

MESURE DE LA TURBULENCE DANS UN
ECOULEMENT D'EAU EN CONDUITE CIRCULAIRE
A PAROI RUGUEUSE

THESE

présentée à

L'ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE ZURICH

pour l'obtention

du titre de Docteur ès sciences techniques

par

FELIX RAEMY

Ingénieur civil dipl. EPFZ

né le 29 mai 1939

originaire de Plaffeien (canton de Fribourg)

acceptée sur proposition

du Professeur Dr. T. Dracos, rapporteur

du Professeur Dr. D. Vischer, corapporteur

1978

La thèse est publiée en entier comme rapport no. 14-78 de l'Institut
d'Hydromécanique et d'Aménagement des Eaux de l'Ecole Polytechnique
Fédérale de Zurich

RESUME

De nature essentiellement expérimentale, le présent travail a pour objet la description de la structure turbulente caractérisant un écoulement d'eau au voisinage d'une paroi rugueuse, l'information acquise devant fournir une contribution à l'étude du mécanisme du transport des sédiments sur fond fixe ou mobile.

Les mesures de turbulence ont été effectuées dans une conduite circulaire à paroi recouverte de grains naturels de quartz et montée dans une soufflerie à eau en circuit fermé. Dix essais ont été réalisés à des nombres de Reynolds compris entre $0.85 \cdot 10^5$ et $3.41 \cdot 10^5$, correspondant au domaine du frottement hydrauliquement rugueux de la conduite. Les valeurs instantanées de la composante axiale de la vitesse ont été relevées par la méthode de l'anémométrie à film chaud dans une section de la conduite située à environ 70 diamètres de l'entrée, soit dans une zone où l'écoulement était pleinement développé. Afin de permettre l'utilisation correcte des sondes à film chaud dans l'eau, les précautions nécessaires ont été préalablement prises quant à l'équipement et à la préparation de l'installation d'essai.

Le signal turbulent, transmis par un anémomètre à température constante relié à un linéarisateur, a été enregistré sur bande magnétique analogique puis traité ultérieurement sur ordinateur. Après échantillonnage et conversion des tensions en grandeurs de vitesse, les caractéristiques du mouvement moyen et de la turbulence ont été déterminées à l'aide des méthodes statistiques usuelles.

Les résultats obtenus présentent dans leur ensemble une bonne concordance avec ceux de travaux analogues réalisés par d'autres auteurs en écoulement d'air sur fond rugueux. Il s'avère ainsi que les intensités turbulentes, normalisées par la vitesse de frottement u_τ , sont indépendantes du nombre de Reynolds dans le profil de mesure. En outre, elles ne dépendent pas de la nature de la paroi sauf à proximité immédiate de celle-ci. La répartition de la densité de probabilité de la vitesse, nulle part gaussienne, montre une asymétrie positive à la paroi, respectivement négative au centre de la conduite. Les densités spectrales de puissance normalisées sont indépendantes du nombre de Reynolds mais indiquent par contre une variation systématique avec la distance à la paroi. La microéchelle de Taylor λ_x

croît avec l'éloignement de la paroi pour atteindre une valeur maximale à environ la moitié du rayon de la conduite. A rugosité relative donnée, elle diminue lorsque le nombre de Reynolds augmente. Le calcul de cette micro-échelle a montré clairement la nécessité d'échantillonner le signal avec une fréquence suffisamment élevée, si des erreurs grossières dues à une perte excessive d'information dans le domaine haute-fréquence veulent être évitées. Enfin, la dissipation de l'énergie turbulente décroît fortement de la paroi au centre de la conduite. En un point fixe de l'écoulement, elle augmente avec le nombre de Reynolds.

Limitée à l'analyse d'une seule composante de la vitesse instantanée locale, la présente étude ne fournit nécessairement qu'une image incomplète de la structure turbulente recherchée. Quelques suggestions concernant les possibilités d'extension de ce travail sont formulées sur la base des enseignements recueillis.

ABSTRACT

The structure of turbulence in water flow over a rough boundary is investigated experimentally. The instantaneous values of the axial velocity component were measured with hot-film anemometry in a rough-surfaced circular conduit. The tests were carried out at high Reynolds numbers ($0.85 \cdot 10^5 \div 3.41 \cdot 10^5$) corresponding to the hydraulically rough field of the pipe. Some turbulence characteristics of the flow, such as turbulent intensities, probability density distributions of the fluctuating velocity with values of skewness and kurtosis, turbulence spectra, Taylor microscales, turbulent energy dissipation, were determined by digital data reduction. They are presented and compared with those obtained by other authors in air flows near smooth and rough walls. A satisfactory agreement of the results was generally found.

Suggestions for possible future studies are also presented.