

IMPROVING THE ACCURACY OF POINT-GAUGE MEASUREMENT IN HIGH-VELOCITY FLOWS

AMELIORATION DE LA PRECISION DE LA POINTE DE
MESURE DANS LES ECOULEMENTS RAPIDES

by

R. JAYARAMAN

Research Scholar, Hydraulic Engineering Laboratory,
Indian Institute of Technology, Madras, India

and

V. SETHURAMAN

Professor, Hydraulic Engineering Laboratory,
Indian Institute of Technology, Madras, India

Water depth measurements in high-velocity flow in open channels are subject to inaccuracies due to the presence of surface pulsations that are a characteristic feature of supercritical flows. Since the depths of water in supercritical flow in laboratory channels are usually small, the importance of accurate depth measurement cannot be overemphasized.

The most common device for measuring the depth of a supercritical flow in a laboratory flume still continues to be the good-old point-gauge. Although more sophisticated electrical probes are available for depth measurement, these invariably give rise to flow-disturbance when immersed in a high-velocity channel-flow. In order to improve the accuracy of point-gauge measurement, BROCK [1] suggested the provision of pressure taps on the bed of the flume and a visual check of the tip of the point-gauge at a depth-setting corresponding to the mean hydro-

Lors de la mesure de la profondeur d'un écoulement rapide à surface libre, il intervient des erreurs du fait de la présence de pulsations de surface, celles-ci étant une caractéristique des écoulements torrentiels. Etant donné que les profondeurs correspondant aux régimes torrentiels étudiés au laboratoire sont généralement faibles, il est évident que la précision des mesures de profondeur revêt une importance capitale.

Le dispositif le plus répandu pour mesurer la profondeur d'un écoulement torrentiel dans un canal de laboratoire demeure encore de nos jours la bonne vieille pointe de mesure. Sans doute existe-t-il également des sondes électriques plus sophistiquées mais celles-ci conduisent invariablement à une perturbation de l'écoulement lorsque la vitesse est élevée. Afin d'améliorer la précision de la pointe de mesure, BROCK [1] a proposé que le lit du canal soit muni de prises de pression et que l'extrémité de la pointe soit vérifiée

static pressure indicated by the pressure cell. This method evidently cannot be applied for plotting surface profiles, as in transitions, where a large number of depth measurements scattered all over the flume may be necessary. Moreover, the assumption that the mean pressure indicated by the pressure cell corresponds to the hydrostatic pressure for the mean depth needs experimental verification in view of the unknown dynamic effects of the water surface pulsations.

While working on a research study on Transitions for Supercritical Flows, the authors realized the imperative need for refining the technique of depth measurement.

This resulted in the development of a simple and inexpensive instrument, the Gauge Contact-Time Indicator, that can be used with any point-gauge to improve the accuracy of depth measurement. The unit was designed and built by the first author.



The instrument indicates the percentage of time in which there is contact between the water level probe and the pulsating water surface. Since the instrument shows a 6-second moving mean indication, the readings are fairly steady even in the presence of low-frequency pulsations.

The unit, which is self-contained and portable, is built inside a 6" x 4" x 2" aluminium chassis. It is powered by four pen-light

visuellement pour un réglage de profondeur correspondant à la pression hydrostatique moyenne indiquée par le manomètre. De toute évidence cette méthode ne saurait convenir à l'établissement de profils de surface dans le cas par exemple d'une transition pouvant nécessiter de nombreux relevés de profondeur un peu partout dans le canal. De surcroît, étant donné que les effets dynamiques suscités par les pulsations de surface sont très mal connus, l'hypothèse suivant laquelle la pression moyenne indiquée par le manomètre correspond à la pression hydrostatique à la profondeur moyenne ne saurait être entérinée sans confirmation expérimentale préalable.

C'était au cours d'une étude des „Transitions en Régime Torrentiel” que les présents auteurs se sont rendus compte qu'il était indispensable d'affiner la technique des mesures de profondeur. Il en est résulté un appareil bon marché et de conception simple: L'Indicateur du Temps de Contact de la Pointe (Gauge Contact-Time Indicator), appareil qui sert à améliorer la précision de n'importe quelle pointe de mesure de profondeur et qui a été conçu et construit par le premier auteur.

foto 1.

Photo of gauge contact-time indicator.

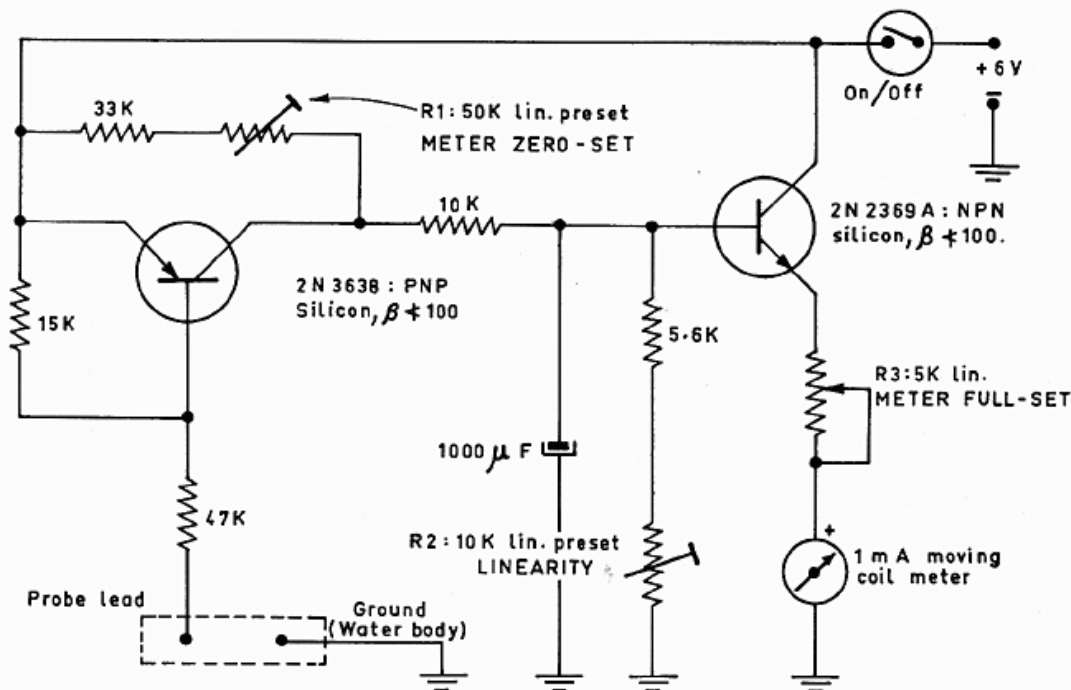
L'indicateur du temps de contact.

L'indicateur ainsi mis au point indique le pourcentage du temps pendant lequel il y a contact entre la pointe et la surface oscillante. Comme la valeur affichée en continu correspond à une moyenne sur 6 s, l'indication demeure relativement stable même en présence d'oscillations de fréquence faible.

L'appareil, autonome et portatif, est monté dans un boîtier en aluminium de dimensions 150 x 100 x 50. La source énergétique est con-

cells, which should last a long time since the current-drain is less than 1 milliamperere. The principle of operation of the instrument is as follows: When the tip of the gauge probe touches the water surface, a transistor switch closes and allows a 1000 microfarad condenser to be charged through a resistor. The transistor switch is designed to be insensitive to stray leakage in the OFF position or to nominal variations in the usual water-path resistance in the ON position. An adjustable resistor in parallel with the condenser provides a discharge path when the transistor switch opens. The voltage across the condenser is indicated by a second transistor driving a 1 mampere meter. A meter-set potentiometer R3 in series with the meter enables the meter to be set to full-scale deflection at the start of the experiment when the probe is kept touching the water surface. Fig. 1 shows the circuit-diagram of the unit.

Fig. 1.
Circuit-diagram of the contact-time indicator.
Schéma électrique de l'indicateur du temps de contact.



Linearity of response was checked by feeding square-wave signals with different pulse-

stituée par quatre piles pour lampes style, leur longévité devant être très bonne car la consommation est inférieure à 1 milliampère. L'indicateur fonctionne de la manière suivante: quand l'extrémité de la sonde rencontre la surface de l'eau, un commutateur à transistors s'enclenche et permet ainsi de charger un condensateur de 1000 μF par l'intermédiaire d'une résistance. Les caractéristiques du commutateur à transistors sont telles qu'il n'est sensible ni aux fuites pouvant exister en position „repos” ni aux faibles variations de la résistance du parcours dans l'eau en position „marche”. Une résistance réglable en parallèle avec le condensateur permet de décharger ce dernier lorsque le commutateur s'ouvre. La tension aux bornes du condensateur est indiquée par un second transistor qui commande un galvanomètre de 1 milliampère. Un potentiomètre R3 en série avec le galvanomètre permet de régler celui-ci à 100% de l'échelle au début de l'expérience, la sonde étant maintenue au contact de l'eau. Le schéma électrique est représenté en figure 1.

Pour contrôler la linéarité de la réponse, l'appareil a été alimenté par des signaux

width ratios and observing the meter reading. The preset controls R1 and R2, and the meter-set control R3 govern the zero-scale, mid-scale and full-scale readings respectively, though there is interaction between the controls. With correct permanent adjustment of R1 and R2, the overall linearity is better than $\pm 2\%$, which is the maximum error near the quarter-scale points.

carrés correspondant à divers rapports hauteur-largeur, l'indication du galvanomètre étant relevée dans chaque cas. Les potentiomètres pré réglés R1 et R2 et le potentiomètre R3 réglé par le galvanomètre commandent respectivement les indications du zéro, de la mi-échelle et de l'échelle totale, bien qu'il existe une certaine interaction entre ces trois réglages. Avec un réglage permanent approprié de R1 et R2, la linéarité d'ensemble est supérieure à $\pm 2\%$, valeur qui représente l'erreur maximale à proximité de 25% et de 75% de l'indication.

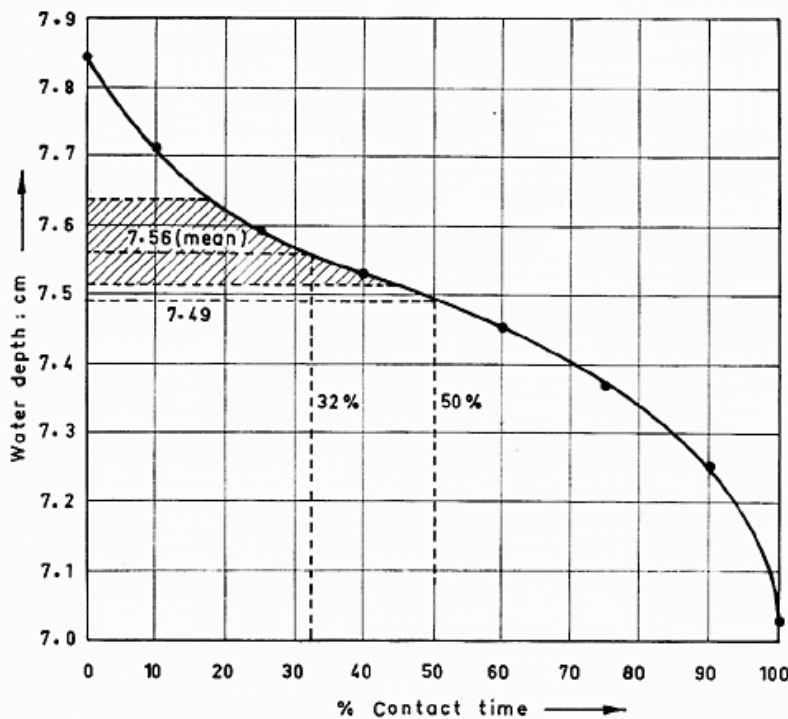


Fig. 2.
Water level pulsations at $F=3.5$.
Oscillations du niveau d'eau pour $F=3,5$.

Fig. 2 shows an experimental plot of the gauge reading (with the channel bed as datum) versus percentage contact time at a Froude number of 3.5. The depth of water was about 8 cm, and the observed peak amplitude of the water surface pulsations about 8 mm. Adopting a percentage contact time of 50% – for reasons discussed later – the mean depth of flow was measured as 7.49 cm. Repeated tests made by more than one observer showed that for a specified contact time of 50%, the gauge readings could be repeated to an accu-

La hauteur d'eau au-dessus du lit mesurée par la pointe de mesure a été portée en fonction du pourcentage du temps de contact pour un nombre de Froude de 3,5 (fig. 2). La hauteur d'eau était d'environ 8 cm et l'amplitude maximale des oscillations de surface se situait aux environs de 8 mm. Si l'on adopte un temps de contact de 50% (pour des raisons qui apparaîtront plus loin), la profondeur moyenne de l'écoulement ressort à 7,49 cm. Des relevés répétitifs effectués par plusieurs techniciens ont montré que pour le temps de

racy of ± 0.1 mm, even though the water surface had pulsations of about 8 mm amplitude.

In order to verify the usefulness of the instrument, six trained observers were asked to measure the depth of the flow referred to in the last paragraph, by using a point-gauge without the Contact Time Indicator. The readings ranged from 7.51 to 7.63 cm, with a mean of 7.56 cm and a standard deviation of 0.04 cm. The mean depth of 7.56 cm corresponds to only 32% contact time, implying that, for a major part of the time, the water depth is actually less than this value. The depth of 7.49 cm that corresponds to 50% contact time is less than the depths recorded by all the six observers. One is led to the inescapable conclusions that an observer measuring the depth of a supercritical flow by a visual observation of the tip of a point gauge *tends to overestimate* the depth of the flow. This is explained by the fact that the human eye "sees" a continuous contact of the tip of the probe with the water surface by persistence of vision, even when the contact is actually intermittent.

In the above paragraph, the mean depth of 7.49 cm, as given by the Contact Time Indicator, has been compared with the depth of 7.56 cm, which is the mean of the depths recorded by the six observers using the point-gauge alone. The error is more serious if one considers the possibility of the observed depth lying near the upper part of the shaded area in Fig. 2. Moreover, the percentage error is liable to be accentuated further when depths of flow are of the order of 5 cm or less, which is the usual range of depths encountered in laboratory experiments on high-velocity flows. If an overall accuracy of 1% is aimed at in the above range of flow depths, a mere visual observation with a point gauge will not yield this degree of accuracy, and recourse will have to be made to the use of the Contact Time Indicator.

The important question now arises as to

contact convenu de 50%, la précision de la pointe était de $\pm 0,1$ mm et ce malgré des oscillations de surface d'une amplitude d'environ 8 mm.

Pour contrôler l'utilité de l'appareil on a demandé à six observateurs expérimentés de mesurer la profondeur de l'écoulement dont il s'agit ci-dessus. Pour cela ils devaient utiliser la pointe de mesure *sans* l'indicateur du temps de contact. Les valeurs obtenues étaient comprises entre 7,51 et 7,63 cm, la moyenne était de 7,56 cm et l'écart-type de 0,04 cm. La hauteur moyenne de 7,56 cm correspond à un temps de contact de 32% seulement, ce qui signifie que, pendant une grande partie du temps, la profondeur d'eau est en fait inférieure à cette valeur. La profondeur de 7,49 cm correspondant à un temps de contact de 50% est inférieure à toutes les valeurs relevées par les six expérimentateurs. La conclusion est inéluctable: un observateur qui cherche à mesurer la profondeur d'un écoulement torrentiel par l'observation visuelle de l'extrémité d'une pointe de mesure a tendance à *surestimer* la profondeur. La raison en est que l'oeil humain perçoit un contact *continu* entre pointe et surface par rémanence de l'image visuelle quand bien même qu'il n'est en fait qu'intermittent.

Dans ce qui précède, on a comparé la profondeur moyenne fournie par l'indicateur du temps de contact (7,49 cm) avec la moyenne des six valeurs de profondeur relevées par les six observateurs à l'aide de la seule pointe de mesure (7.56 cm). L'erreur pourra être plus importante si l'on tient compte de la possibilité que la profondeur observée se situe à la partie supérieure de la zone hachurée de la figure 2. Au surplus, l'erreur exprimée en pourcentage est susceptible de progresser encore si la profondeur est inférieure à environ 5 cm, ce qui est en général le cas des écoulements rapides étudiés au laboratoire. Si l'on prend comme objectif une précision de 1% avec des hauteurs d'eau inférieures à 5 cm, la pointe de mesure n'y suffira pas,

which value of contact time yields the true mean depth of flow. The increased slope of the curve in Fig. 2 near the upper and lower depth limits strongly suggests a statistical distribution of occasional high-amplitude pulsations superposed on more frequent low-amplitude pulsations. Therefore, a satisfactory answer to the question of the proper contact time requires a knowledge of (1) the statistical characteristics of the random surface fluctuations such as the frequency of occurrence of different frequency components, their relative amplitudes and skewness etc.; (2) the effect of wave run-up on the probe; and (3) the surface tension effect of the water clinging to the tip of the probe. It is evident that the second and third causes mentioned above will tend to increase the meter reading. In view of this, the true contact time, in the absence of these effects, corresponding to the mean reading of 7.56 cm in the observation described above may not be even 30%. There appears to be very little justification for our basing point-gauge measurement on such a low contact time.

In the absence of more extensive experimental verification, the authors feel that a 50% contact time will be in order. Incidentally, the curve in Fig. 2 has the least slope near about his contact time, yielding the best repeatability of gauge readings for this contact time.

The following conclusions are drawn regarding the use of the Contact Time Indicator for point-gauge measurement in high-velocity flows:

sauf à recourir à l'indicateur du temps de contact.

Quelle valeur du temps de contact correspond-elle à la véritable valeur moyenne de la profondeur? – voilà la question importante qu'il faut envisager à présent. Compte tenu de ce que la pente de la courbe de la figure 2 s'accroît aux environs des limites supérieure et inférieure de la profondeur, il paraît licite de postuler l'existence d'une distribution statistique d'un petit nombre de pulsations de forte amplitude superposées à des pulsations de faible amplitude mais beaucoup plus fréquentes. Il s'ensuit que la détermination du temps de contact adéquat requiert au préalable que l'on connaisse:

- a. les caractéristiques statistiques des fluctuations aléatoires de la surface: fréquence d'apparition des diverses composantes fréquentielles, amplitude relative et dissymétrie de celles-ci, etc.
- b. l'influence de la remontée des ondes sur la sonde.
- c. l'influence du phénomène de capillarité qui fait que l'extrémité de la sonde tend à retenir le ménisque d'eau.

Il est évident que b et c ci-dessus tendent à accroître l'indication de l'indicateur. De sorte que la valeur „vraie” du temps de contact, (en l'absence des phénomènes précédent), correspondant à l'indication moyenne de 7,56 cm qui ressort de l'expérience décrite pourrait fort bien être inférieur même à 30%. Il semble que l'on serait peu justifié à fonder les observations faites à la pointe de mesure sur une valeur du temps de contact aussi faible.

En l'absence d'une confirmation expérimentale plus poussée; les auteurs sont de l'avis qu'un temps de contact de 50% sera approprié. D'ailleurs, la plus faible pente de la courbe de la figure 2 se situe à proximité de cette valeur, ce qui procure une reproductibilité optimale des indications de l'appareil pour 50% de temps de contact.

On tire les conclusions suivantes pour ce

1. Point-gauge measurement in high-velocity flows by visual observation of the tip of the gauge inevitably involves a positive error in the measured depth of flow. This error can be serious when the flow-depth is very small as is often the case in the study of supercritical flow through channel expansions.
2. By specifying a particular contact time – say 50% – the technique of depth measurement using the point-gauge can be refined and standardized. Errors due to persistence of vision, that are present in a visual observation of the tip of the gauge, are eliminated.
3. The use of the Contact Time Indicator eliminates the “personal error” inherent in point-gauge measurement in high-velocity flows. With this instrument, all observers can get readings within ± 0.01 cm.
4. Where a large number of depth observations are to be made in a single test-run, such as in the plotting of surface profiles in supercritical transitions, the instrument reduces considerably visual fatigue of the observer. The observer need not even look at the water surface while making depth observations.

qui est de l'emploi de l'indicateur de temps de contact lors de relevés à la pointe de mesure dans des écoulements rapides:

1. Des relevés à la pointe de mesure qui sont fondés sur l'observation visuelle de l'extrémité de la pointe sont inévitablement entachés d'une erreur positive. Celle-ci pourra être très importante lorsque la profondeur est faible, ce qui est souvent le cas des essais de laboratoire portant sur des élargissements en régime torrentiel.
2. En adoptant un temps de contact bien défini (50% par exemple), la mesure des profondeurs à la pointe peut être affinée en même temps que normalisée. De la sorte, on élimine les erreurs dues à la rémanence oculaire intervenant lors de l'observation visuelle de l'extrémité de la sonde.
3. L'emploi de l'indicateur du temps de contact supprime l'erreur „personnelle” inhérente aux relevés à la pointe de mesure dans les écoulements rapides. En recourant à l'indicateur, chaque observateur peut relever la même valeur à $\pm 0,01$ cm près.
4. Quand il faut procéder à un grand nombre de mesures de profondeur au cours d'un seul essai, comme c'est le cas par exemple en relevant les profils de surface dans les transitions fluvial-torrentiel, l'indicateur du temps de contact réduit très sensiblement la fatigue oculaire ressentie par l'observateur. Ce dernier, en effectuant les relevés de profondeur, n'a même pas besoin de regarder la surface de l'eau.

References

Bibliographie

1. Discussion by R. BROCK on the paper Critical Analysis of Open-Channel Resistance by H. ROUSE, Journal of Hyd. Div., A.S.C.E., March 1966.