

UNIVERSITÉ POLYTECHNIQUE
DE LODZ
FACULTÉ: Internationale d'Ingénierie
SPÉCIALITÉ: Gestion et Technologie
II-ème année

**THERMODYNAMIQUE ET
MÉCANIQUE DES FLUIDES**

Travaux Pratiques
A l'Institut des Turbomachines

TRAVAIL PRATIQUE # 5

Jet Libre Subsonique

Personnes responsables du programme:
Dr ing. Jaroslaw R. Blaszcak (coté polonais)
Prof. Geneviève Comte-Bellot (coté français)

LODZ / LYON 2005

1. BUTS DU TRAVAIL

- Observer l'élargissement d'un jet et son ralentissement au fur et à mesure de son développement longitudinal,
- Apprendre à faire des mesures de vitesses moyennes,
- Déterminer la loi d'évolution de la vitesse moyenne maximale le long de l'axe et la forme des profils transversaux des vitesses moyennes,
- Comparer avec les répartitions théoriques qui existent dans la littérature.

2. INTRODUCTION

On considère un jet libre qui est issu d'une tuyère de section circulaire et qui débouche dans l'air ambiant à la même température que le jet. Du fait de la section circulaire, la répartition des vitesses moyennes présente une symétrie axiale. Le schéma de la figure 1 représente une coupe par un plan passant par l'axe.

Le jet comprend d'abord un noyau dit «cône potentiel» où la vitesse est constante et égale à celle de sortie du jet, dénotée par U_j . Il s'étend sur 4 diamètres environ. Autour il y a une zone de mélange, où le cisaillement est intense, puisque la vitesse moyenne passe dans cette zone de U_j à zéro. Ensuite, entre 5 et 15 diamètres environ, il y a une zone de réorganisation où les deux zones de cisaillement interfèrent. Plus en aval, au-delà de 15 diamètres, le jet présente un équilibre avec des lois affines pour décrire les profils de vitesses moyennes.

La figure 1 précise aussi les axes et les notations utilisées:

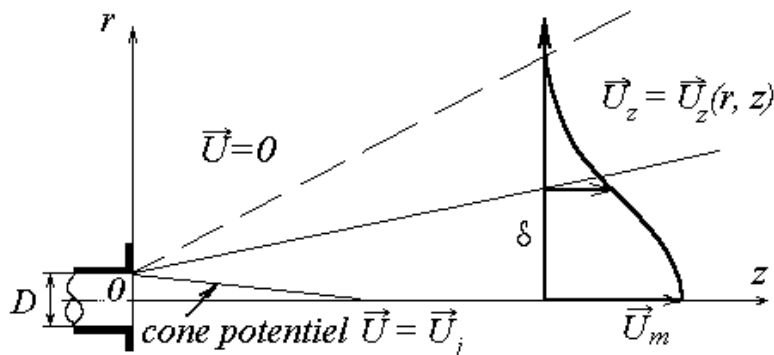


Fig. 1. Schéma du jet libre

O - origine à la tuyère, Oz - axe longitudinal, r - distance à l'axe, D - diamètre du jet,
 U_j - vitesse du jet en sortie de tuyère, U_z - vitesse moyenne longitudinale au point z , r ,
 U_m - vitesse moyenne longitudinale sur l'axe, maximale

Des travaux théoriques, rappelés dans le livre récent «Turbulence» de Bailly et Comte-Bellot (CNRS Editions, 2003, ISBN 2 271 06 008 70), fournissent les équations qui gouvernent la dynamique du jet et permettent de prendre conscience de deux mécanismes physiques essentiels qui gouvernent le développement longitudinal du jet:

- la quantité de mouvement injectée en sortie de tuyère se conserve en aval
- le jet entraîne du fluide ambiant, il va donc se ralentir, et s'élargir.

Le mouvement dans le jet est turbulent, c'est-à-dire que des transports latéraux de masse et de quantités de mouvement sont possibles. Ils sont complexes et liés à des instabilités dans les premiers diamètres. Plus en aval, lorsque des lois affines sont possibles, on a des résultats plus simples. Utilisant une approche de type longueur de mélange ou de viscosité turbulente pour les représenter, on arrive aux résultats théoriques suivants:

(1) évolution de la demi - largeur du jet

$$\frac{\delta}{D} = 0.10 \frac{z - z_0}{D} \quad (1)$$

δ étant la distance à l'axe pour laquelle $U_z = 0.5U_m$,

(2) évolution de la vitesse longitudinale sur l'axe:

$$\frac{U_m}{U_j} \approx 5.9 \frac{D}{z - z_0} \quad (2)$$

(3) forme des profils transversaux:

$$\frac{U_z}{U_m} = \exp(-\ln 2 \eta^2) \quad \text{avec} \quad \eta = \frac{r}{\delta} \quad (3)$$

avec z_0 est une origine fictive pour la zone d'équilibre, $z_0 \approx D$, la zone d'équilibre ne commençant pas à la tuyère elle-même.

La composante transversale de la vitesse moyenne U_r , est d'un ordre inférieur à celle de U_z . On n'en tient pas explicitement compte ici, mais elle joue un rôle essentiel dans l'entraînement par le jet qui est très rapide du fluide lent extérieur.

Dans les problèmes de ventilation où l'on utilise plusieurs jets d'air frais, Figure 2, on doit prévoir l'installation en utilisant l'expression rappelée ci-dessus. En effet on peut exiger que la vitesse U_{max} de l'air à une certaine hauteur h ne dépasse pas une limite fixée. Pour h on peut par exemple prendre la hauteur de la tête d'une personne au-dessus du sol ($h = 1.7$ m). Pour U_{max} on peut choisir 0.20 m/s afin que les personnes ne ressentent pas un effet de courant d'air. En outre, on devra veiller à ce que les jets n'interfèrent pas entre eux, car cela peut engendrer des instabilités et du bruit indésirable.

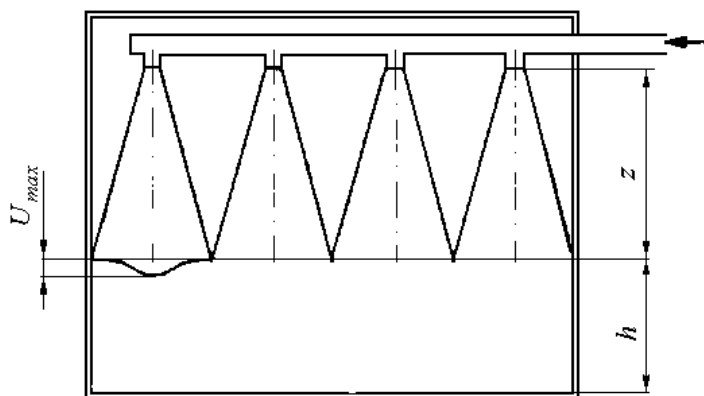


Fig. 2. Section verticale d'une pièce avec un système de ventilation utilisant un ensemble de jets

PREMIER TRAVAIL À EFFECTUER

Tracer les lois données par equations (1), (2) et (3). On présentera les résultats sous forme de courbes. Après il faut les vérifier avec les résultats des mesures.

3. SCHÉMA ET DESCRIPTION DU BANC DE MESURE

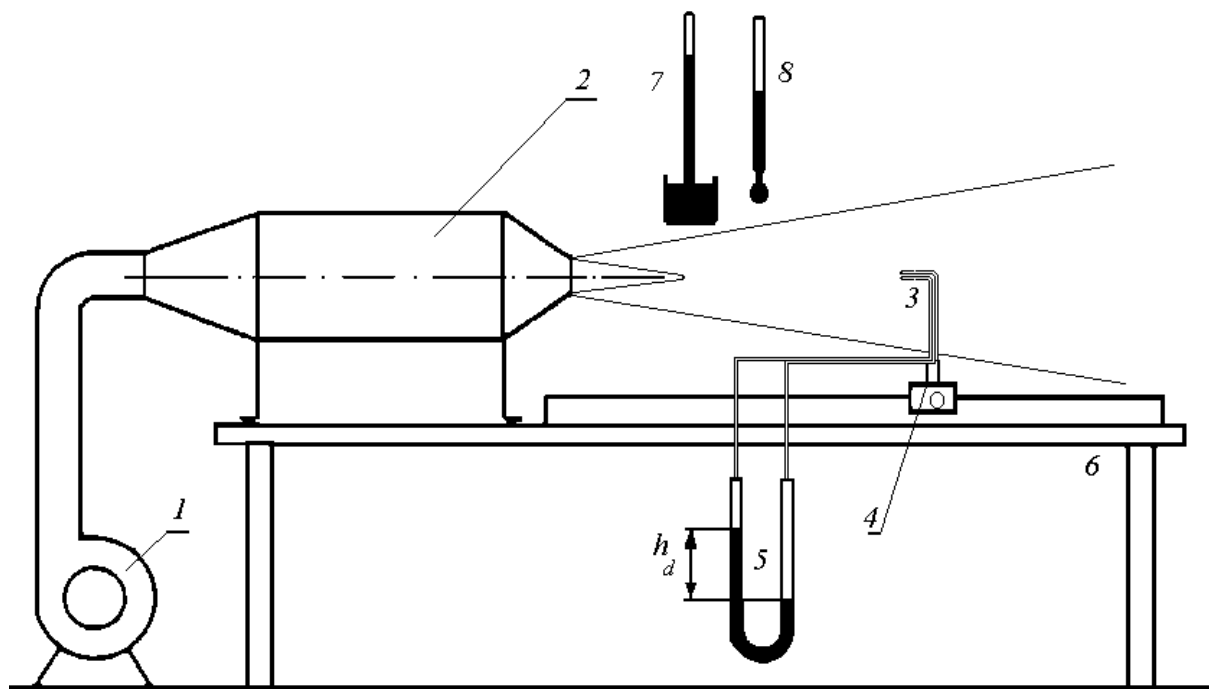


Fig. 3. Schéma du banc de mesure:

- 1 – ventilateur, 2 – veine d'alimentation du jet, 3 – sonde de Prandtl,
 4 – support de sonde, 5 – appareil de mesure, micromanomètre,
 6 – table, 7 – baromètre, 8 – thermomètre

Le banc de mesure est présenté sur la figure 3. Le jet est issu d'une buse de diamètre 60 ou 80 mm. Le ventilateur permet de réaliser une vitesse de sortie de tuyère $U_j = C^{te}$. On s'assurera de cette valeur et on la contrôlera au cours des essais. La sonde de mesure est un tube de Prandtl (ou de Pitot) relié à un micromanomètre à alcool. Le mécanisme de déplacement de la sonde sur la table permet d'amener la sonde en un point quelconque de coordonnées z et r . En z une valeur de l'ordre de 1 m peut être atteinte. On notera aussi les conditions ambiantes en utilisant le baromètre et le thermomètre.

4. MESURES À EFFECTUER

À l'aide d'un tube de Prandtl (ou de Pitot), mesurer les quantités suivantes:

- Pressions dynamiques p_d sur l'axe, de $z = 0$ à valeur maximale disponible, par incrément $dz = D/2 = 3 \text{ cm}$,
- Répartitions des pressions dynamiques p_{dyn} , dans les sections droites situées à $z = 3D$, $z = 6D$, $z = 9D$, $z = 12D$, $z = 15D$ etc. Dans le sens des r , on aura soin de prendre une douzaine de valeurs au moins.

ATTENTION: Lors des mesures on aura soin de bien attendre l'équilibre du manomètre et de prendre une valeur estimée moyenne s'il y a des variations.

- On notera aussi la pression atmosphérique p_a et la température ambiante T_a .
- On notera aussi la température du jet à la sortie de la tuyère T_j .

On consignera les résultats relevés au point 5 dans les tableaux clairs, et on prendra soin d'avoir assez de résultats pour les calculs qui vont suivre.

5. CALCULS À EFFECTUER

A partir des résultats du tableau, calculer les vitesses moyennes U_m et U_z en utilisant la relation de Pitot:

$$p_d = p_{tot} - p_s \quad p_d = \rho_m g h / k \quad U_z = \sqrt{\frac{2 p_d}{\rho}} \quad (4)$$

avec:

- ρ_m - densité de fluide manométrique ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), égale à 820 kg/m^3 ,
- g - accélération de la pesanteur $= 9.81 \text{ m/s}^2$,
- h - hauteur lue sur le manomètre qui correspond à la pression dynamique [m],
- k - constante du micromanomètre,
- ρ - densité de l'air [kg/m^3].

Pour cette densité ρ on suppose que la pression statique dans l'écoulement est égale à la pression atmosphérique extérieure:

$$\rho = \frac{p_a}{RT} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (5)$$

avec:

- p_a - pression barométrique [Pa],
- R - constante des gaz $= 287 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$,
- T - température de l'air ambiant [K]

6. TABLEAUX DES VITESSES MOYENNES

 $p_a =$ $t_A [^{\circ}\text{C}] =$ $\rho =$ $k =$ *Évolution longitudinale*

z	z/D	$h_{\text{tot}} [\text{mm}]$	$h_s [\text{mm}]$	$p_{\text{dyn}} [\text{Pa}]$	$U_z [\text{m/s}]$
0					
...					

*Évolution transversale**Section $z = 3D$*

$U_m =$			$\delta =$		
r	r/D	$h_{\text{tot}} - h_s$	p_{dyn}	U_z	U_z / U_m
0					
...					

Section $z = 6D$

$U_m =$			$\delta =$		
r	r/D	$h_{\text{tot}} - h_s$	p_{dyn}	U_z	U_z / U_m
0					
...					

Section $z = 9D$

$U_m =$			$\delta =$		
R	r/D	$h_{\text{tot}} - h_s$	p_{dyn}	Zu	U_z / U_m
0					
...					

Section $z = 12D$

$U_m =$			$\delta =$		
r	r/D	$h_{\text{tot}} - h_s$	p_{dyn}	U_z	U_z / U_m
0					
...					

Section $z = 15D$

$U_m =$			$\delta =$		
r	r/D	$h_{\text{tot}} - h_s$	p_{dyn}	U_z	U_z / U_m
0					
...					

7. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

A l'aide des tableaux ci-dessus tracer en fonction de z les courbes qui correspondent aux expressions (1) et (2). Pour (2) montrer d'avantage de tracer U_j/U_m plutôt que U_m/U_j . Tracer également les profils transversaux qui correspondent à la forme (3).

Effectuer dans chaque cas des comparaisons entre valeurs expérimentales et théoriques.

Quelle peut être la raison des écarts ?

Essayer de vérifier la conservation de quantité de mouvement du jet.

CALCULS COMPLÉMENTAIRES

Déterminer le débit du jet Q pour chacune des quatre sections transversales et tracer la courbe de Q/Q_j en fonction de z . Expliquer pourquoi Q/Q_j est croissant. Essayer de vérifier la conservation de la quantité de mouvement.

8. NOTES ET REMARQUES

Quelles sont vos suggestions pour améliorer les essais ?

Quelles seraient les mesures les plus indispensables à faire pour poursuivre l'étude ?

Avez-vous d'autres commentaires ?