



MESURE DES DÉBITS DE CRUE DE FAIBLE FRÉQUENCE DANS LES PAYS D'OUTRE-MER

Communication
présentée au Comité technique
de la Société Hydrotechnique de France
le 20 mars 1969

PAR J.A. RODIER *

Que l'on emploie, pour l'évaluation du débit maximal que doit supporter un ouvrage, l'extrapolation d'une courbe de distribution ou l'estimation d'une limite supérieure (méthode du P.M.P.), il est indispensable de connaître aussi bien que possible le débit correspondant au plus fort niveau observé sur la rivière faisant l'objet du projet. Dans le premier cas, il s'agit de préciser sur la courbe de distribution la position des points les plus élevés; dans le second, on obtient une sorte de recouvrement qui n'est pas superflu, étant donné les incertitudes liées à l'emploi de méthodes telles que celles de la précipitation maximale probable: on obtient, en effet, un chiffre *certainement* plus faible que la limite inférieure du débit à considérer (sauf si la crue du projet doit être de fréquence pas trop faible: décennale par exemple). Un exemple est fourni par le Konkouré en Guinée où le jaugeage du 31 juillet 1955 par M. Roche, pour 2 650 m³/s, a permis d'éviter une erreur de 80 % sur la crue décennale et bien davantage sur la crue du projet. Plus récemment, des erreurs de l'ordre de 100 %, toujours pour la fréquence décennale, ont pu être évitées grâce à des jaugeages de grandes crues. Le gain de précision ainsi acquis est donc bien supérieur en général à celui qui résulterait d'un raffinement dans l'ajustement de la « bonne » distribution statistique.

C'est pourquoi, dans tous les organismes ayant à procéder à des études ou des recherches hydrologiques avec un programme à assez long terme, on doit attacher la plus grande importance aux mesures à faire lors des grandes crues ou des crues

exceptionnelles. Normalement, tout service exploitant un réseau devrait prendre *à l'avance* des dispositions pour faire ces mesures dans les moins mauvaises conditions possibles, car l'improvisation est dangereuse dans un tel domaine, d'autant plus que les accès eux-mêmes ne sont pas toujours faciles. Ce dernier point est peut-être moins gênant outre-mer où, *a priori*, on est habitué à des conditions de déplacement très difficiles dès le début de la saison des pluies; on a donc fini par s'y habituer.

Depuis vingt ans, en effet, les hydrologues de l'ORSTOM et de l'EDF ont cherché à saisir au passage les crues exceptionnelles, stimulés par les ingénieurs des projets qui tenaient à avoir des chiffres sérieux pour leurs barrages. Dans cette entreprise difficile, on a enregistré des succès et des échecs mais il peut être intéressant de donner quelques indications sur les méthodes employées.

Au début, heureusement, il s'agissait de fleuves au régime bon enfant avec des vitesses n'atteignant pas 3 m/s, et même souvent inférieures à 2,50 m/s. Il n'y avait pas de pont, on jaugeait depuis un bateau, canot métallique au début puis canot pneumatique plus sûr, qui se déplaçait le long d'un câble; le problème le plus difficile était alors la traversée du câble avec des moyens insuffisants car en crue, s'il trempait trop longtemps dans l'eau, il était vite transformé en boudin d'herbes et il était souhaitable que les arbres descendant le courant soient très rares.

Un des premiers jaugeages de crue de ce type a été réalisé par C. Auvray le 21 septembre 1948 sur le Konkouré pour 1 030 m³/s. L'hydrologue et son boy n'ont pas pu, après une journée d'efforts, traverser le câble: ils n'avaient pas de moteur hors-bord, mais heureusement il y avait par extraordi-

* Conseiller scientifique à EDF (IGECO), Chef du Service central Hydrologique de l'ORSTOM.

naire un pont, de sorte que le jaugeage a pu être fait depuis ce pont. Malgré les mauvaises conditions hydrologiques dans ce cas, la précision n'est pas trop mauvaise. On a vite fait de gros progrès dans la traversée du câble; pour 200 m il n'y a pas en général de trop grosses difficultés, pour 400 m elles sont sérieuses; la limite extrême est 600 m dans des conditions très favorables.

Le câble acier 4 mm, qualité aviation, est excellent pour ce travail; le câble de nylon est plus facile à utiliser, mais sa longueur n'est pas constante, d'où des erreurs dans la position des verticales et sur la largeur de la section, si on a l'imprudence de ne pas la déterminer par des procédés topographiques.

Les grandes crues de 1955 en Afrique tropicale ont rencontré des conditions favorables : méthodes de mesures au point, hydrologues et crédits en quantité à peu près suffisante. Il a été possible ainsi de jauger le maximum du Logone à Lai : 3 737 m³/s, maximum qui ne se produit que tous les cinquante ans. Il y avait là un problème de mesures dans les plaines d'inondation dont nous parlerons plus loin. La grande crue de 1961 sur le Chari (fréquence cinquantenaire) a également pu être mesurée à 5 cm du maximum. Plus récemment sur le Niger, en 1967, des équipes de l'ORSTOM coopérant avec le Service de l'Hydraulique du Mali ont jaugé 9 160 m³/s, maximum correspondant à une période de retour de quarante ans. Les hydrologues de Niamey ont eu plus de chance, la crue y étant de fréquence plus rare; avec 2 320 m³/s, ils ont probablement jaugé une crue centenaire à 1,5 cm du maximum. Un peu avant, en 1964 sur le Nyong, R. Lefèvre avait mesuré 551 m³/s correspondant à une crue peut-être cinquantenaire.

Pour ces crues de faible fréquence, les mesures dans les plaines d'inondation sont essentielles. Celle du 9 octobre 1955 à Lai est une des plus classiques: la plaine d'inondation avait plusieurs kilomètres; le jaugeage a été effectué le long d'une piste rectiligne, perpendiculaire au fleuve, avec un écoulement plus régulier que dans les prairies qui bordent le fleuve. Le débit dans la plaine d'inondation correspondait à 29 % du débit total. Sur le Sénégal à Matam, sur 5 200 m³/s, 28 % passaient par la plaine d'inondation le 15 septembre 1964.

On a équipé parfois des fleuves relativement calmes de stations téléphériques : par exemple sur le Kouilou où les crues sont assez rapides et où on souhaitait réaliser des jaugeages précis sans être sûr de disposer d'une main-d'œuvre experte pour la traversée des câbles. G. Hiez a mesuré ainsi 3 515 m³/s le 7 mai 1966, correspondant sensiblement à la crue décennale. Dans des cas tels que celui-ci, on élimine des incertitudes des études hydrologiques, au moins celles qui sont liées à l'imprécision des transformations de hauteurs en débits. Au-delà de 400 m de largeur, il est généralement nécessaire d'abandonner le câble; on ancre alors le bateau et on repère sa position par le cercle hydrographique à partir de balises sur les rives. C'est J. Aimé qui a adapté ce procédé à l'hydrologie sur les rivières du Congo et de R.C.A.

Dans tous les cas, les jaugeages se font avec poids de lestage et treuil. Au début, nous avons utilisé des saumons légers de 25 et 50 kg. Dans certains cas, tout l'ensemble du matériel était allégé (ba-

teaux, treuils, etc.), ce qui permettait les déplacements en pick-up Land Rover à la rigueur. Depuis, on a employé des saumons de 50 et 100 kg pour éviter des corrections d'angle de câble hasardeuses, mais avec des canots pneumatiques de 1 000 kg de charge utile, donc avec un matériel plus coûteux nécessitant des déplacements avec des véhicules beaucoup plus lourds.

Un des premiers jaugeages importants au cercle hydrographique est celui du 7 novembre 1951 sur l'Oubangui à Bangui par M. Roche. Le débit atteignait 10 200 m³/s (maximum moyen annuel) (*). La difficulté la plus importante résidait dans la réalisation d'une portière suffisante avec les petits canots métalliques dont l'opérateur disposait. Elle avait été résolue à grand renfort de fûts d'essence de 200 l, le tout rappelant assez bien un radeau de naufragé. Bien entendu, le Congo a tenté nos hydrologues et une section avait été balisée dans le couloir (1 500 m de largeur) à l'amont du pool. Mais, pour ce jaugeage, un bateau-type baliseur était nécessaire avec possibilité de lever l'ancre rapidement pour ne pas perdre trop de temps pour le passage d'une verticale à l'autre. Il n'a été possible d'obtenir le prêt d'un tel bateau qu'en 1955. Entre-temps, les jacinthes d'eau avaient envahi le fleuve et à chaque station du bateau, une véritable île se formait autour et s'accrochait à l'électro-câble; le remontage des 100 m de chaîne d'ancre, dans ces conditions, a posé des problèmes très difficiles. Bref, il a été nécessaire de se contenter de prendre, pour ce jaugeage du 28 octobre 1955, un point de « surface » (à 2 m de profondeur) pour quinze verticales. Le saumon employé pesait 120 kg; la vitesse maximale en surface était de 3,25 m/s. La vitesse moyenne en surface était de 1,85 m/s. Le débit calculé était de 49 000 m³/s.

Il aurait été intéressant d'étudier la forme des « paraboles » de vitesse, malheureusement ceci n'a pas pu être fait. Depuis, les Belges ont fait nettement mieux.

Cependant, ce chiffre élevé ne doit pas nous faire perdre de vue qu'il n'y a pas un rapport direct entre la grandeur des débits à mesurer et les difficultés que présente le jaugeage. Malgré tous les efforts déployés dans les pays à cyclones et en Afrique du Nord, les performances réalisées ont été infiniment moins brillantes que celles qui viennent d'être présentées. On a bien pu effectuer un bon nombre de jaugeages dans le bassin supérieur de l'Ikopa pour des fréquences d'ordre décennal lors des cyclones de 1954 et 1959. Mais ces réussites de H. Pelleray et M. Aldegheri, remarquables par ailleurs, ne concernaient que d'assez petits cours d'eau. Sur l'Ikopa et la Betsiboka, on ne pouvait guère dépasser 1 750 m³/s. Pour des vitesses supérieures à 3 m/s, il est non seulement très difficile mais dangereux pour les opérateurs de faire les mesures depuis un bateau. Il fallait soit utiliser des flotteurs, soit aménager de coûteuses stations téléphériques, en attendant que les jaugeages chimiques permettent de mesurer les gros débits. Nous avons donc perfectionné la méthode des flotteurs, d'abord en repérant leur position dans le profil en travers, ce

(*) Depuis, R. Chartier a jaugé 14 000 m³/s, P. Merlen 13 500 m³/s sur l'Ogooué en 1961.

qui permet de tracer la courbe des vitesses superficielles, ensuite pour tous les débits ayant fait l'objet de jaugeages réguliers dans la même section, en déterminant la courbe du rapport entre la vitesse superficielle moyenne et la vitesse moyenne dans la section; pour les grands cours d'eau (plaine d'inondation exclue), ce rapport tend vers 0,95. Sur le plan de l'appareillage, on a installé le téléphone entre les deux bases de mesures, on a utilisé des flotteurs lumineux pour les jaugeages de nuit, et bien d'autres dispositifs plus ou moins efficaces. On a pu ainsi évaluer, sur le Mangoky, une crue de 14 200 m³/s, de fréquence peut-être plus rare que la fréquence décennale. A la Réunion, où les vagues et la difficulté de trouver un bief rectiligne assez long rendent ce type de jaugeage impraticable, on a pu tracer des courbes de vitesses superficielles dont la plupart des points, correspondant à des vitesses de 8 m/s environ, justifiaient les calculs des formules d'écoulement. Mais très souvent les lits sont très instables et, malgré l'exécution de profils en travers avant et après la crue, on connaît mal les fonds vers le débit maximal; en outre, au cours de ces crues très rapides, il est difficile de considérer l'écoulement comme ayant un caractère permanent.

Depuis 1957, grâce à des crédits fournis par des marchés d'études, il a été possible d'installer à Madagascar des stations téléphériques: on a pu ainsi jauger régulièrement 1 970 m³/s sur l'Ikopa, 2 850 m³/s sur la Betsiboka, 4 320 m³/s sur le Mangoky. Mais pour aucun de ces débits on ne dépasse encore la valeur médiane des débits maximaux annuels. Cependant ces jaugeages ont largement facilité l'extrapolation des courbes de tarage. Sur la Ménarandra par exemple, un jaugeage à 1 400 m³/s, de période de retour de trois ans environ, nous a montré que pour des débits correspondant à la crue décennale l'erreur faite jusqu'ici était de l'ordre de 100 %.

Les jaugeages chimiques nous donnent, à Madagascar, beaucoup d'espoir. On a pu jauger 2 200 m³/s sur la Betsiboka: ceci a exigé la présence de trois ingénieurs et d'un agent technique, et des quantités de précautions qui excluent actuellement son emploi par un bon agent technique dans de pareils cas. Il est très facile de faire une erreur de 20 %. Mais les recherches en cours permettent d'espérer que dans quelques années cela ne constituera plus une performance. L'application à l'Afrique du Nord est plus difficile, mais elle doit être tentée avec des moyens sérieux.

Un problème important pour les pays à cyclones consiste à se trouver sur place au bon moment, la circulation devenant vite impossible. Les hydrologues de Nouvelle-Calédonie ont résolu ainsi la question. Ils aménagent auprès de la station téléphérique un petit baraquement solidement ancré au

sol par des haubans. Ils le rejoignent dès que le cyclone est annoncé et peuvent ainsi procéder à la mesure près du maximum. C'est ainsi que sur un petit affluent de la Dumbéa, ils ont pu jauger régulièrement un débit spécifique très élevé: 187,5 m³/s pour 50 km² environ, soit 4 000 l/s km².

Revenons enfin aux difficultés résultant de la rapidité de la crue: on s'est heurté à cet obstacle dès le début de l'exploitation des bassins représentatifs. Pendant un jaugeage, les variations de hauteurs devenaient telles que le débit mesuré n'avait plus de sens. Dans certains cas particuliers, on n'est même pas sûr que la hauteur réelle correspondant au débit soit comprise entre les deux hauteurs au début et à la fin de la mesure comme l'a montré M. Henry. La courbe d'étalonnage est établie non plus pour la section mais pour chacune des bandes verticales du profil en travers ayant pour axe les verticales de mesure. La durée de mesure sur une verticale est assez courte pour que la variation de hauteur soit faible en général. En pratique, on opère de la façon suivante: on part de la verticale I près de la rive gauche par exemple; on note l'heure du début et de la fin de la mesure des débits sur cette verticale et les hauteurs correspondantes à l'échelle, puis on passe à la verticale II; on note également l'heure du début et de la fin; arrivé à la dernière verticale, la XV par exemple sur la rive droite, on repart pour la mesure sur la verticale XIV et on poursuit ainsi jusqu'à la rive gauche. On continue ainsi à faire des allers et retours jusqu'à ce que, les débits ayant baissé suffisamment, les jaugeages deviennent sans intérêt. On reprend alors tous les résultats pour une même verticale et on trace la courbe de tarage pour la bande correspondant à cette verticale, on fait de même pour les autres verticales. Pour une hauteur donnée H_M on note sur chaque courbe de tarage le débit q_M^i correspondant et le débit Q_M est égal à $\sum q_M^i$ pour i variant de I à XV dans notre exemple. Ceci exige que les verticales soient parfaitement repérées sur les passerelles ou les câbles et qu'on utilise toujours les mêmes passerelles.

Poussant plus loin cette méthode, J. Cruette a imaginé la méthode de jaugeage par points où on calcule le débit, non plus d'une tranche verticale, mais d'une position de cette tranche correspondant à un point pour lequel la mesure dure 60 s au maximum. Chaque point a sa courbe d'étalonnage. Ceci est utile pour les sections assez petites avec un nombre relativement peu élevé de points. Les jaugeages continus sont maintenant courants en Tunisie où ils sont sortis du domaine des bassins représentatifs. On voit que dans l'ensemble si, sur les rivières où les méthodes de jaugeages classiques peuvent être employées, on arrive à d'assez bons résultats, il y a encore beaucoup à faire pour les autres.

M. le Président remercie M. RODIER de son exposé qui nous fait profiter de la longue expérience des spécialistes de l'O.R.S.T.O.M. et ouvre le débat.

M. GOUBET pose les deux questions suivantes :

1. Est-il normal d'extrapoler de façon presque linéaire une courbe de tarage comme cela semble avoir été fait dans un des exemples cités ? Comment se présente en général, pour les stations actuellement tarées, la courbe de tarage en très hautes eaux par rapport à la courbe en eau moyenne ?
2. M. RODIER semble montrer une préférence nette pour des jaugeages « réguliers » au cours desquels on explore la totalité du champ des vitesses. Compte tenu de la faible durée des crues et de l'intérêt de pratiquer des jaugeages au plus grand nombre possible des stations, ne vaut-il pas mieux procéder à des jaugeages plus sombres mais plus nombreux ?

La réponse à la première question, répond M. RODIER — en s'appuyant sur plusieurs exemples — dépend beaucoup de la rivière considérée. L'influence de la plaine d'inondation est marquée très généralement sur la courbe de tarage par une nette « cassure ». Pourtant, dans les zones forestières, cette cassure peut être atténuée du fait que, même pour des niveaux élevés du plan d'eau, le lit majeur inondé ne livre passage qu'à un faible débit par rapport à celui transité par le lit mineur. Dans ces conditions, la courbe d'étalonnage est presque une droite. Au contraire, on a remarqué que, sur les cours d'eau de zone aride, à fonds de sable, la courbe de tarage présente une courbure très prononcée dans la zone des basses eaux et une courbure très faible dans la région correspondant aux crues inondant le lit majeur.

A la deuxième question, M. RODIER répond : En pays en voie de développement, le temps passé à l'exécution d'un jaugeage est souvent faible par rapport à celui nécessaire pour amener à pied d'œuvre des opérateurs parfois basés à des centaines de kilomètres de la station de jaugeage; le jaugeage régulier est dans ce cas souvent la règle; il est alors souvent avantageux de procéder à plusieurs jaugeages successifs en suivant la décrue, par exemple. Il peut ne pas être ainsi sur de petits bassins (bassins expérimentaux, par exemple) disposant de moyens permanents en matériel et en personnel; on commencera les jaugeages sur le cours d'eau ayant le plus faible bassin versant et on passera successivement aux autres; pour saisir le maximum de débits relatifs au même épisode pluvieux, on peut alors être amené à faire des jaugeages rapides et simplifiés.

M. NICOLO demande des précisions sur le mode opératoire à employer dans le cas de jaugeages de cours d'eau dont le débit varie rapidement, soit du fait des lâchures faites à l'amont (rivières navigables ou comportant des usines hydro-électriques), soit en raison de la rapidité des crues naturelles (oueds d'Afrique du Nord).

M. RODIER répond que la méthode dite des « jaugeages continus », à laquelle il a fait allusion, figurera dans un manuel actuellement en préparation, destiné aux techniciens hydrologues; il peut communiquer aux intéressés la partie du manuscrit correspondante.

M. ANDRÉ indique que, dans la quatrième séance de cette Session, il précisera les possibilités des méthodes de dilution dans les cas qui intéressent M. NICOLO. D'autre part, il rappelle qu'une méthode simplifiée de détermination de la hauteur moyenne à l'échelle pendant un jaugeage, consiste à pondérer les lectures à l'échelle faites à chaque verticale de mesure par les valeurs des débits unitaires correspondants.

Si H_i est la lecture à l'échelle faite à l'instant de la mesure du débit unitaire P_i sur la verticale I , on prend pour valeur moyenne H_m de la lecture à l'échelle correspondant au débit Q_m calculé à partir des mesures sur chaque verticale :

$$H_m = \frac{\sum P_i H_i}{\sum P_i}$$

M. THIRRIOT demande des précisions sur les jaugeages aux flotteurs et suggère de lancer ceux-ci au moyen d'une sorte de catapulte.

On s'est servi d'abord, dit M. RODIER, de bouteilles de bière peintes de diverses couleurs. Je puis vous dire qu'il faut des quantités considérables de bouteilles, puisque le nombre de bouteilles consommées par les hydrologues pendant une saison des pluies était inférieur à la consommation de la station de jaugeage; on avait dû racheter, car beaucoup de bouteilles sont perdues surtout lorsque l'on opère de nuit sous la lumière des projecteurs.

Cela oblige à éliminer dans un certain nombre de cas la méthode astucieuse qui consisterait à envoyer des flotteurs avec un corps plus ou moins immergé à des profondeurs diverses.

Un second type de flotteurs a été utilisé en Tunisie. Les flotteurs sont formés par de petits cubes de bois dans lesquels on place une pile électrique et une ampoule; on en jette à l'eau autant qu'il est nécessaire; cela ne coûte pas très cher, mais il faut en utiliser beaucoup...

M. CHARLIER (Sté Girec, Bruxelles) résume en ces termes quelques expériences des hydrologues belges :

« Je voudrais apporter quelques précisions à certains chiffres communiqués par M. RODIER et dire que la méthode utilisant un bateau à l'ancre que vous avez signalée comme ayant été utilisée pour la première fois par M. Aimé en 1948, était en fait déjà utilisée depuis 1935 par les hydrographes du Congo ex-belge.

« Pour vous donner une idée de la précision avec laquelle on peut travailler, je puis vous dire que nous avons l'an passé recommencé des séries de jaugeages dans le bief maritime du fleuve Congo. Dans une section de 2 000 m de largeur, nous avons choisi 12 verticales, distantes de 150 m, et nous sommes toujours parvenus à nous placer entre 140 et 160 m de la verticale précédente.

« Bien qu'il ne faille pas attacher au terme de « record » une valeur absolue, car dans le bassin du Congo nous avons, en tant qu'hydrologues belges, plus de chance que les hydrologues français, le record de nos mesures aux moulinets par des méthodes tout à fait précises, — pour une vingtaine de verticales et six vitesses par verticale —, est de l'ordre de 60 000 m³/s, à côté de Kinshasa et Brazzaville.

« D'autre part, nous avons pu mesurer pendant la crue de décembre 1961, le débit du fleuve Congo à Kinshasa d'une part, et dans le Bas-Congo d'autre part et là uniquement au moyen de flotteurs de surface, les conditions du moment ne permettant pas la mesure au moulinet.

« Nous avons obtenu une valeur de 80 000 m³/s qui est d'environ 25 % supérieure à celles qui avaient été mesurées auparavant pendant une période de 60 années, puisque les observations à Léopoldville ont commencé en 1912.

« Dans le Stanley Pool, la section de jaugeage de Maloukou a 1 600 m de large; sa profondeur maximale est de 25 m.

Dans cette section, le débit du fleuve Congo a été jaugé 80 fois entre 1956 et 1959.

« Dans les cas difficiles, nous avons procédé à des jaugeages aux flotteurs; ceux-ci étaient parfois constitués par des îlots de « jacinthes d'eau » dont nous suivions les mouvements par tachéométrie.

« En ce qui concerne ces flotteurs de surface, il faut connaître sur chaque verticale la relation entre la vitesse moyenne générale U et la vitesse moyenne superficielle, V_{ms} . Maintenant, grâce à nos 80 jaugeages de Kinshasa, et aux 125 jaugeages que nous avons faits dans trois autres sections du Bas-Congo au moulinet, nous disposons d'environ 200 jaugeages, ce qui représente 2 500 verticales de mesure. Nous avons fait des comparaisons pour déterminer U/V_{ms} .

« En réalité, nous avons déterminé deux coefficients, à savoir :

$$\frac{U}{V_{ms}(m)} \quad \text{et} \quad \frac{U}{V_{ms}(f)}$$

(mesures au moulinet et mesures au flotteur).

« Nous sommes arrivés à peu près aux mêmes coefficients que l'O.R.S.T.O.M : 0,90 dans le cas du moulinet, et 0,92 dans le cas du flotteur. Ceci a été fait simultanément pour les trois sections du Bas-Congo. Malheureusement, pour Kinshasa, nous n'avions pas fait de mesures au flotteur, et nous sommes obligés d'assimiler ces deux coefficients, puisque nous n'avons pas pu les calculer simultanément pour cette section.

« En ce qui concerne la position des flotteurs, nous utilisons une méthode assez différente de celle évoquée ici, parce qu'il est difficile de repérer les flotteurs par tachéométrie quand les flotteurs sont très lâches... Un canot se déplace sur une section que nous appelons « section amont » et lance une série de flotteurs numérotés; un autre canot, en aval, repêche ces flotteurs; les deux chronomètres sont synchronisés et contrôlés avant et après les mesures. La section de ce que nous considérons comme section de jaugeage est une section théorique entre les deux. Ce n'est pas l'idéal, mais c'est la seule méthode que nous ayons trouvée jusqu'à présent pour les fleuves très larges.

« Je voudrais également faire une remarque en ce qui concerne la méthode des jaugeages continus : nous jaugeons actuellement les rivières de Belgique pour le compte du ministère de l'Agriculture et nous nous heurtons aux diverses difficultés signalées par M. Nicolo. Je serais donc, moi aussi, très heureux d'obtenir des indications complémentaires au sujet de cette méthode.

« Je signale, par ailleurs, qu'en ce qui concerne le calcul des débits, lorsque les niveaux varient d'une verticale à l'autre, une méthode entièrement graphique a été exposée dans un livre déjà assez ancien de Schoklisch, le *Handbuch des Wasserbaues* (chez Springer, 1950 [?]). Elle y est parfaitement bien exposée.

« Le dernier point de mon intervention sera le suivant : vous avez signalé que le débit de crue était difficile à saisir parce qu'il faut aller très vite et se trouver sur place au

bon moment. Je voudrais assimiler la difficulté d'obtenir le débit de crue à un autre problème.

« Lorsque vous avez affaire à un delta dans lequel vous voulez mesurer le débit dans les différents bras au même moment ou dans un laps de temps très court, pour étudier les répartitions de débit ou pour étudier les variations de ces débits pendant une certaine période, vous devez ici encore mesurer les débits très rapidement.

« La méthode suivante résumée ci-après, est actuellement mise au point par le World Geological Survey, et a été expérimentée sur certains fleuves d'Amérique ainsi que sur le Mékong.

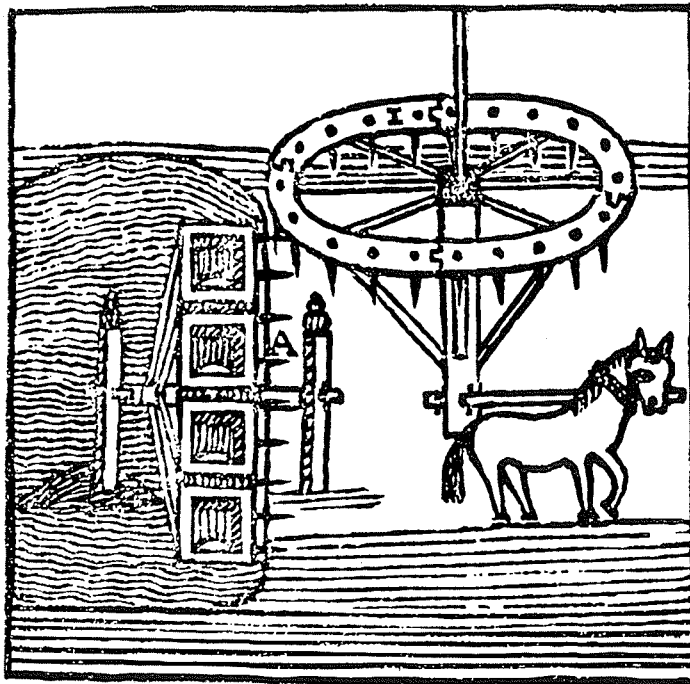
« Un canot se déplace d'une rive à l'autre, et sur ce canot est installé un moulinet; ce moulinet est asservi comme suit à la vitesse du canot : vous avez deux tiges dont l'une peut tourner tandis que l'autre est fixe; la tige fixe est vraiment attachée au canot, la tige mobile supporte le moulinet; il y a un indicateur d'angle qui permet de mesurer l'angle que fait le moulinet à tout instant par rapport à la direction de déplacement du canot. Cet angle est une composante de la vitesse de l'eau d'une part, et de la vitesse du canot d'autre part.

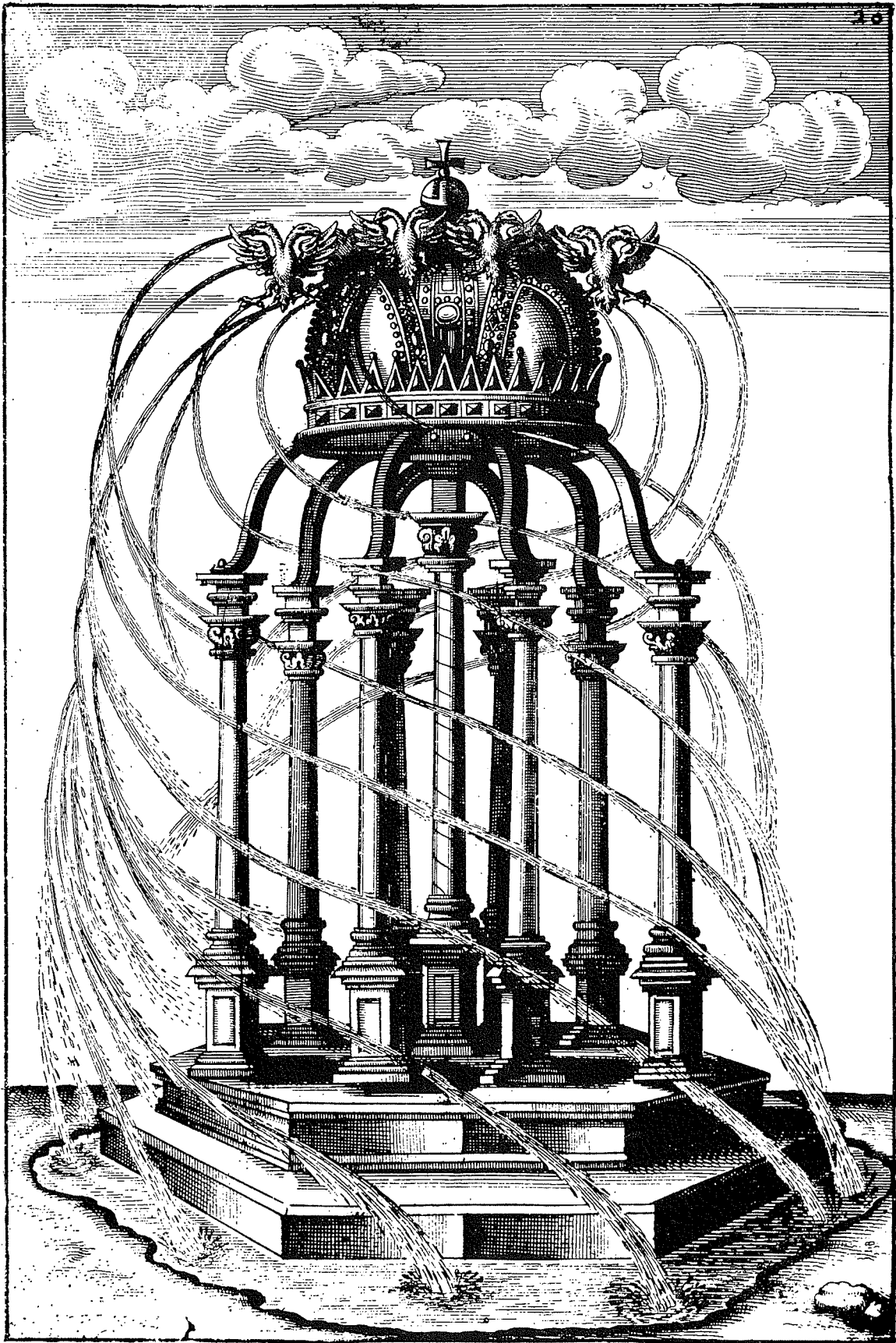
« Au moyen de calculs assez simples, en prenant simultanément en différents points la profondeur, la vitesse et l'angle, on parvient à évaluer le débit. C'est ainsi qu'on arrive à jauger un fleuve comme le Mékong en une heure environ.

« Les opérateurs américains se déplacent d'une section de jaugeage à la section suivante en hélicoptère.

« Au Congo, nous avons l'intention d'utiliser cet appareillage simultanément avec le moulinet classique et le bateau ancré classique. Je pense que d'ici douze à dix-huit mois, nous pourrions fournir des comparaisons entre les deux méthodes. »

M. le Président remercie M. CHARLIER de son intéressante intervention pleine d'enseignements.





Gravure extraite de *Architectura curiosa nova* par G. A. BÖCKLERN
(Nuremberg (1664))