Y. MADJIRSKY *

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE L'ATTACHEMENT D'UN JET PLAN TURBULENT A UNE PAROI PLANE

Malgré un certain nombre de contributions récentes, l'écoulement d'un jet plan turbulent mis en présence d'une surface plane et incliné vers cette surface ne paraît pas encore complètement étudié. L'écoulement se caractérise par une incurvation du jet et par l'existence d'un courant de recirculation compris entre le jet et la paroi : de telles conditions rendent difficile la recherche d'une solution théorique rigoureuse du problème.

Dans l'exposé qui suit, nous donnons un bref aperçu des résultats expérimentaux que nous avons obtenus et à l'aide desquels nous avons déterminé les caractéristiques essentielles de l'écoulement. La figure 1 donne un schéma des conditions choisies, ainsi que les principales notations. Nous avons effectué plusieurs séries d'expériences en considérant quatre valeurs de l'inclinaison α du jet par rapport à la plaque (45, 60, 90 et 120°) et cinq valeurs de la distance relative $\bar{B} = B/b_0$ de la buse à la plaque (2,5 - 5 - 10 - 20 et 40). Pour l'ensemble des essais, la vitesse initiale u_0 du jet d'eau a été maintenue constante et égale à 40 m/s.

A l'aide d'un micro-tube de Pitot, nous avons obtenu la répartition des vitesses et des pressions en différentes sections. Le profil des vitesses présente un maximum et le lieu des maximums a été porté sur la figure 2, l'abscisse x étant comptée à partir de la section de sortie de l'injecteur et l'ordonnée y_m du maximum, à partir de la plaque. Le diagramme de la figure 2 est exprimé sous forme adimensionnelle, B_0 étant la distance de l'axe de l'injecteur à la plaque, dans le plan de sortie de la buse. La figure 2 montre que, dans le domaine exploré, le lieu des maximums pour un angle α

1/ Conditions aux limites et notations.
Boundary conditions and notations.

2/ Lieu des vitesses maximales.
Locus of maximum velocity.

* Professeur à l'Université de Sofia (Institut de Mécanique appliquée & Electrotechnique).

donné peut être pratiquement confondu avec une droite inclinée d'un angle φ_m par rapport à la plaque. Le paramètre $\bar{B}$ ne semble jouer qu'un rôle secondaire dans l'évolution de φ_m en fonction de α , l'influence la plus sensible étant observée pour $\alpha = 90^\circ$.

Sur la figure 3, nous avons porté la valeur moyenne de φ_m en fonction de α et nous trouvons là encore une loi pratiquement linéaire. A la sortie de l'injecteur, le jet a une inclinaison initiale de $90^\circ - \alpha$ par rapport à la plaque; afin de mettre en évidence sa déviation sous l'effet de la plaque, nous avons tracé sur la figure 3 la droite $90^\circ - \alpha = f(\alpha)$; l'angle de déviation est la différence entre φ_m et $90^\circ - \alpha$, pour un angle α donné.

La figure 4 montre l'évolution de la composante horizontale U_{mx} de la vitesse maximale u_m en fonction de l'abscisse relative $\bar{x}$ ($\bar{x} = x/b_0$) et de l'angle α ; l'influence du paramètre B est pratiquement négligeable. Les courbes en trait plein correspondent à l'équation :

$$\frac{u_m}{u_0} = \bar{u}_m = \frac{3,8}{\sqrt{\bar{S}}} \quad (1)$$

avec $\bar{S} = S/h$, S étant l'abscisse curviligne comptée le long de la ligne des maximums de vitesse, h la demi-largeur de sortie de l'injecteur. Nous avons extrapolé la formule (1), classique pour un jet libre plan, au cas actuel, en procédant de la manière suivante :

Soient u_{mx} et u_{0x} les projections des vitesses u_m et u_0 sur l'axe des abscisses (fig. 1) :

$$u_{mx} = u_m \cos \varphi_m \quad \text{et} \quad u_{0x} = u_0 \sin \alpha$$

De plus : $x = S \cos \varphi_m$ et $h = b_0 \sin \alpha$.

Compte tenu de la formule (1) :

$$\frac{u_{mx}}{u_{0x}} = \frac{u_m}{u_0} \frac{\cos \varphi_m}{\sin \alpha} = \frac{3,8}{\sqrt{\bar{x}}} \sqrt{\frac{\cos^3 \varphi_m}{\sin \alpha}} = \frac{a}{\sqrt{\bar{x}}}$$

où :

$$a = 3,8 \sqrt{\frac{\cos^3 \varphi_m}{\sin \alpha}}$$

et :

$$\bar{x} = \frac{x}{b_0}$$

La figure 4 montre que les courbes ainsi calculées sont en très bon accord avec l'expérience.

La ligne des vitesses maximales partage l'écoulement, dans chaque plan vertical, en deux régions dont la plus proche de la paroi est appelée région interne du jet. En vue de représenter le profil des vitesses dans cette zone, nous avons admis l'expression :

$$\frac{u}{u_m} = 1 - 3\eta^2 + 2\eta^3 \quad (2)$$

u étant la vitesse au point considéré et :

$$\eta = (y_m - y)/\delta_1$$

y_m étant l'ordonnée de la vitesse maximale dans la section étudiée, δ_1 la distance verticale de la limite du jet au point de vitesse maximale. La formule (2)

3/ Déviation du jet.
Jet deviation.

4/ Courbes de vitesses maximales.
Maximum velocity curves.

suppose une affinité des profils et représente convenablement les résultats expérimentaux, comme nous l'avons montré précédemment [2].

Nous avons essayé de déterminer par le calcul la longueur L nécessaire pour que le jet recolte à la paroi (fig. 1). Nous avons tout d'abord écrit l'équation de continuité :

$$b_0 u_{0x} = \int_0^{\delta_1} u_x dy \quad (3)$$

en négligeant le débit du courant de retour. Puis nous avons appliqué le théorème des quantités de mouvement à la surface fermée 11' 22' (fig. 1) :

$$b_0 u_{0x}^2 = \int_0^{\delta_1} u_x^2 dy + \frac{\Delta p}{\rho} (B + b_0) \quad (4)$$

avec $\Delta p = p_a - p_i$, p_a étant sensiblement la pression atmosphérique, p_i étant mesurée à l'aide d'une prise statique placée en 1'.

Les relations (3) et (4) peuvent être écrites sous la forme adimensionnelle suivante :

$$1 = \bar{u}_{mx} \bar{\delta}_1 \int_0^1 \frac{u_x}{u_{mx}} d\eta = A_1 \bar{\delta}_1 \bar{u}_{mx} \quad (5)$$

5/ Evolution de la pression statique.
Static pressure curves.

6/ Evolution de la longueur de réattachement.
Reattachment length curves.

7/ Variation de la longueur de réattachement en fonction de l'inclinaison du jet sur la plaque.
Variation of reattachment length with jet angle to plate.

$$1 = \bar{u}_{mx}^2 \bar{\delta}_1 \int_0^1 \left(\frac{u_x}{u_{mx}} \right)^2 d\eta + \frac{\Delta \bar{p}}{2} (\bar{B} + 1)$$

$$= A_2 \bar{\delta}_1 \bar{u}_{mx}^2 + \frac{\Delta \bar{p}}{2} (\bar{B} + 1) \quad (6)$$

où :

$$\bar{u}_{mx} = \frac{u_{mx}}{u_{0x}}, \quad \bar{\delta}_1 = \frac{\delta_1}{B_0}$$

et :

$$\Delta \bar{p} = \frac{\Delta p}{(\rho u_{0x}^2)/2}$$

Les valeurs numériques des intégrales A_1 et A_2 ont été calculées à l'aide de l'équation (2) : $A_1 = 0,5$ et $A_2 = 0,37$.

Les équations (5) et (6) conduisent à :

$$(\bar{u}_{mx})_{22'} = \frac{2 - \Delta \bar{p} (\bar{B} + 1)}{1,48} \quad (7)$$

d'où, compte tenu de (1) :

$$\bar{x}_{22'} = \bar{L} = \left[\frac{1,4 a}{2 - \Delta \bar{p} (\bar{B} + 1)} \right]^2 \quad (8)$$

Cette équation donnerait la longueur relative de recollement $\bar{L} = L/B$ si la loi $\Delta \bar{p} = f(\bar{B})$ était connue. Quelques auteurs, dont Olson [3], Bourque et Newman [4], ont proposé des formules approchées de cette loi. Mais nous avons préféré utiliser directement nos résultats expérimentaux, représentés sur la figure 5. Ces valeurs ont été reportées dans l'équation (8) et nous avons ainsi obtenu une relation du type :

$$\frac{L}{B} = f(\bar{B}, \alpha)$$

se traduisant par des courbes que nous avons ensuite tracées en traits pleins sur la figure 6. Les courbes calculées sont en bon accord avec l'expérience. En particulier, pour $\alpha = 90^\circ$, si le rapport b_0/B est élevé, L/B est proche de 6,1, valeur donnée par Abramovitch [1].

Il semble par ailleurs intéressant de noter que, pour des valeurs de $\bar{B}$ comprises entre 20 et 40, la longueur relative L/B_0 est sensiblement constante pour un angle α donné. L'évolution de L/B_0 en fonction de l'angle α se traduit par la courbe représentée sur la figure 7. Pour des valeurs de α supérieures à 130° , la longueur de réattachement croît très rapidement si α augmente, de sorte que l'effet Coanda (adhérence du jet à la paroi) tend à disparaître.

Références

- [1] ABRAMOVITCH (G.N.). — The theory of turbulent jet. Moscou, (1960).
- [2] MADJIRSKY (V.). — Etude du mélange de deux jets parallèles : distribution des vitesses moyennes. *Annuaire VMEI*, Sofia, (1968).
- [3] OLSON (R.E.) and MILLER (D.P.). — Aerodynamic studies of free and attached jets. *UARL*, Report A-1771-24, (décembre 1963).
- [4] BOURQUE (C.) et NEWMAN (B.G.). — Reattachment of a two-dimensional incompressible jet to an adjacent flat plate. *Aero-Quarterly*, vol. II, (1960).

Gravure extraite de Architectura curiosa nova par G. A. BOCKLERN
Nuremberg (1664)