément sur deux stations de la Tisza situées à 85 kilomètres l'une de l'autre, et que nous avons continués depuis le commencement des crues de printemps jusqu'à l'époque de l'étiage.

Une flèche marque dans ce dessin le point de courbe correspondant au débit relevé le premier jour des jaugeages.

Une ligne continue qui part de ce point marque les phases successives des crues, en reliant les points qui correspondent à la culmination des crues avec les résultats des jaugeages opérés pendant les basses eaux. Ce registre graphique sert entre autres, à construire la courbe des débits de manière à pouvoir établir les masses liquides débitées à une hauteur d'eau quelconque. Mais il résulte de ce tableau graphique, que la construction de la courbe des débits présente des difficultés, vu que la succession des points varie selon que les eaux montent ou baissent. Ces séries de jaugeages mettent en évidence un fait, connu depuis longtemps, à savoir que la masse liquide qui s'écoule par seconde d'une seule et même hauteur d'eau, est plus considérable pendant la période des crues qu'elle ne l'est quand les eaux commencent à baisser. Dans chacune de ces périodes, nous obtenons des courbes d'une valeur relative; la ligne qui indique, dans le tableau graphique la marche des jaugeages, nous donnerait, de même, une valeur approximative seulement. La courbe d'une valeur absolue, celle qui marque les débits correspondants aux niveaux des eaux culminantes se trouvera naturellement entre les deux courbes mentionnées. Quel est donc l'emplacement géométrique de la courbe de valeur absolue? Mais c'est précisément ce que nous nous proposons d'établir exactement à l'aide des jaugeages que nous avons opérés et que nous allons continuer.

Jaugeages sur

la Tisza.

No. d'ordre	Endroit du jaugeage	Temps	Hauteur d'eau dans la section	Variation de niveau au cours du jaugeage	Surface du profil			Vitesse moyenne		Débit par seconde		
					lit prin- cipal	lit majeur	total	lit prin- cipal	lit majeur	lit prin- cipal	lit majeur	total
					<i>m</i>	<i>mm</i>	<i>m</i> ²	<i>m</i>		<i>m</i> ³		
					1	2	3	4	5	6	7	8
1	T.-Püspöki	1888 XI/6	- 0.75	0	588.30	-	-	0.199	-	117.14	-	-
2	«	1895 III/30	+ 5.73	+ 2	1603	-	-	-	-	1389	-	-
3	«	IV/1	+ 5.88	+ 3	1635	-	-	-	-	1387	-	-
4	«	IV/3	+ 6.29	+ 14	1736	465	2201	1.080	0.174	1875	81	1956
5	«	IV/4	+ 6.64	+ 13	1819	602	2421	1.094	0.188	1990	113	2103
6	«	IV/5	+ 6.94	+ 11	1892	718	2610	1.236	0.205	2338	147	2485
7	«	IV/6	+ 7.14	+ 11	1942	796	2738	1.242	0.254	2410	201	2611
8	«	IV/8	+ 7.64	+ 9	2057	991	3048	1.189	0.345	2445	342	2787
9	«	IV/9	+ 7.90	+ 10	2121	1095	3216	1.252	0.354	2656	388	3044
10	«	IV/10	+ 8.04	+ 0	2156	1148	3304	1.267	0.361	2731	414	3145
.
.
.

Méthode et outillage	Opérateur (bureau, ingénieur)	L'original du relevé et des calculs déposé à la	Rubrique réservée pour les esquisses du plan et du profil, la description du repère, les observations hydrographiques et météorologiques ayant influencé l'opération et pour autres détails nécessaires à l'appréciation du résultat
du jaugeage			
14	15	16	17
<i>f</i>	V. O. (S. Hajós)	V. O.	beau, vent, faible <i>f. b.</i> 1) La section relevée au passage de la digue.
<i>p</i> 13/K moulinet	« «		beau, calme 2) La section est la Section 165 du
<i>p</i> «	« «		variable, vent Register et les hauteurs ont été
<i>i</i> «	« «		transcrites du repère 165.
<i>p</i> «	« «		vent très fort
<i>p</i> «	« «		pluvieux, vent
<i>p</i> 13/H moulinet	« «		vent faible
<i>p</i> «	« «		ciel couvert, calme
<i>p</i> «	« «		ciel couvert, vent, le vent augmente
<i>p</i> «	« «		vent fort
<i>p</i> «	« »		beau, calme
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

Légende :

- Dans la 4-ème rubrique (+) marque au-dessus de l'étiage, (-) marque au-dessous de l'étiage.
A. f. signifie le niveau de l'Adriatique (cote de Vásárhelyi).
- 5-ème rubrique : (+) = crue, (-) = baisse.
- 14-ème rubrique, méthodes : *p* = par points jusqu'au fond, *f* = à la surface, *i* = intégrale,
r = détaillée, *u* = flottant à la surface ; *b* = mesurage avec bâton lesté.
- 15-ème rubrique : V. O. = Section Hydrographique, *fm* = bureau fluvial, *km* = bureau
d'hydraulique agricole.

B) TARAGE DES MOULINETS.

(Nouveau procédé.)

On sait qu'il y a plusieurs manières de déterminer le rapport qu'il y a entre les tours du moulinet de Woltmann et entre la vitesse de l'eau; c'est ce qui constitue le tarage de l'appareil. Ce sont les suivantes:

a) On promène le moulinet dans une eau dont la vitesse est connue (déterminée par le tube Darcy ou par un jaugeage direct postérieur), en ayant soin de le tenir bien solidement, et l'on observe le nombre de tours et leur durée;

b) Si on promène le moulinet dans une eau de vitesse quelconque (inconnue), on observe exactement la vitesse des mouvements; avec des vitesses régulières, on prend la moyenne des tours relevés dans les marches de descente et de montée (en amont et en aval);

c) On promène le moulinet dans une eau dormante avec des variations de vitesse, et on observe les vitesses de mouvement et les nombres de tours qui correspondent à chaque vitesse;

d) On peut encore déterminer l'équation de tarage sans recourir à aucun mesurage; on enroule l'arête de l'ailette en sens parallèle à l'axe de rotation sur une feuille de papier; on obtient une ligne oblique dont la curve permet de calculer le pas de l'hélice, ce qui donne, à une fraction minime près, l'équation giratoire de l'ailette. Mais le résultat de cette méthode ne se prête qu'à des calculs approximatifs; elle ne doit point être employée à calculer des vitesses inférieures à 0^m,50.

Parmi ces quatre méthodes, c'est la troisième seule qui puisse fournir des résultats tout à fait exacts, et on l'emploie presque partout à l'exclusion des autres

L'eau dormante employée pour ce procédé de tarage est communément emmagasinée dans un canal creusé à cet effet; ce canal est longé, sur ses deux rives, de rails sur lesquels on fait courir des vagonnets, poussés par des hommes (depuis quelque temps c'est l'électricité qui les actionne). On place l'appareil sur ces vagonnets et on plonge l'ailette dans l'eau. Cette disposition, universellement employée, du canal et des rails, n'est pas précisément heureuse. Si le profil du canal est exigü (on le construit généralement avec une largeur de 1 mètre à 1^m,30 et une profondeur de 1 mètre), l'eau refoulée par les agrès du moulinet, ne trouvant pas de sortie latérale, ira se hausser devant le moulinet; un remous se produira, ce remous marche devant le moulinet, et la condition primordiale de ce procédé, qui consiste à opérer dans une eau dormante, n'est pas réalisée. Si, par contre, on augmente le profil — en vue d'éviter ce remous, — (chez M. Harlacher, le canal a 7^m,4 de largeur), l'obtention des vitesses croissantes se heurte à d'autres difficultés en raison de l'écartement des roues.

Pour éviter ces inconvénients, au lieu de placer le canal entre les deux rails, nous avons posé les deux rails sur l'une des rives et ce n'est pas du devant du véhicule que nous plongeons le moulinet, mais à l'aide d'un bras latéral. Grâce à cette disposition, nous pouvons opérer dans une eau d'une étendue quelconque, et nous évitons les nombreux inconvénients de la fixité des stations d'expérience.

Le station de tarage du Département hydrographique de Hongrie est installée près de Szolnok, sur le confluent du canal Millér et de la Tisza, point pourvu d'une écluse. La station comporte une voie ferrée routière, longue de 150 mètres et de 1^m,20 d'écartement de voie, posée sur des traverses en fer de 5 mètres avec une espèce de draisine adaptée à cette voie. Quand le tarage de tous les moulinets envoyés pour ce but, qui demande quelques jours, est achevé, on démonte la voie ferrée et on place l'outillage dans une remise, pour le mettre à l'abri des intempéries.

La draisine (*fig. 9*) est un simple véhicule en fer en U, composé d'une plate-forme rivée, longue de 3^m,5 sur 1^m,5, placée sur quatre roues de 1 mètre de circonférence, à 3 mètres d'écartement ; sur cette plate-forme on fixe la table destinée à recevoir les instruments et les sièges des opérateurs. Une barre de fer (B), longue de 1^m,50 et rendue rigide pour résister à toute pression, sort du wagonnet et tient en suspension la tige du moulinet, fixée dans la position perpendiculaire

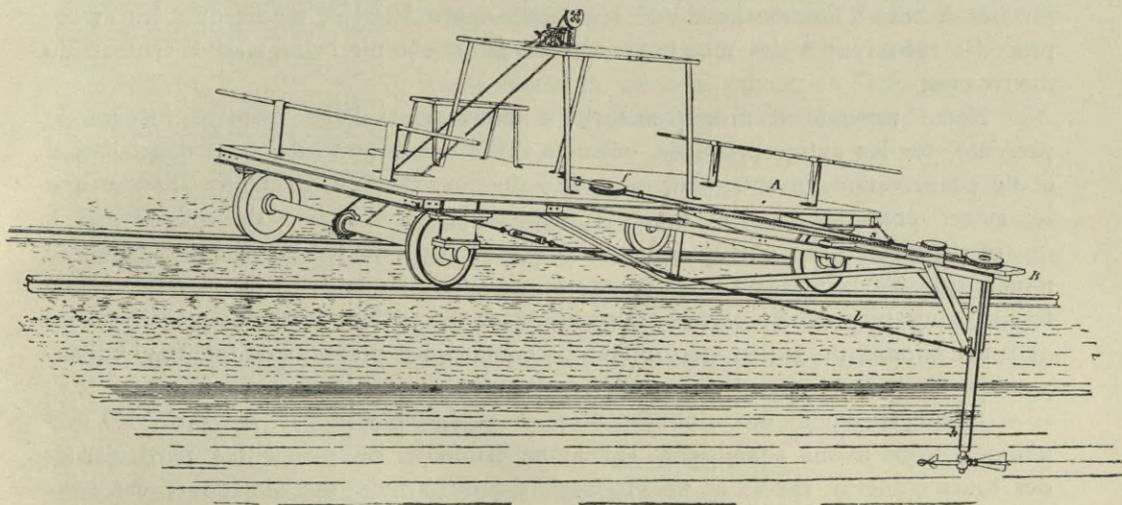


Fig. 9.

à l'aide du crochet en fer (c) et des câbles (L) rattachés au wagonnet. Pour faciliter la manoeuvre du moulinet, la tige est munie de la charnière s qui permet de la tourner vers la plate-forme ; si l'on veut travailler en allant et en revenant, on recourt à la manivelle f, qui permet de mouvoir la tige du moulinet dans un angle de 180^o.

Le principal instrument de tarage, c'est le chronographe spécial que nous avons décrit en parlant des procédés de jaugeage. Dans cette dernière opération, les rouleaux étaient destinés à dévider une bande de papier mesurant 1/10^e du *parcours du moulinet pendant la descente* ; dans l'opération du tarage ces mêmes rouleaux servent à dévider une bande de papier dont la longueur sera égale à 1/10 du *parcours du wagonnet*. Pour obtenir ce résultat, le chronographe est rattaché par une chaîne à l'axe du wagonnet, avec un dispositif analogue à celui du raccord que nous avons établi, lors des jaugeages, avec l'axe du treuil, axe qui avait 1 mètre de circonférence. Comme la bande de papier porte, ici encore, les traces des secondes dans la première ligne et les signes représentatifs des tours accomplis

dans la seconde, il s'ensuit que la longueur des traces des secondes nous donne la vitesse du vagonnet dans la proportion de 1/10 et que les nombres des tours sont marqués à côté des traces des secondes.

Les avantages que notre procédé présente sur les autres méthodes sont, croyons-nous, manifestes. Dans les autres méthodes, le canal est jalonné de contacts espacés à 10 ou 20 mètres, afin qu'on puisse déterminer la vitesse moyenne avec laquelle la draine franchit lesdits espaces. La vitesse *réelle* du passage sur chaque point de la voie, c'est-à-dire le parcours franchi dans chaque seconde, reste inconnue, tandis que notre procédé enregistre les vitesses en question d'une manière mécanique, sur la bande de papier ; nous arrivons à discerner les fractions les plus infimes du mouvement, de sorte que les vitesses détaillées peuvent passer pour identiques. Et, comme la régularité parfaite de la marche n'a pas, pour nous, cette grande importance qu'elle a, lorsqu'on calcule les vitesses d'après chaque dizaine de mètres de parcours, nous pouvons nous contenter de vagonnets poussés à bras d'homme avec une régularité approximative, tandis que les autres procédés recourent à des moteurs coûteux pour obtenir la régularité requise du mouvement.

Notre procédé d'enregistrement du mouvement d'une manière mécanique présente, sur les autres procédés, outre la différence énorme des frais d'installation et de conservation, l'avantage d'une économie considérable de temps. Tandis que les autres procédés exigent qu'on franchisse la voie entière de soixante-dix à quatre-vingt fois pour obtenir les données relatives à toutes les vitesses depuis la minima jusqu'à la maxima, nous n'avons qu'à varier les vitesses de marche chemin faisant, pour que deux ou trois tours nous fournissent assez de données, attendu que nos bandes de papier portent les parcours et les nombres de tours qui correspondent à chaque seconde.

L'enregistrement des données s'opère exclusivement par les procédés graphiques. Nous avons abandonné l'ancienne habitude de placer les particularités des tours d'ailette sur le lit de Procuste d'une formule mathématique, car nous savons que l'équation giratoire d'un moulinet qui a accompli quelques centaines de milliers de tours et qui a passé par toutes sortes de vicissitudes, ne saurait être exprimée par une simple relation mathématique ; la rotation d'un moulinet, surtout dans les eaux de petite vitesse, procède non pas seulement de la forme et des dimensions de l'ailette, mais aussi d'entraves qui surgissent dans des instruments d'un usage fréquent, entraves qu'il est d'autant plus difficile à préciser et à mettre en ligne de compte, qu'elles varient à chaque instant.

Après ce préambule, il suffira de dire que les données recueillies sur la bande de papier dévidée par le chronographe sont reportées sur un système de coordonnées rectangulaires ; l'un des axes correspond au nombre des tours par seconde, et l'autre à la vitesse de l'eau ; nous obtenons une série de points que nous suivons pour tracer une ligne continue ; nous nous passons de toute formule et nous utilisons cette ligne, directement, pour établir, dans les jaugeages effectifs, la vitesse qui correspond au nombre de tours de moulinet par seconde.

Dans la *fig. 10*, nous présentons la ligne représentative de l'équation giratoire d'un moulinet construit d'après le type le plus récent, celui qui porte le N^o 11/H, et nous ajoutons les données du tarage.

Le dernier type de moulinet. — A la suite des expériences continuées pendant de longues années, l'auteur du présent mémoire a construit un type de moulinet qui répond aux besoins de la science mieux que les types précédents et leur est supérieur au point de vue de la netteté de la marche.

Mais, avant de passer à la description de ce nouveau type, on doit dire un mot de l'erreur relative au rapport entre la forme des ailettes et au caractère spécial de la rotation, et exposer la signification de l'équation, respectivement de la ligne obtenue par le tarage, car c'est la seule manière de mettre en relief la nouveauté et les avantages du type en question.

On sait, au sujet du moulinet de Woltmann, que si ses parties en rotation ne subissaient pas de frottements et si les parties mortes de l'instrument ne troublaient pas les eaux, le rapport entre les tours par seconde et entre la vitesse de l'eau pouvait être représenté par une ligne droite dont voici la formule :

$$v = \beta n, \dots 1.$$

Nous aurions affaire à une ligne qui passe le point initial du système de coordonnées et forme, avec l'axe de l'abscisse, l'angle ω dont la tangente géométrique figurerait le pas de l'ailette hélicoïdale ; dans l'ailette plane, la tangente serait proportionnée à l'inclinaison entre la surface de l'ailette et le fil de l'eau. La ligne oa de la *fig. 11* nous présente cette forme.

Mais, en raison des frottements qui se produisent entre les parties mouvantes, cette ligne ne passera jamais par le point initial des coordonnées, mais elle retranchera de l'ordonnée — laquelle figure la vitesse — l'abscisse oz dans une mesure telle, que la vitesse d'eau correspondante suffise à vaincre le frottement et que l'ailette se remette en mouvement.

Si cette ligne est droite, sa formule s'établit ainsi :

$$v = \alpha + \beta n, \dots 2,$$

c'est-à-dire que la ligne partira de l'axe ordonné dans la hauteur oz et, à la suite de l'influence du

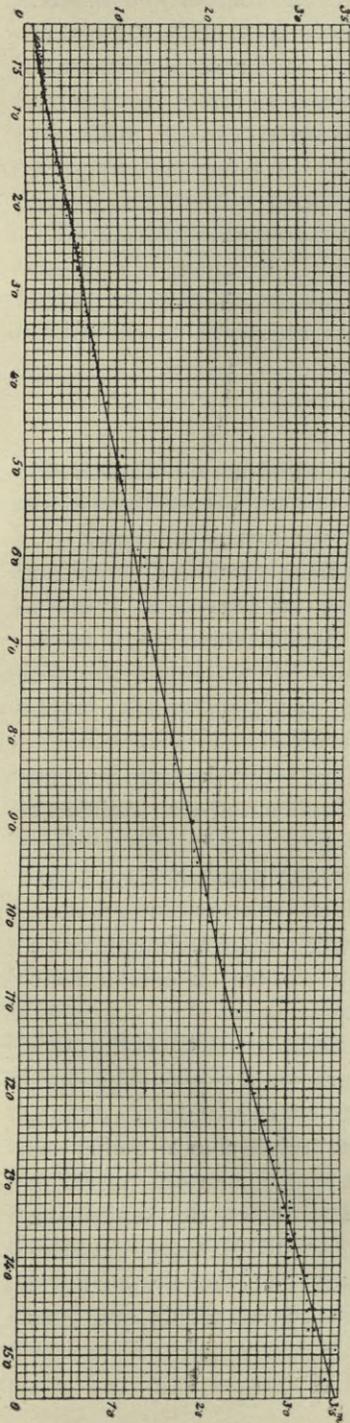


Fig. 10.

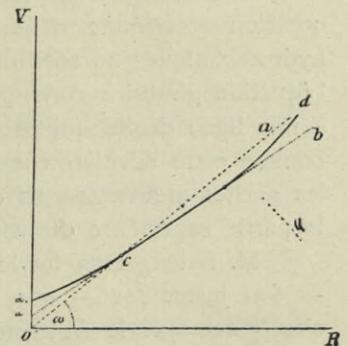


Fig. 11.

frottement, s'élévera avec une inclinaison qui sera en tout cas inférieure à la précédente.

Mais, de même qu'il n'existe pas d'ailette, dont les parties mouvantes ne produisent pas de frottement, — on ne saurait non plus imaginer que ce frottement produira le même effet, quelle que soit la vitesse d'eau qui fait tourner le moulinet.

Si nous avons affaire à un courant de vitesse modérée ($0^m, 15$ à $1^m, 20$), la force vive du moulinet suffit pour vaincre, pour équilibrer les forces se produisant sous forme de frottement. Dans les eaux de vitesse infime, les forces résistantes l'emportent sur les forces motrices, et cela non pas en relation directe, mais en relation de deuxième puissance par rapport à la diminution de la vitesse ; au point de vue de l'équation représentative, cela s'exprime de la façon suivante : à partir de c , c'est-à-dire si la vitesse descend au-dessous de $0^m, 5$, la partie inférieure de la ligne s'incline dans un angle de plus en plus rétréci vers l'ordonnée, et ce n'est plus αx , mais αx_1 qui devient l'abscisse. Maintenant la ligne représentative de la rotation se compose déjà de deux parties de l'abscisse αc et de la ligne droite cb , et la ligne aura la formule mathématique suivante :

$$\left. \begin{array}{l} \text{de } \alpha_1 \text{ à } c \quad v = \alpha_1 + \beta_1 n + \gamma n^2 \\ \text{de } c \text{ à } b \quad v = \alpha + \beta n. \end{array} \right\} \quad (3)$$

C'est de la précision de la construction du moulinet ainsi que de la mode de fixation du moulinet sur le vagonnet, que dépend la longueur sur laquelle la section cb de la ligne restera droite. Il n'y a guère de moulinet sur lequel la vitesse de 3 à 4 mètres ne produise pas une déviation, telle que la ligne s'incline de nouveau vers l'ordonnée (cd), ce qui signifie que, avec une vitesse supérieure à 3 ou 4 mètres, le nombre des tours n'augmente plus en raison de l'accroissement de la vitesse, mais reste de plus en plus en arrière, de sorte que l'équation giratoire des moulinets communs devrait être figurée dans la pratique par trois lignes, savoir par une ligne droite et par deux courbes de types différents.

On a compris depuis longtemps que cette particularité des instruments en question occasionne, dans le calcul de tarage, des difficultés, et les ingénieurs hydrotechniques se sont évertués à tour de rôle à imaginer un moulinet dont l'équation giratoire correspondrait à une ligne aussi simple que possible, c'est-à-dire à une ligne droite qui passe par le point initial du système de coordonnées. Mais, comme cette dernière condition suppose l'élimination complète des frottements entre les parties mouvantes, ils ont cherché une ligne qui reste droite, du moins dans la partie supérieure des vitesses supérieures.

M. Baumgarten fut le premier à s'occuper de la question en 1847, et il trouva — fort justement — que, si la ligne s'incline en haut lorsque la vitesse augmente, c'est parce que le frottement et la résistance augmentent en raison de la vitesse, de sorte que, dans les courants forts, les moulinets font relativement moins de tours que dans les eaux calmes. A la suite de ce résultat M. Baumgarten construisit des ailettes hélicoïdales à la place des ailettes planes du moulinet de Wolftmann.

Plus tard (en 1877), un ingénieur hongrois, M. Eugène de Kvassay, actuellement chef de la Direction nationale du Service des Eaux en Hongrie, étudia la question à son tour (*). Comme point de départ, il releva ce fait acquis que, avec

(*) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1877, 1^{er} sem., p. 236.

des parcours égaux, le nombre des tours augmente en raison de l'accroissement de la vitesse et que cette augmentation peut arriver à un point tel, que le centre de la pression exercée sur les ailettes marche avec une plus grande vitesse que l'eau même. Et, comme ce phénomène ne peut être suffisamment expliqué ni par le frottement ni par la résistance, ni encore par la force centrifuge, M. de Kvassay est arrivé à en chercher la cause *dans le déplacement du centre de pression*. Les études poursuivies dans cette voie aboutirent à la thèse suivante : Le centre de pression des ailettes planes ne se déplacera point, lorsqu'on remplira la condition $\frac{r^2}{r_1^2} = \frac{x}{x_1}$, équation dans laquelle r et r_1 représentent les distances entre les arêtes intérieure et extérieure des ailettes et le centre de rotation, x et x_1 , la largeur de la palette sur les points ayant les distances r et r_1 . Traduite en langage vulgaire, l'équation signifie que les palettes seront taillées dans la forme d'une parabole dont le sommet se trouve dans l'axe de rotation de l'ailette, l'axe de la parabole allant dans le sens des rayons. Pour les palettes en torsade, l'étude aboutit à l'équation que voici :

$$\frac{v}{v_1} = \frac{\text{ang } \alpha}{\text{ang } \alpha_1},$$

cela veut dire : la surface des palettes doit être telle que le pas de l'hélice augmente avec le rayon.

L'auteur de la récente fut chargé par la Section hydrographique de modeler en cire une ailette conforme à cette dernière équation, dans les dimensions habituelles et en maintenant la forme en usage : il reproduisit ce modèle, par la galvanoplastie, dans une ailette hélicoïdale, et il trouvait que sa ligne giratoire se maintenait dans une ligne droite sur un bien plus long parcours que les instruments dont la construction n'était pas conforme à la précédente équation.

Aussi les ailettes du moulinet que nous allons décrire sont-elles construites conformément à cette équation.

Mais l'équation de cette ailette ne continue pas moins à présenter une inclinaison en haut, lorsque la vitesse d'eau dépasse la mesure normale, ce qui dénote l'influence perturbatrice de quelque circonstance, autre que le déplacement du centre de pression. Le remous et le mouvement tourbillonnaire des eaux, qui se produit visiblement dans les courants rapides, qui constitue, d'après quelques ingénieurs, une nouvelle cause des phénomènes en question, contribue, certes, beaucoup à entraver la rotation, mais ceci provient plutôt des agrès que de la forme des palettes, et une simple modification de la construction suffirait pour atténuer cette influence.

Le principal obstacle qui se produit avec les vitesses accélérées réside, à mon avis, dans la surface avec laquelle *les arêtes antérieures des palettes et les bras des ailettes interceptent les eaux*. Les ailettes hélicoïdales du moulinet Woltmann sont toujours coupées dans un plan perpendiculaire au fil de l'eau. Cela donne deux ou trois facettes dont la largeur dépend de l'épaisseur de la matière (*ab* et *cd* dans *fig. 12*) et qui, de même que les rayons, arrêtent les filets d'eau. Si le courant est faible, ce phénomène ne tire pas trop à conséquence, car les filets d'eau arrêtés reprennent, après une légère déviation, leur chemin, et cèdent leur place aux filets suivants. Mais, à mesure que la vitesse du courant augmente, le

moulinet avance de plus en plus rapidement, dans l'eau dormante ; il tourne de plus en plus vite, la surface formée par les arêtes et les bras de l'ailette s'accroît, et finalement c'est un fond de cylindre qui est opposé à l'eau. La conséquence en est qu'il se forme, en amont du moulinet, une masse d'eau conique, dont les éléments ne sont pas tout à fait immobiles, mais avancent avec une vitesse de beaucoup inférieure à celle que nous leur attribuons, en raison de la marche du moulinet. En vertu de cette explication du phénomène si fréquemment observé, l'auteur a construit le type de moulinet à ailettes complètes, c'est-à-dire il rallongea les ailettes jusqu'à l'axe, à l'instar du moulinet de Baumgarten, afin que l'épaisseur des ailettes hélicoïdales coupées en rectangle ne puisse pas former une surface résistante ; les palettes ont été effilées de manière à ce qu'elles forment, pendant la rotation, un parabololoïde dont les dimensions sont établies en raison de la vitesse maxima du courant que le moulinet aura à jauger. A la suite de ces dispositions, l'ailette affecte la forme d'un foret, et la masse dans laquelle elle pénétrera lui offrira beaucoup moins de résistance qu'aux ailettes coupées en plan perpendiculaire au fil de l'eau.

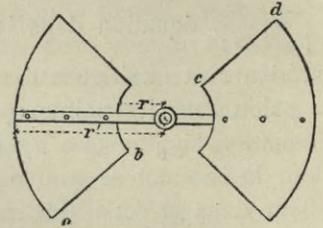


Fig. 12.

Nous présentons cette ailette, resp. le moulinet, au tiers de la grandeur naturelle, dans la *fig. 13*. On voit que, avec cet instrument, tout filet d'eau qui arrive dans sa sphère touchera forcément d'abord les ailettes, c'est-à-dire les parties motrices. Les parties mortes qui font hausser les eaux devant les autres moulinets, — notamment les rais des ailettes, la tête de l'axe, ou le coussinet qui précède les ailettes, le manchon qui enveloppe les ailettes de certains moulinets et qui est destiné à diriger les filets d'eau, la plaque qui sert de support à la roue de comptage, etc., — sont absolument éliminés dans notre nouveau type.

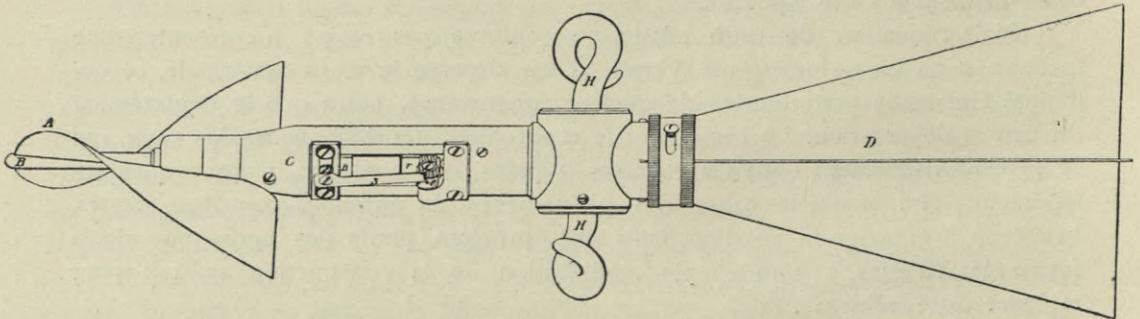


Fig. 13.

Les ailettes A, qui vont jusqu'à l'arête et sont pointues à la partie inférieure, constituent à peu près l'unique surface qui puisse intercepter les eaux. L'arbre B, en métal «Delta», est placé dans un tube de 3 centimètres de diamètre et tourne, en tête, entre des billes d'acier et, en queue, sur un fil d'acier. Le tube qui recouvre l'arête a des fentes latérales auxquelles on fixe la roue dentée de la vis sans fin et le ressort (s) qui transmet le courant électrique. La roue dentée, qui affecte la forme d'une rosace à dix bras, est reliée à un disque d'ébonite muni d'un clou (e) en platine, qui marque à volonté tous les tours ou les dizaines de tours ; dans

le premier cas, le ressort se trouve sur la rosace ; dans le second cas, il s'appuie sur le disque d'ébonite. Le gouvernail (D), en forme de croix, force l'ailette à se mettre dans le fil de l'eau ; si la descente s'opère au moyen d'un câble chargé de plomb, on se sert du double crochet H ; si on préfère fixer le moulinet à une barre de fer, on enlève le crochet et on rattache le moulinet à la barre de fer.

Les ailettes sont montées sur l'arbre de manière à pouvoir être changées, afin qu'on puisse, sur les points à vitesses différentes, employer sur un même moulinet des ailettes à pas divergents.

Ce type de moulinet se distingue non seulement par le calme visible de sa marche, mais encore par cette qualité, appréciable au plus haut point, que les herbes, racines et filaments, entraînés surtout lors des crues, ne peuvent s'accrocher à l'axe de l'appareil et en entraver le mouvement, comme c'est le cas des appareils à rayons, qui s'arrêtent à chaque instant et qu'il faut fréquemment sortir de l'eau pour les nettoyer.

En décrivant le moulinet que l'auteur a construit d'après les principes ci-dessus exposés, il ne saurait passer sous silence que, sans avoir eu de rapport avec lui M. E. Haskell, ingénieur des Côtes et du Service géodésique des États-Unis, a créé un type de moulinet identique ; le rédacteur qui en donne la description (*) dit : » Il est indiscutable que c'est le meilleur type possible parmi les moulinets de jaugeage. «

C) MESURAGE DE LA PENTE DE NIVEAU.

Tout ingénieur hydrographe sait par expérience, que nous sommes bien rarement dans la situation de pouvoir déterminer le débit des rivières par des jaugeages directes. La plupart du temps ce sont les frais considérables qui nous empêcheront toujours de fixer les masses d'eau, que toutes nos rivières débitent à toutes hauteurs. Très souvent c'est l'impossibilité physique, qui nous en empêche ; il arrive même des fois que nous devons déterminer le débit d'un cours d'eau qui n'existe encore qu'à l'état de projet.

Nous savons que, dans tous ces cas, nous devons recourir au procédé indirect, calculer le débit avec des formules dans lesquelles la vitesse moyenne de l'eau est donnée, plus ou moins exactement, dans la superficie et périphérie de la section et de la *pente du niveau*. Mais nous savons aussi qu'il n'y a encore guère de formule qui nous donnerait le débit réel d'une section, en toutes circonstances, avec la précision voulue, car les résultats obtenus dans les sous-sections irrégulières et surtout dans le lit majeur, sont peu précis, souvent tout-à-fait absurdes. La précision du procédé dépend surtout du choix utile des éléments invariables des formules, éléments qu'il faut déterminer dans la pratique. Or, les ingénieurs hydrographes s'accordent à constater que ces éléments stables demandent à être déterminés pour chaque rivière à part — maintes fois, à part même pour les diverses sections d'une seule et même rivière — et cela par des mesurages directs.

Mais ce qui est plus important encore, c'est la *pente de niveau*, car elle influe sur le résultat avec une force de deuxième puissance. On peut affirmer que

(*) *Eleventh Annual Report of the United States geological Survey, Washington, 1891.*

les formules ne suffisent pour le calcul du débit, que dans les canaux artificiels, où la pente de niveau est relativement facile à relever. Dans les rivières où le manque d'outils et de méthodes pratiques ou la difficulté de l'accès empêchent le relèvement de la pente de niveau qui détermine le mouvement de l'eau, le calcul n'est qu'un tâtonnement, même en ayant recours aux meilleures formules.

En déterminant la pente de niveau, il importe de viser un autre but encore. On a souvent constaté, que — avec la même hauteur d'eau — la vitesse et, par conséquent, le débit sont plus grands à l'époque de crue qu'ils ne sont pendant la baisse et qu'ils augmentent en raison de la force de la crue. (Le fait a particulièrement frappé les esprits dans les jaugeages du Mississippi opérés par Humphrey-Abbot, où la vitesse et le débit en temps de crue ont été de 30⁰/₀ supérieurs à ceux relevés en temps de baisse (voir aussi notre tableau fig. 8). Le phénomène, très naturel d'ailleurs, s'explique par le fait qu'en temps de crue nous avons affaire à la partie antérieure de la vague, où la pente est beaucoup plus forte — c'est précisément ce qui cause la crue — tandis qu'en temps de baisse nous nous trouvons en arrière de la vague, là où la pente est beaucoup plus faible que dans la partie culminante ; quand c'est la vague culminante qui passe, l'eau n'accuse ni crue ni baisse.

On comprend dès lors que les débits qui correspondent à de diverses hauteurs, ne peuvent être rapportés raisonnablement qu'au niveau de culmination.

Or, il est absolument impossible d'opérer, toujours et exclusivement, en eau culminante les nombreuses opérations requises pour mettre en lumière toutes les conditions de débit de quelque rivière.

Il ne reste donc qu'une chose à faire, c'est d'opérer les jaugeages au moment, où l'on constate la hauteur d'eau voulue, sans se préoccuper, si l'eau monte ou baisse — et de rapporter ensuite les résultats, d'une manière quelconque — au niveau stable.

C'est la solution de cette question que nous avons visée, en attachant à la constatation de la pente de niveau une importance telle, que nous avons chargé un nouvel outillage et une nouvelle méthode, qui diffèrent du tout au tout de l'ancienne méthode.

Nous venons de mentionner ce principe hydrodynamique que la vitesse moyenne de l'eau augmente, avec une force de deuxième puissance, en raison de la pente de niveau et que la pente est plus forte en temps de crue qu'au moment de culmination et qu'à ce moment-ci elle est plus forte qu'en temps de baisse. On comprend qu'il doit y avoir un certain rapport entre la variation du niveau et la pente du niveau. Si nous arrivons à déterminer ce rapport, le problème si ardu du mesurage de la pente se réduit à une opération bien plus facile et bien plus précise.

Afin d'obtenir le plus grand nombre possible de données se rattachant à ce problème, nous nous sommes appliqué à mesurer constamment et avec la plus grande précision la pente de niveau dans la section jaugeée, en vue de joindre à la figure qui représente les variations du débit, de la vitesse et de la hauteur, une autre figure reproduisant les variations de la pente de niveau.

Nous avons, à cet effet, placé à 100 mètres en amont et en aval de la section jaugeée, des échelles d'eau qui permettent de préciser la hauteur du niveau

à moins d'un $\frac{1}{2}$ mm. près et sur ces échelles nous avons observé l'eau pendant toute la durée du jaugeage.

Avec les données ainsi recueillies nous avons calculé la pente de niveau heure par heure et en les inscrivant en coordonnées, nous avons obtenu la courbe des variations de pente, courbe qui nous fournit une base tout-à-fait claire et précise pour l'étude des questions hydrographiques.

Les échelles d'eau employées pour l'observation constante de la pente de niveau (*fig. 14*) sont construites comme suit.

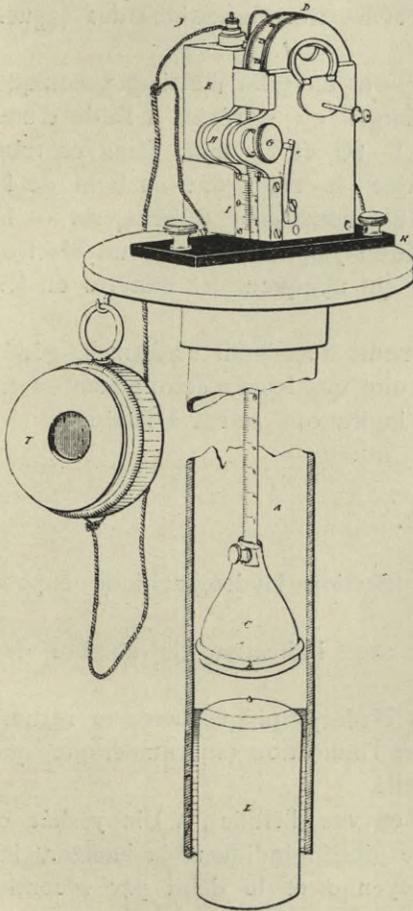


Fig. 14.

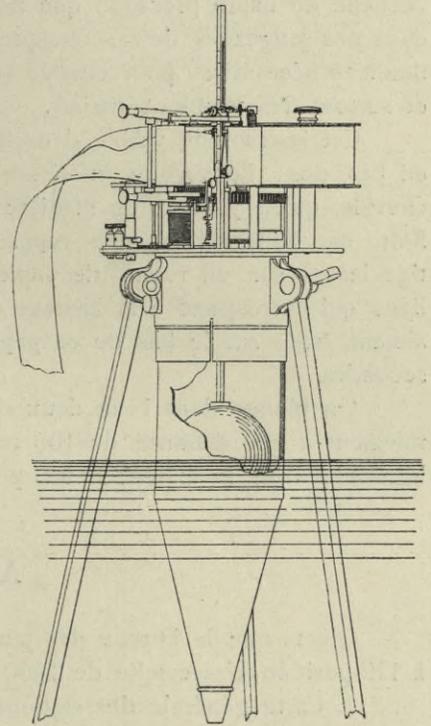


Fig. 15.

Un pieu est solidement enfoncé dans le lit ; nous y fixons le tube de feA. ayant 5 cm. de diamètre ; l'eau y entre par une ouverture d'un millimètre, ce qui, d'après nos expériences, est assez étroit pour que le jeu des vagues, produit par les bateaux ou les vents ne vienne pas altérer le niveau d'eau établi dans le

tube ; l'ouverture est, d'autre part, assez large, pour que le niveau théorique de la section s'établisse dans le tube aussi. Sur l'eau enfermée dans le tube nous voyons flotter un cylindre métallique *L*, dont la pointe de platine marque la hauteur à observer. L'observation se fait à l'aide d'un ruban d'acier divisé en millimètres ; à l'aide de la vis micrométrique *G* placée, sur fond isolé, sur l'orifice du tube, nous faisons descendre le ruban dans le tube jusqu'à ce que le petit boulet de platine fixé au bout du ruban *C*, touchera la pointe de platine flottante.

Le téléphone *T.* annonce ce moment à l'observateur, qui peut, en tournant la vis micrométrique, régler le contact électrique avec une précision extraordinaire. Et comme il s'agit surtout de rapporter la pente de niveau à un moment précis, il ne suffit point de préciser la hauteur du niveau, mais il faut encore observer le temps avec la même précision, car c'est la seule manière pour que les observations constantes faites sur les deux échelles fournissent des données tout-à-fait précises.

Nous devons, enfin, mentionner un autre instrument, — qui est similaire à l'échelle de haute précision que nous venons de décrire — que nous employons dans nos jaugeages depuis quelques années. C'est le *lymnographe* qui fournit les données nécessaires pour étudier la propagation et les transformations des vagues et surtout des vagues solitaires.

Cet instrument, visible dans la fig. 15. comporte un tube métallique, conique en bas, dont l'ouverture inférieure peut être élargie ou rétrécie, à l'aide d'une cheville, qu'on y visse, de manière à varier de 1—20 et 25 mm. Dans ce tube flotte une balle sur laquelle repose une légère tige; le style fixé au bout de la tige inscrit sur un ruban de papier — mû par un mécanisme d'horlogerie — la ligne qui correspond à la hauteur de l'eau; un autre style, actionné par un électro-aimant, trace sur le bas de ce papier les signes, qui marquent les minutes ou les secondes.

On plonge dans l'eau deux de ces instruments tout-à-fait uniformes, généralement à une distance de 100 m.; il va sans dire que leurs électro-aimants sont introduits dans le même circuit, pour que leurs indications soient à l'unisson.

A n n e x e.

Objets que le bureau des jaugeages de la Section Hydrographique expose à l'Exposition Universelle de 1900 à Paris.

1. Carte générale des stations de jaugeage avec indication du nombre des jaugeages opérés.

2. Le Registre de Jaugeages de la Section Hydrographique, avec le résumé de tous jaugeages opérés dans le pays entier, et l'indication tant numérique que graphique des résultats y obtenus. Un volume relié.

3. Résultat de séries de jaugeages opérés, en vue d'études, à Dinnyeshát et Tisza-Püspöki, distantes à 85 kil. l'une de l'autre (dessin indiquant la hauteur, les variations et les pentes du niveau, la vitesse moyenne et le débit par seconde-Tableau mural.

4. Pont flottant employé pour les jaugeages, modèle ($\frac{1}{5}$ de grandeur naturelle), complètement outillé, destiné à faire voir la méthode dite »détaillée«.

5. Outillage simplifié pour exécuter les jaugeages d'après la méthode, dite »détaillée« avec des petites embarcations (grandeur naturelle).

6. Draisine employée à déterminer l'équation giratoire des ailettes du moulinet ($\frac{1}{10}$ de grandeur naturelle).

7. Le moulinet »H« (le type le plus récent) employé par la Section Hydrographique (grandeur naturelle).

8. Trois moulinets précédemment employés par la Section Hydrographique (grandeur naturelle).

9. Échelle de précision employée pour le relevé des pentes de niveau (grandeur naturelle).

10. Lymnographe de précision employé pour observer la vitesse de propagation et la configuration de la crue.

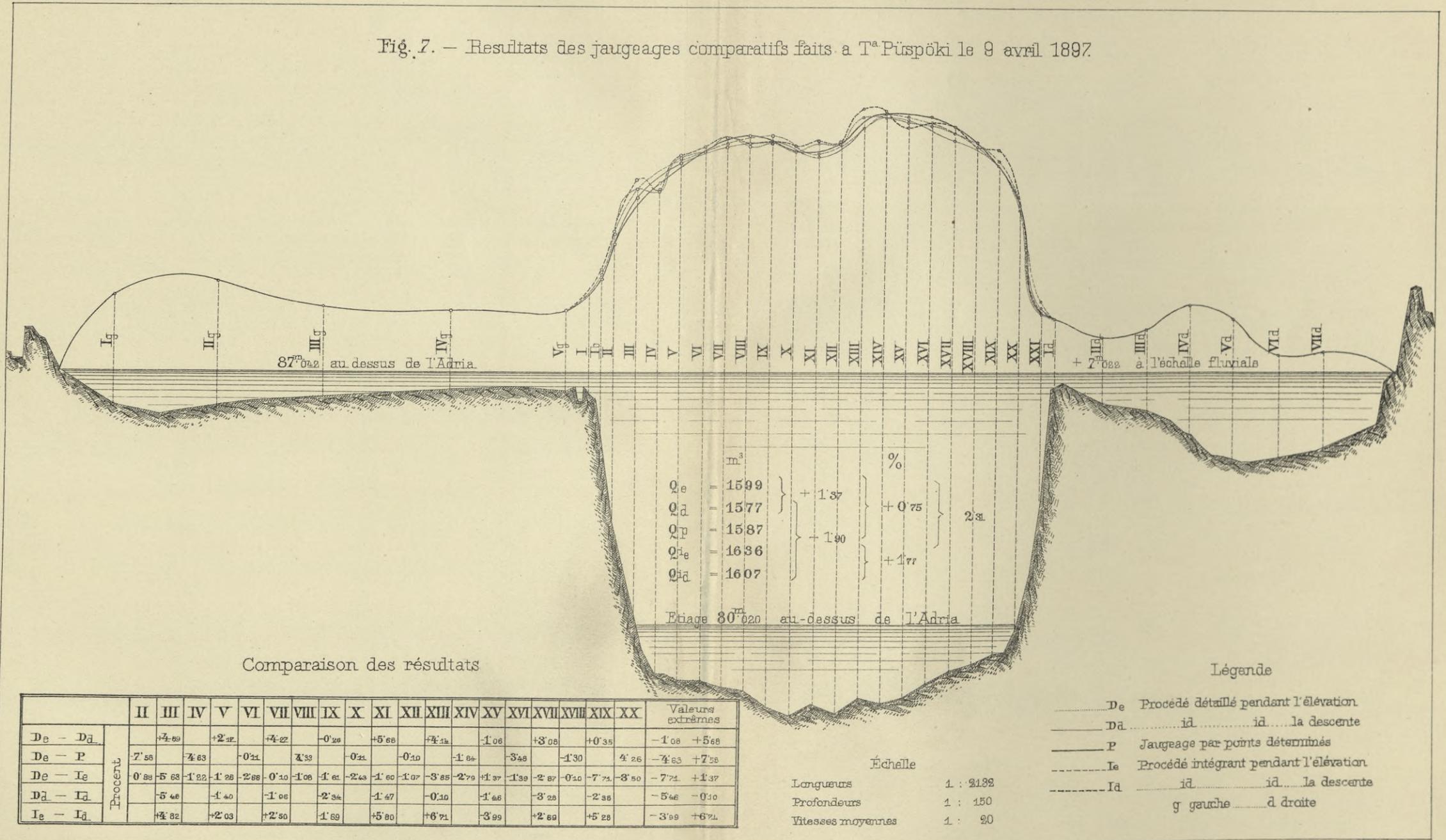
11. Échelle électrique, signal et indicateur, employés pour signaler à distance a hauteur d'eau dans les réservoirs.

Tous ces appareils et instruments ont été construits, — avec l'approbation de M. Joseph *Péck*, conseiller de section chef de la Section Hydrographique — par M. Samuel *Hajós*, ingénieur-en-chef royal, chargé de la direction des jaugeages.

Budapest, au mois de décembre 1899.

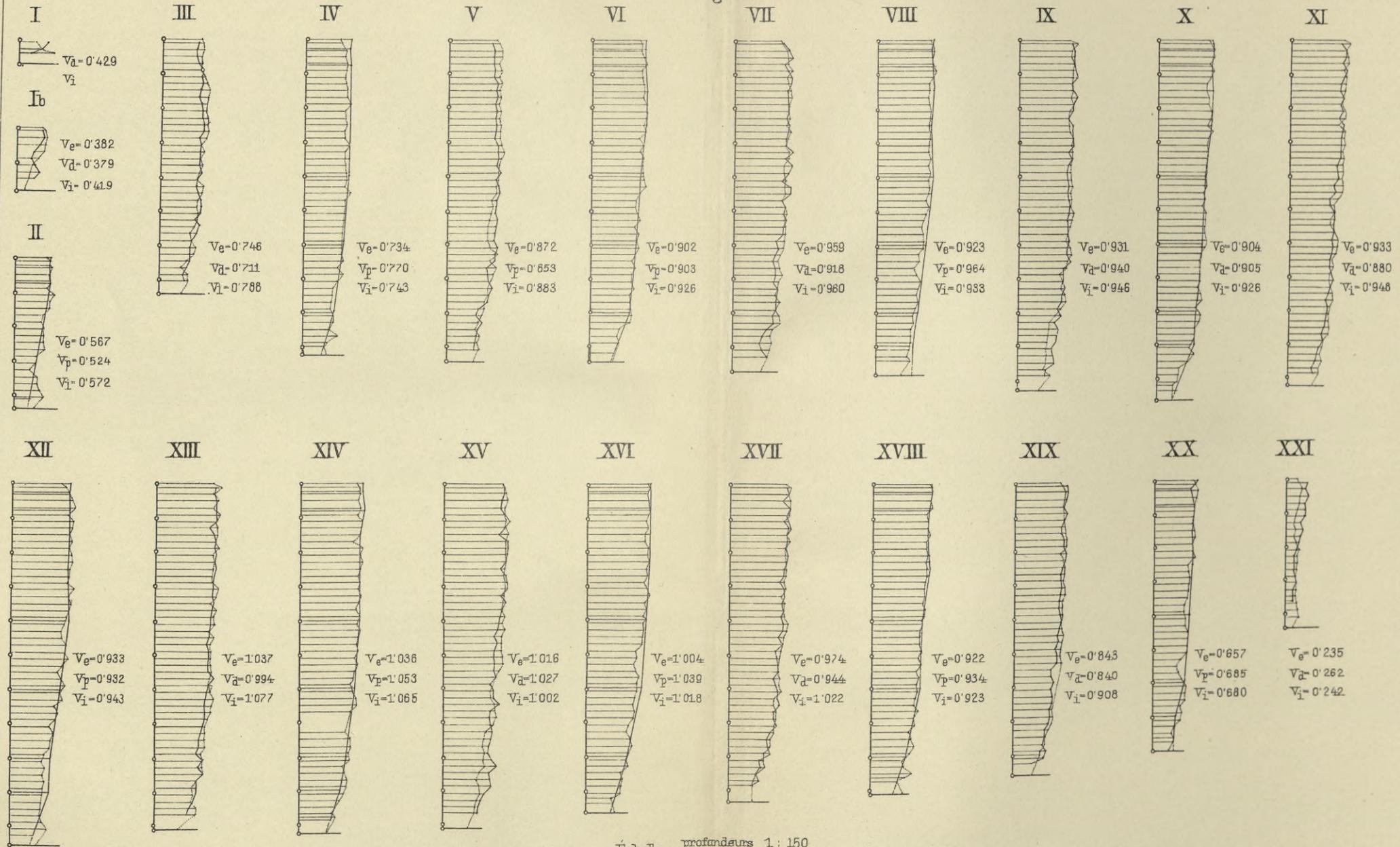
L'ETAT ACTUEL DES JAUGEAGES EN HONGRIE.

Fig. 7. — Resultats des jaugeages comparatifs faits a T^aPüspöki le 9 avril 1897.



L'ETAT ACTUEL DES JAUGEAGES EN HONGRIE.

Fig. 7 bis



Echelle : profondeurs 1 : 150
vitesses 1 : 100

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307062

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307063

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316027

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307064

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316028

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307065

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316029

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307066

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316030

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307067

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316031

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307068

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316032

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307069

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316033

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305513

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

~~BIBLIOTEKA GŁÓWNA~~

~~III-17684~~
L. inw.

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.