

Caractéristique directionnelle calculée et mesurée d'une sonde électrochimique

Frédéric Barbeau^a, Vaclav Sobolik^b, Serguei Martemianov^a, Laurent Gbahoue^a

^a LET-UMR CNRS 6608, ESIP, Université de Poitiers, 40, av. du Recteur Pineau, 86022 Poitiers cedex, France

^b LMTAI, Pôle Sciences, Université de La Rochelle, av. Michel Crepeau, 17042 La Rochelle cedex 1, France

Reçu le 12 novembre 2001 ; accepté après révision le 29 avril 2002

Note présentée par René Moreau.

Résumé

Les sondes électrochimiques tri-segmentées sont couramment utilisées pour la mesure des composantes des contraintes pariétales. La variation du courant de chaque segment en fonction de l'angle d'écoulement θ , donne les caractéristiques directionnelles bien connues pour une sonde idéale de géométrie parfaite. L'utilisation de ces caractéristiques « idéales » entraîne une erreur sur l'angle θ , de l'ordre de 15° . Cette note vise à améliorer la précision de mesure sur θ , en faisant appel aux caractéristiques directionnelles calculées à partir de la photographie d'une sonde. Les courbes caractéristiques directionnelles obtenues permettent d'améliorer la précision des mesures de l'angle d'écoulement de 50%. *Pour citer cet article : F. Barbeau et al., C. R. Mécanique 330 (2002) 433–436.* © 2002 Académie des sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

mécanique des fluides / méthode électrochimique / sondes tri-segmentées / contrainte pariétale / traitement d'image

Calculated and measured directional characteristic of an electrochemical probe

Abstract

The present paper demonstrates how the directional characteristics of an actual three-segment electrodiffusional sensor can be calculated from the probe image. It was shown that utilization of 'ideal' directional characteristics lead to an important (up to 15°) error in flow angle determination. The directional characteristics calculated from the probe image improve significantly (up to 50%) the accuracy of the flow angle measurements. *To cite this article : F. Barbeau et al., C. R. Mécanique 330 (2002) 433–436.* © 2002 Académie des sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

fluid mechanics / electrochemical method / three-segment probe / wall shear stress / image treatment

1. Introduction

Dans les zones de séparation de la couche limite, une mesure précise de l'angle θ , entre la direction principale de l'écoulement et celle au voisinage de la paroi est indispensable pour en déterminer la structure. Grâce à l'utilisation de sondes électrochimiques doubles, la mesure des deux composantes de la contrainte pariétale et de l'angle θ peut s'effectuer. Le principe de mesure est basé sur la comparaison des deux

Adresse e-mail : martemianov@esip.univ-poitiers.fr (S. Martemianov).

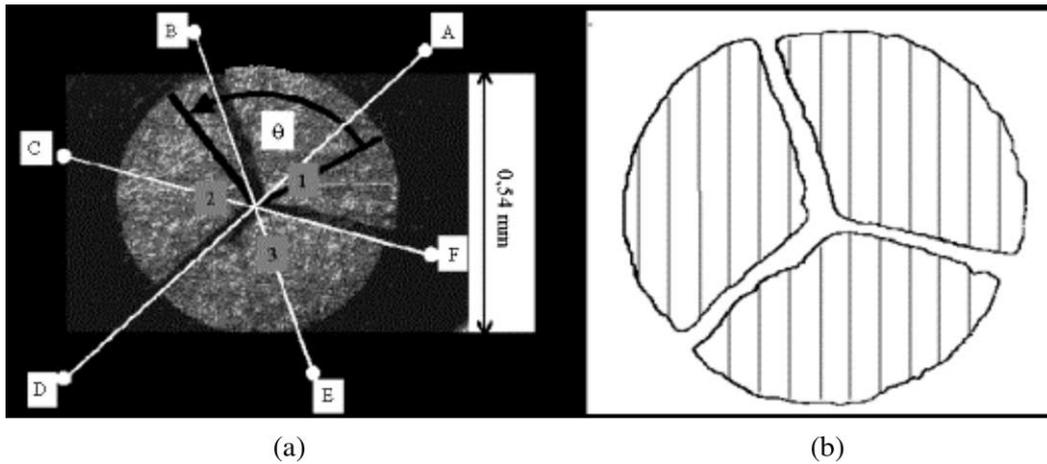


Figure 1. (a) Microphotographie de la sonde tri-segmentée, (b) Contours issus du traitement d'image de la sonde.
Figure 1. (a) Microphotograph of the three-segment probe, (b) Outlines of the probe get by the image treatment.

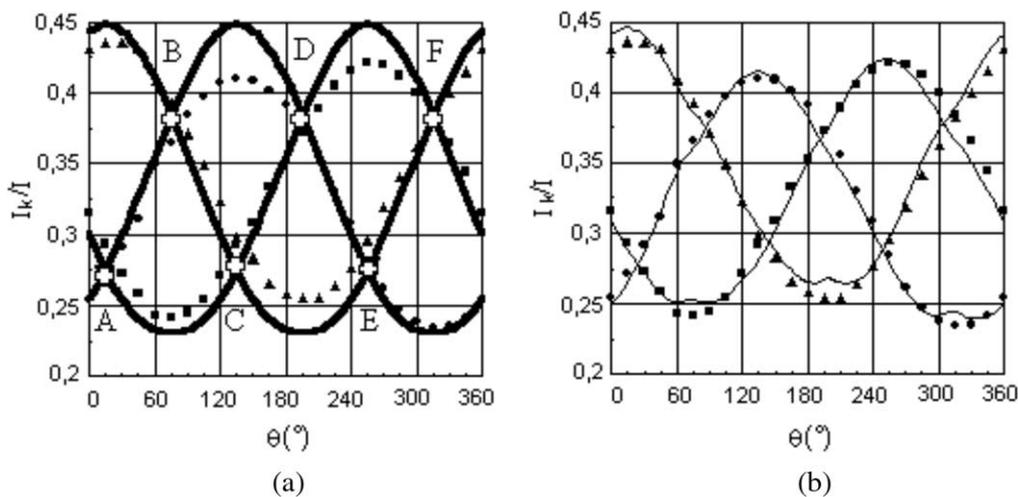


Figure 2. Comparaison des courbes caractéristiques directionnelles de la sonde ($I = \Sigma I_k$). (a) Théorie pour la sonde idéale [3]; (b) calcul à partir d'image (—), cet article points expérimentaux : segment 1 (▲), segment 2 (●), segment 3 (■).

Figure 2. Comparison of directional characteristics of the probe ($I = \Sigma I_k$). (a) Ideal probe [3]; (b) Calculated from the image (—), present work experimental data: segment 1 (▲), segment 2 (●), segment 3 (■).

courants issus des segments de sonde [1,2]. Cependant, la sensibilité de ce type de sonde est mise en défaut lorsque l'écoulement devient perpendiculaire à la frontière isolante.

Cette lacune a été comblée par les sondes électrochimiques tri-segmentées (Fig. 1a). Celles-ci sont constituées de trois segments métalliques électriquement isolés, polarisés au même potentiel par rapport à une électrode commune. La théorie des sondes tri-segmentées dites idéales (dont l'épaisseur de la frontière isolante est négligeable et le contour des secteurs parfaitement circulaire) est développée dans [3]. Cette théorie donne la courbe des caractéristiques directionnelles, c'est-à-dire la variation du courant adimensionné de chaque segment I_k/I , en fonction de l'angle θ (Fig. 2a). L'intersection des courbes

théoriques (A, B, C, D, E, F) partage le domaine de θ en six sous domaines (Figs. 1a et 2a). L'angle θ est déterminé à partir du courant mesuré, de chacun des segments. En effet, supposons que $I_1 < I_2 < I_3$, dans ce cas θ se trouve dans le domaine [AB]. On utilise I_2 (courant central pour ce cas) afin d'obtenir la valeur de θ .

En raison de l'imperfection des sondes réelles, les caractéristiques directionnelles possèdent un décalage significatif, de l'ordre de 15° , par rapport à celles issues d'une sonde idéale. Ce phénomène s'observe sur la Fig. 2a, où sont présentés les résultats de mesures obtenues dans un canal hydraulique bidimensionnel (§3).

2. Image photographique et calcul des caractéristiques directionnelles d'une sonde réelle

La Fig. 1a montre la photographie d'une sonde obtenue à partir d'une caméra dont la résolution est de 936 pixels/mm. Nous pouvons constater une différence de surface géométrique entre chaque segment, ainsi que l'importance de l'épaisseur de l'isolant. À l'aide d'un traitement d'image, il est possible de lisser légèrement les bords des segments de la sonde. Grâce à l'élaboration d'un code de calcul, nous avons déterminé les coordonnées des contours et avons pu reconstituer les segments. Chacun des segments peut ainsi être découpé en un ensemble de lanières (Fig. 1b).

Le problème du calcul du courant limite de diffusion sur des lanières rectangulaires séparées par un isolant d'épaisseur finie a été traité par [4], en négligeant la diffusion moléculaire transversale et longitudinale. Les résultats de [4] permettent de calculer le courant ligne par ligne et de le sommer pour chaque segment de l'électrode. En procédant ensuite par rotation de l'électrode de 5° , redéfinissant ainsi de nouveaux jeux de lanières, nous aboutissons aux caractéristiques directionnelles de la sonde (Fig. 2b). L'incertitude sur la détermination pratique de la bordure des segments a peu d'influence sur le calcul des caractéristiques directionnelles (moins de 1%).

3. Détermination expérimentale des caractéristiques directionnelles de la sonde

Les mesures sont effectuées dans un canal rectangulaire dont la section est de $12 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm}$. Les caractéristiques directionnelles mesurées sont présentées sur les Figs. 2a et 2b. La sonde est affleurante à la paroi du canal. La section de mesure est située à une distance de l'entrée, supérieure à 100 fois le diamètre hydraulique. La solution électrolyte est composée de ferro-ferricyanure de potassium $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6/\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ en concentration de 20 mol/m^3 . Du sulfate de potassium K_2SO_4 est utilisé comme électrolyte support en concentration de 300 mol/m^3 . Le coefficient de diffusion de la solution obtenue est de $7,25 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, la viscosité retenue est celle de l'eau. Durant l'expérience, la solution circule entre deux cuves de 160 litres, sous l'action de la gravité. Le nombre de Reynolds n'est pas constant, mais reste laminaire ($\text{Re} = 1000 \pm 10\%$). Il existe un aplatissement des courbes caractéristiques réelles par rapport à celle d'une sonde idéale (Fig. 2a). Cependant les résultats expérimentaux sont en très bon accord avec les caractéristiques directionnelles calculées à partir de l'image photographique de la sonde réelle (Fig. 2b).

4. Conclusion

Cette étude montre que l'imperfection des sondes réelles est à l'origine du décalage important (environ 15°) entre les courbes caractéristiques directionnelles idéales et expérimentales. Par contre, les calculs issus du traitement d'image ainsi que les mesures expérimentales aboutissent à un bon accord. Donc il est possible de remplacer l'étalonnage des sondes électrochimiques par le calcul issu du traitement d'image. On constate que les courbes caractéristiques obtenues permettent d'améliorer la précision des mesures de l'angle de l'écoulement θ de 50%.

Remerciements. Ce travail a été accompli grâce au soutien financier de la région Poitou-Charente, le MENRT (Programme pluri-formation : « Transfert aux interfaces à l'échelle sub-micronique ») et le Ministère de l'Éducation, de la Jeunesse et des Sports de la République Tchèque sous le programme Européen COST F2.10.

Références bibliographiques

- [1] C. Deslouis, F. Huet, O. Gil, Spectral analysis of wall turbulence with a bicircular electrochemical probe, *Experiments in Fluids* 16 (1993) 97–104.
- [2] B. Py, Étude tridimensionnelle de la sous couche visqueuse dans une veine rectangulaire par des mesure de transfert de matière paroi, *Int. J. Heat Mass Transfer* 16 (1973) 129–144.
- [3] V. Sobolík, O. Wein, O. Gil, B. Tribollet, Three-segment electrodiffusion probes for measuring velocity fields close to a wall, *Experiments in Fluids* 9 (1990) 43–48.
- [4] O. Wein, K. Wichterle, Theory of segmented electrodiffusion probes: the effect of insulating insertions, *Collect. Czech. Chem. Com.* 54 (1989) 3198–3212.