CALIBRATION D'UNE SONDE A FIL CHAUD DANS DE L'EAU EN ROTATION

PAR P.-E. BRUNELLE *,
M. GAUTIER ** ET J. PICHON ***

A. — Introduction

L'étude de la turbulence sur les radiers mobiles, entreprise au Département de Génie civil, à Sherbrooke (Canada), conjointement avec l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (France), nécessite un appareillage de mesure très précis. Nous avons opté pour l'utilisation d'une chaîne d'anémométrie à fil ou film chaud, bien que l'application d'un tel système de mesure dans l'eau ne soit pas encore parfaitement au point. Alors que l'emploi des sondes à fil chaud dans l'air est courant, l'utilisation dans les liquides, et particulièrement dans l'eau, soulève des difficultés dont nous parlerons ultérieurement.

La méthode, nous le rappelons, consiste à chauffer un fil à l'aide d'un courant électrique, à une température supérieure à celle du fluide à étudier. Le fil se refroidit, soit par conduction et convection libre si le fluide est immobile, soit essentiellement par convection forcée si le fluide est en mouvement par rapport à la sonde.

L'anémomètre que nous utilisons dans notre étude est une chaîne à température constante de marque DISA. La température de l'élément sensible est maintenue constante par un système élec-

tronique. L'intensité du courant de chauffage est liée au refroidissement provoqué par la vitesse en contact avec la sonde. La mesure de la tension aux bornes de l'élément sensible permet, après étalonnage, de déterminer la vitesse rencontrée par l'élément sensible.

Il faut donc, avant toute mesure (et après également), effectuer un étalonnage de la sonde. Cette calibration permet de tracer une courbe liant la tension aux bornes de l'élément sensible à la vitesse rencontrée par cet élément sensible.

Dans le cas de l'air, cette calibration est aisée. Les fabricants mettent même à la disposition des expérimentateurs des « tunnels à vent » pré-calibrés.

Dans le cas des liquides, la réalisation de la calibration est plus difficile. Il s'agit de placer la sonde dans un écoulement dont la vitesse en tout point est parfaitement connue.

Plusieurs systèmes d'étalonnage ont déjà été utilisés : calibration dans un jet, déplacement de la sonde dans un liquide immobile, soufflerie à eau... Nous avons entrepris une comparaison de certains de ces systèmes.

Nous avons également étudié un nouveau mode de calibration dont nous allons parler à présent.

* Ing., M.Sc.A. Doc. Ing. en hydraulique (Toulouse). Directeur du Département de Génie civil de la Faculté des Sciences Appliquées. Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Qué), Canada.

** Ing. ENSEIHT. Assistant de recherche au Département de Génie civil de la Faculté des Sciences Appliquées. Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Qué), Canada.

*** Ing. E.I.M. Doc. Ing. en hydraulique (Toulouse). Professeur adjoint au Département de Génie civil de la Faculté des Sciences Appliquées. Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Qué), Canada.

1/
Schéma vitesse.
Velocity scheme.

B. — Principe de la méthode

Nous disposons d'une cuve cylindrique de section circulaire dans laquelle nous plaçons de l'eau. Nous faisons tourner l'ensemble d'un mouvement uniforme autour de l'axe de la cuve, cet axe étant parfaitement vertical. La paroi de la cuve entraîne par frottement la couche liquide directement en contact avec elle. De proche en proche, l'eau se met en mouvement et, au bout d'un certain temps, l'ensemble est stabilisé et se comporte exactement comme un solide en rotation. La vitesse est constante sur des cylindres concentriques et croît linéairement le long d'un rayon, les valeurs extrêmes étant 0 sur l'axe de rotation et ωR sur la paroi de la cuve, (ω : vitesse angulaire et R : rayon de la cuve).

La vitesse, en tout point de l'ensemble liquide est donc, théoriquement, parfaitement connue.

2/ Cuve de calibration.
Calibration tank.

C. — Description de l'installation

1. L'anémomètre à fil chaud et les sondes utilisées (photographie 1).

Comme nous l'avons dit précédemment, nous utilisons une chaîne d'anémométrie à température constante de marque DISA (2 canaux), composée ainsi * :

2 anémomètres	55 D 01
2 linéariseurs	55 D 10
2 unités auxiliaires	55 D 25
1 voltmètre digital	55 D 30
1 voltmètre rms	55 D 35
1 corrélateur	55 D 70

quant aux sondes, nous n'avons utilisé que des sondes quartzées. Il a en effet été prouvé que la fine pellicule de quartz, qui recouvre l'élément sensible, élimine les inconvénients résultant de la conductivité de l'eau et réduit de façon importante la contamination du film. Un film recouvert de quartz demeure plus propre qu'un film non recouvert.

Nous avons essayé plusieurs types de sondes quartzées :

- des films de platine déposés sur extrémité de dièdre (DISA 55 A 83 - 85);
- des films de platine déposés sur cylindre (Thermo Systems 1 212 W);
- des films de platine déposés perpendiculairement aux génératrices d'un cône (DISA 55 A 87).

2. La cuve de mesure (planche 2, photographie 2).

La cuve est réalisée entièrement en plexiglas. Elle a un diamètre de 0,50 m et une profondeur de 0,30 m. Afin d'éviter toute irrégularité dans la rotation, la cuve a été rectifiée sur machine-outil. Elle est donc parfaitement cylindrique. Après usinage, elle a également été parfaitement équilibrée. Les parois et le fond ont été munis de raidisseurs qui évitent toute déformation. Des ailettes ont été placées sur les parois intérieures de la cuve : elles provoquent une mise en vitesse de l'eau plus rapide.

Le trépied qui la supporte est muni de vis de réglage qui permettent de placer l'axe de rotation dans une position parfaitement verticale. Ce trépied assure, de plus, une position stable.

La rotation s'effectue à l'aide d'un moteur électrique, à vitesse variable, de faible puissance, par l'intermédiaire de poulies. Un système de débrayage est prévu sur la poulie solidaire de l'axe de rotation. Cela permet à la cuve de continuer à tourner lorsque le moteur ralentit ou s'arrête. La faible puissance du moteur n'est pas un handicap. En effet, en dehors de la mise en rotation, facilitée par l'équilibrage de la cuve, le moteur n'a qu'à entretenir le mouvement. La régularité de ce mouvement

* Pour une description plus détaillée, on est prié de consulter les manuels d'équipement DISA.

Photo 1/

Vue générale de l'installation.
General view of the installation.

Photo 2/

La cuve de calibration.
The calibration tank.

Photo 3/

Le support de sonde.
The probe mounting.

Photo 1/

Photo 2/

Photo 3/

est amplement suffisante et les légères variations de régime du moteur sont largement amorties par l'inertie de l'ensemble cuve-liquide. La vitesse de la cuve est simultanément mesurée à l'aide d'un compte-tours électrique dont les impulsions sont enregistrées sur papier photographique à déroulement continu étalonné, et à l'aide d'un chronomètre électrique sur 10 tours.

3. Le support de sonde (photographie 3).

Le support de sonde est suffisamment rigide pour éviter les vibrations de la sonde. Il permet également de repérer avec précision la position de la sonde, horizontalement et verticalement.

D'autre part, nous avons pensé que la présence de la sonde dans l'écoulement pouvait créer un

Photo 4/ Sonde conique DISA dans l'écoulement.
Conical DISA probe in the flow.

ralentissement local non négligeable. Nous avons donc muni le support de sonde d'un système pneumatique (piston déplacé à l'air comprimé) permettant de plonger rapidement la sonde dans l'eau. Ceci nous a permis d'enregistrer sur bande photographique la vitesse de l'écoulement avant que le sillage de la sonde ait rejoint celle-ci (première révolution), et étudier ainsi l'influence éventuelle de la présence de la sonde dans le mouvement de l'eau.

L'ensemble « support de sonde », totalement indépendant de la cuve de mesure, est équipé de quatre pieds munis de vis, tout comme le support de la cuve.

Le réglage initial essentiel consiste à placer l'élément sensible exactement au centre de la cuve. Les déplacements horizontaux de la sonde se font ainsi suivant un rayon de la cuve.

D. — Etude du système de calibration

1. Dérive.

Tous les auteurs sont unanimes pour déclarer que la dérive ne peut être totalement éliminée. Cette

dérive a des causes multiples. Le fait de recouvrir les sondes d'une fine pellicule de quartz améliore cependant très sensiblement les résultats. Les sondes sont alors surtout sensibles aux impuretés en suspension dans l'eau : poussières, filaments... Il peut également y avoir une formation de bulles sur l'élément sensible lorsque la surchauffe est trop élevée.

Nous basant sur les expériences d'autres chercheurs, nous avons été très surpris de constater une dérive très importante lors de la première utilisation de certaines sondes. Nous avons alors remplacé l'eau que nous utilisons (eau de la ville) par de l'eau distillée. Les résultats ont été identiques. Nous en avons déduit que cette dérive était due à une contamination intense. Nous avons alors eu l'idée de peindre l'intérieur de la cuve. Les résultats ont été bien meilleurs. Nous pensons que, le récipient étant en plexiglas, il y avait création d'une électricité statique qui transformait la cuve en véritable aimant à poussières.

Nous avons alors pu effectuer des mesures valables à condition de prendre les précautions suivantes :

- recouvrir la cuve d'un couvercle protecteur pendant les périodes de non-utilisation;
 - changer l'eau assez souvent (tous les deux jours);
 - après un changement d'eau, la laisser se désaérer;
 - nettoyer la sonde avant chaque série de mesures.
- Les coefficients de surchauffe utilisés ont été 3 %, 4 %, 5 % et 6 %.

Nous ajouterons que, contrairement à ce que prétendent certains auteurs, faire tourner la sonde à l'envers ou tapoter le support de sonde ne suffit pas pour libérer totalement l'élément sensible des corps étrangers qui viennent s'y fixer. Il faut le brosser très soigneusement avec un pinceau à poils souples.

2. Choix des sondes.

Comme nous l'avons dit au début de cette étude, nous avons essayé différents types de sondes. Les éléments sensibles en forme de dièdre ou de cylindre n'ont donné que des résultats médiocres. En effet, leur forme non profilée facilite la fixation des impuretés en suspension dans l'eau. Il est certes possible d'obtenir des résultats fidèles avec ces types de sondes, mais en utilisant une eau très pure.

Par contre, les cônes ont donné d'excellents résultats même dans de l'eau volontairement chargée de poussières. Les sondes coniques sont, à notre avis, les seules utilisables dans une eau non filtrée (photo 4).

3. Etude de la vitesse dans l'eau en rotation.

La condition essentielle dans le tarage des sondes est de connaître parfaitement la vitesse en tout point de l'écoulement dans lequel s'effectue la cali-

bration. Il est en effet inutile d'avoir des sondes très sensibles si on ne peut faire correspondre à tout voltage une vitesse connue avec la même précision.

La première vérification a consisté à introduire dans l'écoulement un micro-moulinet. Les vitesses obtenues à l'aide de cet instrument ont été parfaitement en accord avec les vitesses théoriques.

Nous avons ensuite vérifié que la présence de la sonde ne créait pas un ralentissement local. Nous avons préchauffé la sonde dans l'air et nous avons ensuite effectué une plongée, ce qui est peu recommandé pour la sonde car la brusque introduction d'une sonde en opération dans l'eau risque de la briser. Nous avons enregistré sur papier photographique (enregistreur U.V. SE Lab. 3 012) le déroulement de l'opération, et nous pouvons constater (planche 3) qu'après une révolution de la cuve,

la vitesse ne varie pas. Nous pensons qu'une remise en vitesse efficace, due à la rotation, élimine tout effet de ralentissement. Par contre, dans le cas d'une sonde en rotation dans un liquide immobile, il doit y avoir accélération progressive des couches liquides en contact avec la sonde, ce qui ne peut que fausser les résultats.

La dernière vérification, qui s'est avérée aussi concluante que les précédentes, a été donnée par les courbes de calibration elles-mêmes. Pour deux vitesses angulaires différentes ω_1 et ω_2 de la cuve, la même vitesse V est théoriquement obtenue dans l'écoulement pour un rayon R_1 , dans le cas de ω_1 , et pour un rayon R_2 , dans le cas de ω_2 . Les courbes de calibration correspondant à différentes vitesses de rotation de la cuve, doivent donc avoir certaines portions en commun. Les planches 4 et 5

3/ Enregistrement de la plongée de la sonde.
Recording of sudden probe immersion.

4/ Courbes de calibration.
Calibration curves.

4/

3/

5/

6/

7/

8/

6/ Influence de la surchauffe.
Effect of amount of heating.

7/ Sensibilités dE/dV en fonction de la vitesse pour différentes surchauffes.
Sensitivity dE/dV vs. velocity, for various amounts of heating.

8/ Sensibilités dE/dV en fonction de la vitesse.
Sensitivity dE/dV vs. velocity.

9/ Influence de la profondeur de plongée de la sonde.
Effect of probe immersion depth.

9/

montrent qu'il en est bien ainsi dans la réalité. Ceci prouve que les perturbations créées par la sonde sont négligeables et que la répartition des vitesses le long d'un rayon est bien linéaire. Nous avons également fait tomber dans l'écoulement des petits grains de permanganate dont la trainée est venue confirmer nos hypothèses.

4. Courbes de calibration.

Les planches 4 et 5 donnent des exemples de courbes de calibration.

La cuve et l'eau qu'elle contient étant tout d'abord immobiles, on place la sonde à l'intérieur du liquide et on mesure la « résistance froide » de l'élément sensible. On déplace ensuite la sonde en différents points du fluide et on vérifie que la résistance froide ne varie pas, ceci pour déceler une éventuelle non-uniformité de la température. En effet, la résistance froide varie avec la température du milieu environnant. On applique ensuite le coefficient de surchauffe choisi. Ceci permet de mesurer le voltage correspondant à la vitesse nulle de l'écoulement. L'ensemble cuve-eau est alors mis en rotation et, après stabilisation, les mesures sont effectuées.

La sonde est plongée assez profondément dans l'écoulement (profondeur supérieure à 2,5 cm) pour éviter tout effet de surface (voir paragraphe 5). Le support de sonde peut être déplacé horizontalement avec une grande précision à l'aide d'une vis, ce qui rend négligeables les erreurs sur la vitesse.

Avant d'effectuer toute mesure, on peut aisément centrer l'élément sensible au point $V = 0$, centre de la cuve. Mais on ne pourra pas effectuer de mesure de vitesse valable pour un rayon inférieur à 7,5 cm. Entre 0 et 7,5 cm la longueur de la sonde n'est plus négligeable devant le rayon et les perturbations de l'écoulement lorsque la sonde est proche du centre de la cuve sont importantes.

La planche 4 donne un exemple de courbe de calibration tracée avec une grande précision. Les mesures ont été effectuées pour des déplacements de la sonde de 1,75 cm (0,5 pouce).

Pour chaque série de mesures correspondant à une vitesse de rotation de la cuve, nous choisissons une « position-repère » de la sonde. En effet, au début de la série de mesures, nous plaçons la sonde à une abscisse donnée R et nous relevons le voltage correspondant. La série de mesures achevée, avant de changer la vitesse de rotation de la cuve, nous replaçons la sonde en R et nous vérifions que le voltage n'a pas varié. Ceci permet de déceler toute dérive en cours de mesure, dérive due à une contamination de la sonde ou à une variation de température qui serait éventuellement venue fausser la courbe de calibration.

Ce mode de calibration permet également une linéarisation aisée. D'autre part, chaque coefficient de surchauffe donne une courbe de calibration. La planche 6 montre un réseau de courbes couvrant le même domaine de vitesses.

On a pu, à partir de ces courbes de calibration, déterminer la sensibilité à la vitesse. Nous avons présenté les variations de cette sensibilité sous forme de courbes (planches 7 et 8).

La sensibilité S à la vitesse est égale à dE/dV . Elle est donc donnée par la pente de la tangente en tout point à la courbe de calibration.

La planche 7 montre que cette sensibilité croît avec le coefficient de surchauffe.

5. Influence de la profondeur à laquelle se trouve plongée la sonde.

La planche 9 montre l'influence de la profondeur à laquelle se trouve plongée la sonde. L'expérience a été faite avec une sonde soumise à une vitesse constante de 27,6 cm/s pour une période de révolution de la cuve de 4,04 s. Nous avons tenté d'expliquer ce brusque accroissement de voltage près de la surface. Cela ne peut être une accélération en surface. On devrait en fait avoir un ralentissement.

10/ Influence de la surface libre sur les courbes de calibration.

Effect of free surface on calibration curves.

Un gradient de température (température plus élevée en surface) aurait créé une variation inverse.

Nous pensons simplement à une action de la surface libre sur les lignes de courant autour de la sonde. Il se produit un phénomène de « ventilation ».

Nous avons alors veillé à effectuer nos mesures en plaçant la sonde à une profondeur constante de 1,75 cm (0,5 pouce). Nous avons constaté (planche 10) que les courbes de calibration ne se recouvraient plus. L'écart devenait de plus en plus sensible pour de grandes vitesses de rotation. Nous en avons déduit, un peu rapidement, que le mode de calibration n'était valable que pour de faibles vitesses, en rapport avec le diamètre de la cuve.

En fait, il n'en est rien. A plus hautes vitesses de rotation, l'influence de la surface libre se fait sen-

11/ Intensité de turbulence.
Turbulence intensity.

tir plus profondément. En plongeant la sonde plus loin dans l'écoulement, les courbes de calibration se recoupent parfaitement (planche 5).

Il faut donc veiller, au cours des mesures, à plonger la sonde à une profondeur suffisante pour que l'influence de la surface libre ne se fasse pas sentir. Il existe un seuil de plongée au-delà duquel le voltage reste constant, quelle que soit la vitesse de rotation de la cuve.

6. Vitesse maximale de rotation de la cuve.

La vitesse maximale est limitée par le moteur électrique et la taille de la cuve. En effet, la planche 5 montre bien qu'à haute vitesse, les résultats sont aussi satisfaisants. La vitesse maximale qui a pu être mesurée est de 1,75 m/s pour une période de révolution de 0,80 s.

La construction d'une cuve deux fois plus grande que celle-ci, par exemple, permettrait d'atteindre une vitesse maximale de 3,5 m/s pour la même période de révolution.

Elle donnerait également une plus grande précision dans le domaine des faibles vitesses (0 à 10 cm/s).

La réalisation d'une cuve plus grande ne serait pas plus compliquée et offrirait donc des avantages supplémentaires.

7. Influence de la paroi de la cuve sur la calibration.

Les planches 4 et 5 montrent que les mesures effectuées près de la paroi ne sont pas affectées par celle-ci.

Les courbes de calibration sont bien continues et une mesure de la vitesse V effectuée près de la paroi, pour une vitesse angulaire ω_1 , sera identique à celle de la même vitesse V effectuée plus vers le centre de la cuve pour une vitesse angulaire $\omega_2 > \omega_1$.

La proximité de la paroi n'affecte absolument pas les mesures.

8. Influence de l'angle d'attaque de la sonde.

Nous ne parlerons ici que des sondes coniques puisque ce sont les seules que nous avons pu utiliser d'une manière valable dans la cuve de calibration. Dans un écoulement de vitesse uniforme, l'angle d'attaque de la sonde conique peut être assez important sans que les résultats fournis par la sonde soient altérés. Dans notre cas, il faut bien voir qu'une variation de l'angle d'attaque de la sonde place l'élément sensible sur un cylindre de vitesse supérieure ou inférieure à la vitesse théorique. En fait, étant donné la faible longueur de la sonde, l'erreur est négligeable. Nous avons néanmoins muni le support de sonde d'un repère permettant de placer la sonde tangentiellement au cylindre de vitesse sur lequel se trouve l'élément sensible.

9. Intensité de la turbulence.

L'anémomètre permet de mesurer les intensités de turbulence, le « voltmètre rms » donnant la racine carrée de la valeur quadratique moyenne de la fluctuation de tension aux bornes de la sonde, soit $\sqrt{\overline{e^2}}$.

L'intensité de turbulence I est alors égale à :

$$I = \frac{\sqrt{\overline{u^2}}}{\overline{V}} = \frac{V_{rms}}{(dE/dV) \cdot \overline{V}} = \frac{\sqrt{\overline{e^2}}}{(dE/dV) \cdot \overline{V}}$$

Les résultats obtenus ont été portés sur la planche 11. Sur la même planche, on a fait figurer les résultats de M. Resch, obtenus dans le cas d'un écoulement dans une conduite cylindrique, résultats en accord avec ceux d'autres chercheurs tels que Laufer, Baldwin, Sandborn, Newmann et Leary, etc.

On constate que, dans notre cas, l'intensité de turbulence est plus faible qu'en conduite. Les variations de I sont semblables dans les deux cas.

10. Influence de la température.

Notre installation nous a permis d'effectuer une calibration de sondes à température constante. Nous n'avons pu, malheureusement, faire varier la température de l'eau. Certes, nous avons observé certaines variations de température de l'eau et obtenu des courbes de calibration à température constante, pour différentes températures de l'eau. Mais nous n'avons pu commander à volonté ces variations de température.

Il ne peut être question d'introduire dans l'eau des éléments chauffants. L'écoulement serait perturbé et la température ne serait pas uniforme. De même, chauffer les parois de la cuve créerait des gradients de température au sein du liquide.

La seule possibilité consiste à entourer la cuve et le support d'une enceinte isolante, en fibre de verre transparente par exemple, et à thermostatier l'intérieur de l'enceinte. Ceci se fait couramment, en biologie notamment. L'encombrement de la cuve et du support étant réduit, les dimensions de l'enceinte seraient raisonnables. Elle serait alors facile à thermostatier. Les parois de l'enceinte pourraient

être munis de « gants de manipulation ». Un avantage supplémentaire serait la protection contre les poussières.

E. — Conclusions

Ce mode de calibration présente, comme toute installation, des avantages et des inconvénients.

Le fait de ne pouvoir faire varier à volonté la température de l'eau est un inconvénient important. On peut le pallier aisément de la manière indiquée au paragraphe D 10. D'autre part, comme on n'utilise qu'un volume d'eau réduit, la densité de poussières dans l'eau augmente sans cesse et il faut prendre des précautions indispensables comme changer l'eau souvent et protéger l'intérieur de la cuve de la contamination.

Mais les avantages d'un tel système sont nombreux. On n'utilise qu'un volume de liquide réduit et ce liquide peut être changé très aisément. Ceci importe peu pour l'eau, par exemple, mais peut être pris en considération dans le cas d'un liquide qu'on ne peut obtenir qu'en petites quantités.

D'autre part, la calibration est très précise et peut être effectuée très rapidement (il nous est arrivé de faire trois courbes de calibration en 10 mn) ce qui présente des avantages évidents.

Le domaine de vitesses peut être sélectionné très aisément et une linéarisation peut être effectuée facilement puisqu'on dispose d'une gamme continue de vitesses.

Ceci constitue donc un système de calibration qui permet de calibrer avec précision les sondes à film chaud dans les liquides. Nous ajouterons qu'il pourrait être également utilisé pour la calibration d'autres instruments de mesure de vitesses.

Bibliographie

- [1] HINZE (J.). — Turbulence. *MacGraw Hill* (1959).
- [2] VAN DER EGGE ZIJNEN. — Modified correlation formulae for the heat transfers by natural and by forced convection from horizontal cylinders. *Appl. Sci. Res.*, section A, vol. 6 (1956).
- [3] HUBBARD (P.G.). — Operating manual for the LIHR hot wire and hot film anemometers. State University of Iowa.
- [4] MIDDLEBROOK and PIRET. — Hot wire anemometry. Solution of some difficulties in measurement of low water velocities. *Industrial and engineering chemistry* (août 1950).
- [5] COMTE-BELLOT (G.). — Les anémomètres à fil chaud et la mesure des fluctuations de vitesse et de température. Laboratoire de Mécanique des Fluides, Université de Grenoble. Séminaire organisé par l'Académie des Sciences de Pologne, Jablona (1961).
- [6] COMTE-BELLOT (G.). — Ecoulement turbulent entre deux parois parallèles. Thèse Grenoble (1963).
- [7] RESCH (F.). — Etudes sur le fil chaud et le film chaud dans l'eau. Thèse Marseille (1968).
- [8] RAICHLEN (F.). — Some turbulence measurements in water. *Journal of the Engineering Mechanics Division ASCE* (avril 1967).
- [9] BOUVARD (M.) et DUMAS (H.). — Application de la méthode du fil chaud à la mesure de la turbulence dans l'eau. *La Houille Blanche*, n° 3 (1967).
- [10] BALDWIN (L.), SANDBORN (V.), LAURENCE (J.). — Heat transfer from transverse and yawed cylinders in continuum, slip, and free molecule air flows. *Journal of Heat Transfer* (mai 1960).
- [11] LAUFER (J.). — Investigation of turbulent flow in a two-dimensional channel. *Report NACA 1053* (1951).
- [12] KING (L.V.). — On the convection of heat from small cylinders in a stream of fluid: determination of the convection constants of small platinum wires with applications to hot-wire anemometry. *Phil. Trans.* A, vol. 214.
- [13] BANKOFF (S.) et ROSLER (R.). — Constant-temperature hot-film anemometer as a tool in liquid turbulence measurements. *The review of scientific instruments* (novembre 1962).
- [14] BROER (L.), HOOGENDOORN (C.), KORTLEVEN (A.). — Some investigations on low-speed anemometry. *Appl. Sci. Res.*, section A, vol. 7.

Abstract

Calibration of hot-film probes in rotating water

by P.-E. Brunelle * M. Gautier ** and J. Pichon ***

For our study of turbulence on moving sand beds behind a dam, we have chosen the system which seems to be the most accurate: the hot-wire and hot-film anemometry equipment.

We use a DISA constant-temperature anemometer and quartz-coated hot-film probes: wedge-cylindrical and conical probes.

The first problem we have to solve is a calibration problem: voltage *vs* velocity curves.

In this paper, we study a new system of calibration. We have built a cylindrical tank turning around its vertical axis. We put some water in and after this water has been accelerated, all the system looks like a rotating solid. The velocity distribution is linear from the center (0) to the wall of the tank (V_{max}).

We have studied the drift due to the contamination of the water by dust, the velocity distribution in the water, and the influences of the free surface, the wall of the tank, the temperature...

Unfortunately, it is difficult to vary the temperature of the water: we need a thermostatic closed space.

This system of calibration seems to be very precise for low and high velocities.

* Ing., M.Sc.A. Doc. Ing. en hydraulique (Toulouse). Directeur du Département de Génie civil de la Faculté des Sciences Appliquées.

** Ing. ENSEIHT. Assistant de recherche au Département de Génie civil de la Faculté des Sciences Appliquées. Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Qué), Canada.

*** Ing. E.I.M. Doc. Ing. en hydraulique (Toulouse). Professeur adjoint au Département de Génie civil de la Faculté des Sciences Appliquées. Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Qué), Canada.