

(COBLANCE, 13-19 Septembre 1970)

Questions 2.1., 2.2., 2.3.

Les JAUGEAGES au MOULINET et au FLOTTEUR  
à l'HEURE du CALCUL AUTOMATIQUE

par J.A. RODIER

Conseiller Scientifique à E.D.F. (IGECO)  
Chef du Service Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M.

Lorsque l'on fait un parallèle entre les moyens de calcul automatique employés actuellement pour le traitement des données hydrologiques, d'une part, et les procédés d'observations et de mesures, d'autre part, on est souvent frappé du caractère un peu primitif de ces derniers et la tentation est grande de reporter tous ses efforts sur des programmes astucieux de traitement de données ou des méthodes d'interprétation élégante en négligeant cette chère vieille chose : la mesure, opération bien connue et pour laquelle il n'y a pas beaucoup d'amélioration à espérer.

Pendant des décennies, on s'est satisfait d'une précision de 10 % sur la mesure des débits, même lorsque cette mesure était facile. Autrefois, en effet, la faible taille des échantillons statistiques aurait rendu inutile une plus grande précision. Mais les utilisateurs de données sont maintenant, à juste titre, beaucoup plus exigeants et on peut effectivement (et on doit faire) beaucoup mieux avec des échantillons beaucoup plus grands et des procédés de mesures améliorés. Or l'ordinateur ne peut sortir de résultats qu'en fonction de la qualité des données qui y ont été introduites ; le meilleur modèle de simulation conduira, dans la pratique, à des résultats catastrophiques si les données sont entachées d'une erreur systématique de 20 ou 30 %, ce qui, malheureusement, n'est pas si rare qu'on le croit. Or, l'établissement de la courbe de transformation hauteurs-débits peut s'avérer lourd de conséquence car, contrairement aux fantaisies de lecture ou d'enregistrement des hauteurs d'eau, les erreurs dans la courbe de jaugeage conduisent à des écarts systématiques souvent plus difficiles à détecter à l'ordinateur que par les anciennes méthodes manuelles. L'intérêt de disposer de bonnes mesures est donc encore plus grand qu'autrefois, en raison de la précision plus grande qu'on exige.

B 14060

7/107

1 JUN 1970

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

Collection de Référence

n° 14060  
B

Que peut-on faire pour améliorer ces courbes de tarage ?

Tout d'abord sont-elles stables et univoques ? Si elles ne le sont pas, il ne s'agit pas d'un problème d'appareil ou de procédé de mesure, c'est une question d'implantation de stations et d'exploitation de réseaux.

Il faut, en cas de lit instable, ou chercher une section stable, même si l'écoulement y est particulièrement anarchique et séparer alors résolument la station de mesure de hauteurs de celle de la mesure des débits, ou créer une station artificielle stable, ce qui est extrêmement coûteux et pas toujours efficace. Si cela n'est pas possible, il faut multiplier les jaugeages et les combiner avec des mesures de pente, ce qui conduit à concentrer les efforts sur un petit nombre de stations bien choisies.

Si la station n'est pas univoque, la méthode bien connue des deux échelles, combinée avec un grand nombre de jaugeages, permet d'établir puis d'utiliser un réseau de courbes de transformation en fonction de la hauteur et de la pente. Retenons de tout ceci qu'il serait utile, pour de nombreux Services Hydrologiques, de donner des instructions pour un dépistage systématique des stations à lit instable ou à courbes de tarage non univoques.

Si la courbe est univoque, avec les moulinets actuels, il est possible, pour les basses eaux et les eaux moyennes, d'établir la courbe de transformation hauteur-débit à 2 % dans les nombreux cas où l'écoulement est uniforme, à condition bien entendu d'effectuer les mesures sur un nombre de verticales et en nombre de points suffisants et d'employer un mode de dépouillement qui ne donne pas lieu à des erreurs systématiques supplémentaires, ce qui est trop souvent le cas.

Par contre, les deux extrémités de la courbe de tarage correspondant aux crues et aux très basses eaux sont presque toujours établies avec beaucoup moins de précision. Qu'a-t-on fait jusqu'ici dans notre Service pour améliorer cette situation ?

## I - JAUGEAGES de CRUE -

Admettons, en première approximation, que le moulinet soit le seul moyen de mesure. Avec cet appareil nous avons pu, dans bon nombre de pays africains, obtenir des courbes d'étalonnage très valables jusqu'à des crues dont la fréquence est décennale et parfois même centenaire. Mais dès que les vitesses dépassent 2 m/s, nous avons rencontré de sérieuses difficultés. Dans ce cas, ce n'est pas seulement le perfectionnement de l'appareil lui-même qui résoudra les problèmes de crue. Tout ce que l'on peut faire, et les constructeurs s'y sont employés, c'est d'éviter qu'il soit nécessaire de le nettoyer trop souvent lorsque les eaux sont chargées, et faire en sorte que sa mise en oeuvre soit rapide, ment

En fait, le plus difficile en période de crue, sur des rivières rapides, est d'amener et de maintenir le moulinet dans la section de mesure et plus précisément sur sa verticale, avec des vitesses élevées et pas mal d'épaves.

Les ponts peuvent paraître bien commodes, mais lorsqu'ils ont plus d'une arche l'écoulement mauvais ou très mauvais ne permet guère d'espérer une bonne précision ; en cas de crues très violentes comme celles de 1969 en TUNISIE, il est préférable de ne pas y stationner pour ne pas être emporté avec lui, enfin même dans des cas plus favorables, la section sous le pont peut être franchement mauvaise pour diverses raisons. Il y a aussi bien des cas où il n'y a pas de pont.

On peut alors jauger d'une embarcation : nous utilisons pour cela, depuis plus de dix ans, des canots pneumatiques ZODIAC pourvus de moteurs hors-bord, qui peuvent admettre des charges utiles allant jusqu'à 1 500 kg et pour lesquels on peut garantir au moins trois ans de service dans les dures conditions de l'Afrique tropicale. Ces bateaux sont amarrés sur le câble par dispositif de largage semi-automatique. Pour éviter tout sabotage, et pour des raisons d'économie, les câbles sont installés à chaque mesure : le câble est enroulé sur un petit treuil de 500 kg fixé solidement sur une berge, ce treuil permet la mise en tension facile du câble une fois que celui-ci a été traversé et amarré sur la berge opposée. Mais si les débris flottants sont nombreux et de grande taille, la traversée du câble devient très difficile dès que la largeur dépasse 400 m, pour des vitesses inférieures à 2 m/s, ou 100 m pour des vitesses de 3 à 4 m/s. Un câble fixe peut être mis en place en saison sèche, mais s'il n'est pas de gros diamètre, on risque de ne plus le retrouver en arrivant à la station : des câbles de 4 mm tentent beaucoup les chasseurs africains.

On peut ne pas utiliser de câble et repérer la position du bateau une fois à l'ancre, par visées au cercle hydrographique à partir de balises sur les rives. C'est ce que nous faisons fréquemment sur les grands cours d'eau du CONGO ou de la République Centrafricaine. Mais dans ce dernier cas, sauf pour de grands fleuves tels que le CONGO, des bateaux aussi stables que le canot pneumatique ne peuvent plus être employés pour des vitesses supérieures ou égales à 4 m/s, en raison des débris flottants qui s'accumulent sur l'équipement hydrométrique et la chaîne d'ancre et des risques de chocs avec les plus gros d'entre ces débris.

Ajoutons que nous avons atteint ces vitesses avec des hydrologues très expérimentés, toute une organisation pour repérer les épaves avant qu'elles n'arrivent sur le bateau, et en maintenant le moteur en marche pour étaler exactement le courant et pouvoir s'échapper rapidement en cas de danger. Il importe d'ailleurs que ces évolutions dangereuses ne durent pas trop longtemps et les appareils de jaugeage par intégration, en laissant descendre régulièrement le

moulinet sur la verticale, font gagner du temps. Ces vitesses de 4 m/s ne sont pas dépassées, heureusement, pour la plupart des cours d'eau calmes. Mais ce n'est pas le cas des oueds nord-africains et des rivières à crues cycloniques.

Il n'est plus possible alors de s'aventurer en bateau sur la rivière et on en arrive à la solution de la station téléphérique, solution coûteuse dès que la largeur dépasse une centaine de mètres. Evidemment, il y a la solution que nous utilisons en NOUVELLE-CALEDONIE : pour une station, nous installons un téléphérique et un baraquement démontable bien ancré au sol : dès l'annonce du cyclone, les hydrologues rejoignent leur baraquement et après le cyclone, sauf accident, la rivière est jaugée pour les hautes eaux ; on démonte le tout et on le remonte à la station suivante pour le prochain cyclone. On a fait cela de façon moins régulière à MADAGASCAR. Mais de toutes façons, les mesures au moulinet deviennent généralement impossibles pour des vitesses supérieures ou égales à 5 m/s, les épaves deviennent trop nombreuses.

Il y a encore la solution du jaugeage par hélicoptère, mais celui-ci est difficile, peu précis, et ne se conçoit guère que pour la mesure d'un grand fleuve. Notons qu'en période d'inondation, il est difficile de trouver un hélicoptère disponible. Ils sont réservés pour l'évacuation des sinistrés. De toutes façons, avec des vitesses supérieures à 5 m/s, il faut abandonner le moulinet.

Mais auparavant, jetons un dernier coup d'oeil sur une cause d'imprécision dans les jaugeages de crues : l'écoulement dans les plaines d'inondation. Le secret d'une bonne mesure, dans ces plaines, suppose une parfaite connaissance de l'écoulement ; le choix d'une section avec écoulement régulier et pas trop lent est capital. Signalons à ce sujet les services que peuvent rendre les routes submergées, en légère surélévation, perpendiculaires si possible à la direction du courant. Bien souvent, les vitesses faibles ou les faibles hauteurs de submersion imposent le micro-moulinet ou même le jaugeage par flotteur immergé. Le plus simple d'ailleurs est de choisir, quand on le peut, une section sans plaine d'inondation, même si elle est située à une bonne distance de l'échelle ou de l'enregistreur.

Pour en terminer avec les jaugeages au moulinet, précisons qu'autant que possible, on doit commencer le jaugeage après le maximum de la crue, les débits en surface deviennent moins nombreux et l'immersion du moulinet présente ainsi moins de risques.

Les moyens indiqués ci-dessus, correctement mis en oeuvre par des opérateurs expérimentés, permettent la mesure de crues très importantes dans de bonnes conditions, pour un grand nombre de régions du monde. Le plus souvent, lorsque l'on manque de mesures de crues, ce n'est pas parce qu'il n'était pas possible de les faire, mais parce qu'elles n'ont pas été faites tout simplement.

Alors on prend l'habitude d'extrapoler, de pallier le manque de mesures par des corrélations plus ou moins valables et on établit ainsi tant bien que mal les projets. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, cette habitude est plus répandue dans les pays hautement évolués que dans les pays en voie de développement.

Les jaugeages par dilution apporteront une solution pour bien des cas : ceux-ci peuvent en effet être utilisés en forte crue : à MADAGASCAR, les hydrologues de la Division Technique Générale ont, avec la collaboration de leurs collègues de l'ORSTOM, mesuré par cette méthode 2 200 m<sup>3</sup>/s (avec reconcentration), mais pour les forts débits et les eaux chargées, les opérateurs doivent être très expérimentés avec une très bonne connaissance de la rivière à jauger. Avant une campagne de jaugeages de crue par dilution, il faut disposer d'un stock suffisant de bichromate de sodium et d'une équipe d'hydrologues ayant une parfaite maîtrise de ce type de mesure, ce qui est rarement le cas. Cependant, dans bien des pays à crues violentes, il y aurait intérêt à examiner la possibilité d'employer une telle méthode.

Très fréquemment, on en revient à la mesure de jaugeages aux flotteurs, mais ceux-ci exigent beaucoup plus de précautions qu'on ne le croit : il faut d'abord un écoulement relativement régulier sur une longueur suffisante : 10 fois ou 5 fois la largeur de la rivière. Mais dans le cas de rivières assez larges, cette condition est très difficile à réaliser. On se contente parfois d'une base de 100 m correspondant à 20 secondes pour 5 m/s. Nous cherchons à établir la courbe des vitesses superficielles sur toute la largeur du cours d'eau, ce qui exige un système de repérage, plusieurs opérateurs et un très bon système de signalisation entre ces opérateurs. Là aussi, il vaut mieux ne pas improviser. Nous avons utilisé des flotteurs artificiels : bouteilles de bière ou cubes de bois avec une pile et une ampoule électrique pour être utilisés la nuit ; mais le plus souvent, pour les très fortes crues, nos hydrologues ont tiré parti des flotteurs naturels : ce sont des arbres en général. Cela a été le cas pour les dernières crues de TUNISIE et de MADAGASCAR. Sur une seule station de jaugeage de TUNISIE, les hydrologues du BIRH et de l'ORSTOM en ont utilisé 900 pour une seule pointe de crue (Oued ZEROUD : 18 000 m<sup>3</sup>/s). La déformation régulière des courbes de vitesses superficielles avec la hauteur d'eau à l'échelle montre bien la faible dispersion des vitesses ainsi estimées.

Le Pr. OURYVAEV avait indiqué au Symposium de LENINGRAD un procédé de mesure de vitesse en avion par largage de produits colorants dans la section et deux photographies aériennes à court intervalle de temps dans la section permettant de déterminer les temps parcourus et par suite les vitesses pour les divers points de largage.

Le rapport entre vitesse superficielle moyenne et vitesse moyenne dans la section est estimé, d'après les jaugeages réguliers, correspondant aux plus forts débits mesurés. Si on sépare bien, pour cette estimation, les plaines d'inondation ou les zones à faible profondeur du chenal principal, on aboutit à des coefficients stables dont la valeur est comprise généralement entre 0,90 et 0,95 pour des profondeurs supérieures à 3 ou 4 mètres.

Il reste à régler le problème le plus difficile: celui de l'estimation de la section mouillée, c'est-à-dire du fond. Sur l'oued ZEROUUD, le problème était simple, le lit a été décapé jusqu'au rocher au moment du maximum. Ceci a été vérifié par sondage au saumon de 100 kg dépouillé à cet effet de la pédale du moulinet et de la queue, alors que les jaugeages au moulinet étaient devenus impossibles pour des débits déjà bien inférieurs. Ailleurs, on a essayé d'utiliser le procédé indiqué par L. LEOPOLD pour les études géomorphologiques: enfouir dans le lit des chaînes verticales ancrées à un corps mort, sur tout le profil en travers. On peut aussi utiliser des empilages de briques, les briques supérieures étant emportées par la crue. Ces opérations sont délicates, mais elles sont préférables à celles qui consistent à relever le profil en travers avant et après la crue, car, au moment du débit maximal, la cote absolue minimale du profil en travers est souvent plus faible qu'au début ou à la fin de la crue. Là encore, on obtient le maximum de précision avec un lit stable. On tirerait des avantages certains d'études d'hydrodynamique, conduisant à des données quantitatives sur les déformations du lit des fleuves.

En comparant les résultats des jaugeages aux flotteurs, les données des formules d'écoulement, les courbes extrapolées des vitesses moyennes à partir des jaugeages réguliers, nous arrivons à des estimations pas trop imprécises des crues exceptionnelles, mais ceci exige que l'on considère ces mesures aux flotteurs comme des opérations difficiles pour lesquelles de grandes précautions sont à prendre et non comme un vague dépannage à résultats plus ou moins qualitatifs. Encore faut-il être là quand arrive la crue. Aussi, bien souvent, doit-on employer un mode d'estimation indirect: a posteriori. Nous ne dirons rien à ce sujet, il existe une note technique très complète de l'OMM 225 T.P. 119 "Measurement of Peak Discharge by Indirect Methods".

Ce sont alors les données ainsi établies que l'on introduit dans l'ordinateur pour l'étude de la distribution des crues. On voit, dans le cas où les jaugeages réguliers ne sont déjà plus possibles pour le maximum annuel, qu'il est facile, malgré de grandes précautions, de faire une erreur systématique de 15 à 20 % et sans précautions de faire des erreurs atteignant et dépassant 100 %.

## II - VALEURS MINIMALES des DEBITS -

Contrairement à ce que pensent bien des ingénieurs de génie hydraulique, la connaissance des valeurs minimales des débits est encore plus mauvaise que celle des crues exceptionnelles pour trois raisons :

1°) Les valeurs très rares laissent des traces moins nettes que les crues exceptionnelles pour la bonne raison que les niveaux atteints sont vite submergés.

2°) Dans le cas de vitesses très faibles, l'irrégularité spatiale est très grande dans un même profil en travers.

3°) Il ne peut pas exister de règle pour l'extrapolation vers le bas des courbes hauteurs/débits.

En ce qui concerne les appareils, signalons les services rendus par les micro-moulinets, les petits déversoirs transportables et même les flotteurs lestés et immergés pour les très faibles vitesses.

En région tropicale où les débits de basses eaux sont souvent très faibles, nous procédons souvent, avant le jaugeage, à quelques travaux d'aménagement de l'écoulement, de façon à opérer dans un petit canal à écoulement aussi régulier que possible. Le choix d'une bonne section de basses eaux est essentiel.

Mais pour les crues, comme pour les étiages, ce qui constitue un progrès énorme, c'est de prévoir dans l'organisation d'un Service, des campagnes de mesures régulières de basses eaux tous les ans, avec plus de précision et mesures en un plus grand nombre de points si l'étiage est exceptionnel ; on évitera alors parfois, au passage de l'ordinateur, des erreurs de 1 000 % (mille), telles que celles que nous avons déjà vues. Ceci se produit si le débit de la rivière devient très faible en basses eaux et s'il n'y a pas tous les ans des jaugeages d'étiage. Ceci sera de nature à faire réfléchir les spécialistes de l'alimentation en eau des agglomérations.

En conclusion, il importe de produire dans le cadre de l'exploitation des réseaux, des données dont la précision soit en rapport avec la puissance des moyens de calcul qui les utilisent. Pour ceci, on ne doit pas se

croiser les bras en invoquant le caractère primitif des moyens dont on dispose pour l'estimation des valeurs maximales et minimales des débits. Il convient de prendre le problème de mesure au sérieux et de ne pas se reposer, les yeux fermés, sur les techniciens qu'on abandonne à leur triste sort sur le terrain. Il faut mener intelligemment ces mesures qui requièrent beaucoup plus de compétence, de jugement et d'imagination qu'on ne le pense. Enfin, il ne faut pas hésiter à mettre au programme de l'exploitation des réseaux, des campagnes systématiques de jaugeages d'étiage et de crues exceptionnelles en prévoyant bien à l'avance les moyens nécessaires.