

TP de fluide : Jet rond turbulent libre

11 Novembre, 2016

Groupe 1J:

Yedhir Mezache

Vincent Arnaud

Xunjie Zhang

1) Introduction

Le jet est l'écoulement produit par l'injection d'un débit de fluide dans un fluide au repos, à travers un orifice. Il a des effets dans plusieurs applications mécaniques telles que les courants océaniques ou la propulsion spatiale.

La turbulence désigne l'état de l'écoulement d'un fluide, liquide ou gaz, dans lequel la vitesse présente en tout point un caractère tourbillonnaire : tourbillons dont la taille, la localisation et l'orientation varient constamment.

Dans cette séance de TP, nous étudierons l'exemple d'un jet d'air turbulent à symétrie axiale à travers un tuyau dans un fluide supposé au repos qui sera l'air environnant.

Nous présentons notre expérience dans le schéma suivant :

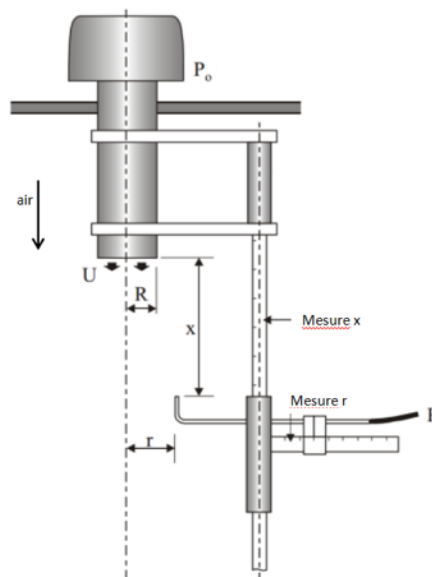


Figure 1 : Arrangement d'un jet turbulent

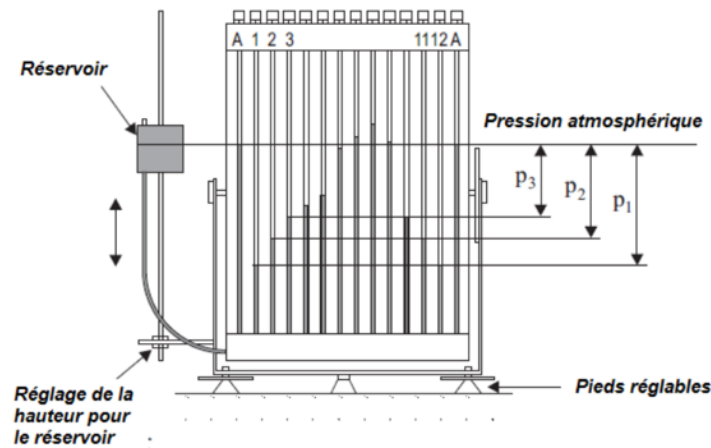


Figure 2 : Multimanomètre à 14 tubes

2) Objectif & Explication

Le jet d'air est dit libre et noyer car aucune paroi ne le perturbe et que le fluide que l'on injecte et son milieu sont identiques. Il est produit en étant évacué par la soufflerie, l'air traverse un tube court comme indiqué dans la figure 1. On utilise un récepteur pour mesurer la pression dans la région au-dessous du tube. Le récepteur est connecté avec le multimanomètre inclinable (figure 2). En même temps on détermine la position du récepteur avec deux instruments de mesure horizontal et vertical.

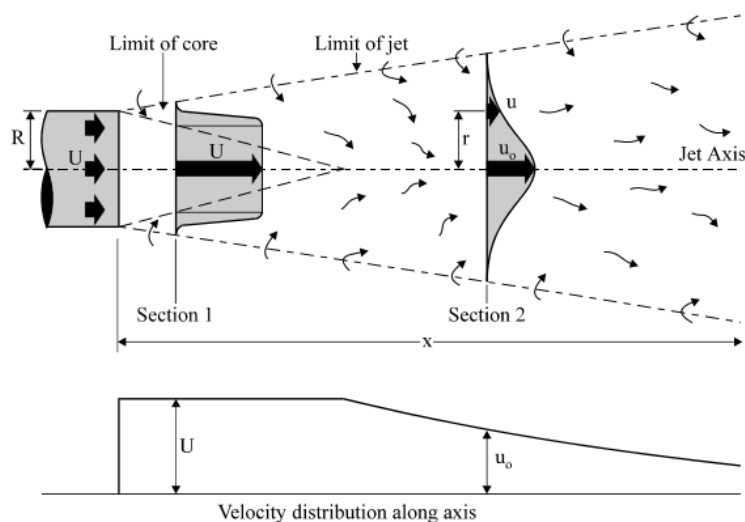


Figure 3 : Schéma d'une représentation de jet rond

Les caractéristiques essentielles d'un jet rond turbulent sont illustrées dans la Figure 3. Le tube de section transversale de rayon R est placé dans un grand volume de fluide

environnant (de l'air dans notre cas). Le jet commence à émerger de manière uniforme à la vitesse U à l'extrémité du tube à paroi mince. La discontinuité brutale de la vitesse au bord du tube donne naissance à un cisaillement.

La région à l'extérieur du jet, où la turbulence est très importante, est connue comme la *zone de mélange*, et la région à l'intérieur, intouchée par la turbulence, est connue comme le *cône potentiel* (de forme triangulaire). Dans le cône potentiel les vitesses sont sensiblement uniformes à travers le jet, et les fluctuations de vitesses sont de faible intensité.

Après la limite du jet, il y a la zone de transition, où l'ensemble du jet participe au mélange turbulent.

Dans cette zone, la vitesse à un endroit donné dépend uniquement de la distance transversale par rapport à l'axe du jet, et de la vitesse axiale au centre du jet.

Il convient de souligner que les profils de vitesse indiqués sur la figure 3 sont des distributions de vitesse moyenne, la direction moyenne est suivant l'axe du jet turbulent.

3)Analyse Théorique

On étudie la figure 3 et on peut trouver que la forme du champ de vitesse est indépendante du nombre de Reynold. On peut écrire la vitesse (d'axe du jet turbulent) comme une fonction suivante :

$$\frac{u_0}{U} = f\left(\frac{x}{R}\right)$$

Dans le cône potentiel, sans entraînement, on trouve :

$$\frac{u_0}{U} = 1$$

Quand x augmente, on peut regarder la forme de la fonction est fonction inverse. On pose:

$$\frac{u_0}{U} = \frac{c}{x}$$

Avec c = constante.

Maintenant, on cherche la formule de n'importe quelle position (r, x) , on définit une fonction :

$$\frac{u}{u_0} = g\left(\frac{x}{R}, \frac{r}{x}\right)$$

On a déjà connu la relation entre champ de vitesse et x , pour trouver une fonction g , on pose x = constante, et on obtient :

$$\frac{u}{u_0} = g\left(\frac{r}{x}\right)$$

On cherchera à vérifier la qualité de autosimilarité prévu par le modèle donné ci-dessus.

Ensuite, on peut trouver le flux de masse totale m , le flux de quantité de mouvement J et le flux de l'énergie cinétique E :

$$m = 2\pi\rho \int_0^\infty u r dr$$

$$J = 2\pi\rho \int_0^\infty u^2 r dr$$

$$E = 2\pi\rho \int_0^\infty \frac{1}{2} u^3 r dr$$

On présente les expressions initiales à la sortie du tube :

$$m_0 = \pi\rho UR^2$$

$$J_0 = \pi\rho U^2 R^2$$

$$E_0 = \frac{1}{2}\pi\rho U^3 R^2$$

Avec les résultats suivants :

$$\frac{m}{m_0} = 2 \int_0^\infty \left(\frac{u}{U}\right) \left(\frac{r}{R}\right) d\left(\frac{r}{R}\right)$$

$$\frac{J}{J_0} = 2 \int_0^\infty \left(\frac{u}{U}\right)^2 \left(\frac{r}{R}\right) d\left(\frac{r}{R}\right)$$

On cherchera à vérifier que nos mesures donneront que $J/J_0 = 1$.

4) Information sur le matériel :

Le multinomètre a été incliné à 80 % afin d'accroître la sensibilité de nos mesures, l'échelle a donc une amplification de 5, la lecture doit être multipliée par 0.2.

Il nous donne la pression atmosphérique, la pression au capteur et la pression à la sortie du tube.

Au préalable, notre encadrant a réglé la puissance de la soufflerie afin que le liquide dans le multinomètre ne sorte pas et que les résultats soient exploitables.

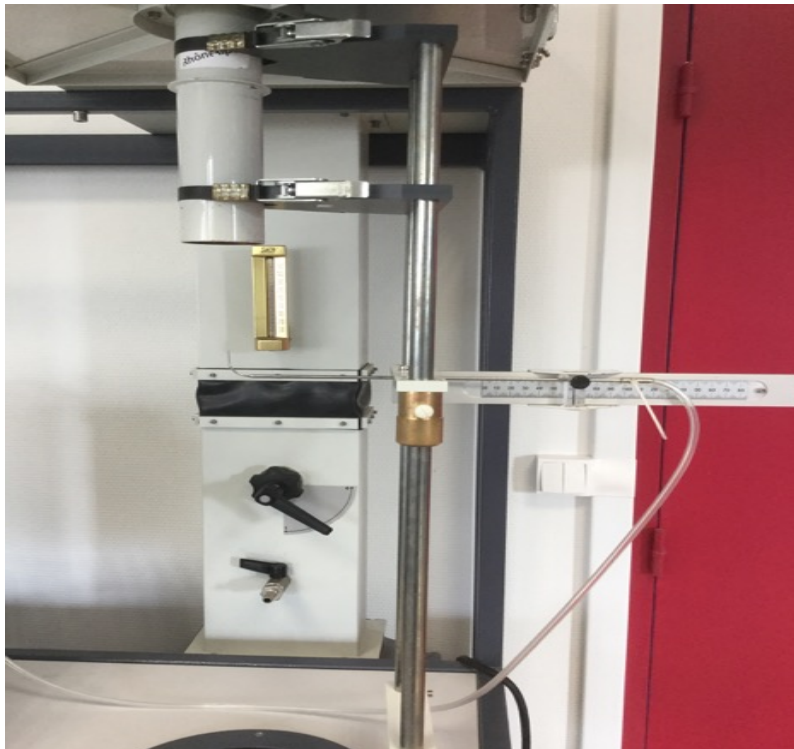


Photo du capteur et turbine



Photo de l'ensemble de notre système

Description des expériences :

-La première expérimentation consiste à placer le capteur à une distance de 10 cm de la sortie de la soufflerie ($x=10$ cm) et noter les valeurs tous les 5 mm (selon r) des différentes pressions en bougeant le capteur.

-La deuxième expérimentation consiste à placer le capteur à une distance de 20 cm de la sortie de la soufflerie ($x=20$ cm) et noter les valeurs tous les 5 mm (selon r) des différentes pressions en bougeant le capteur.

-La troisième expérimentation consiste à placer le capteur à une distance de 30 cm de la sortie de la soufflerie ($x=30$ cm) et noter les valeurs tous les 5 mm (selon r) des différentes pressions en bougeant le capteur.

Cela va nous permettre de comparé le profil du vecteur de vitesse en fonction de nos valeurs suivant x et r .

-La quatrième expérimentation fut de placer le capteur à $r=0$ et de relever les valeurs de la pression pour un x variant à chaque fois de 2 cm jusqu'à 40 cm.

Cela va nous permettre de comparé notre U_{max} en fonction de la distance x vis à vis du tube.

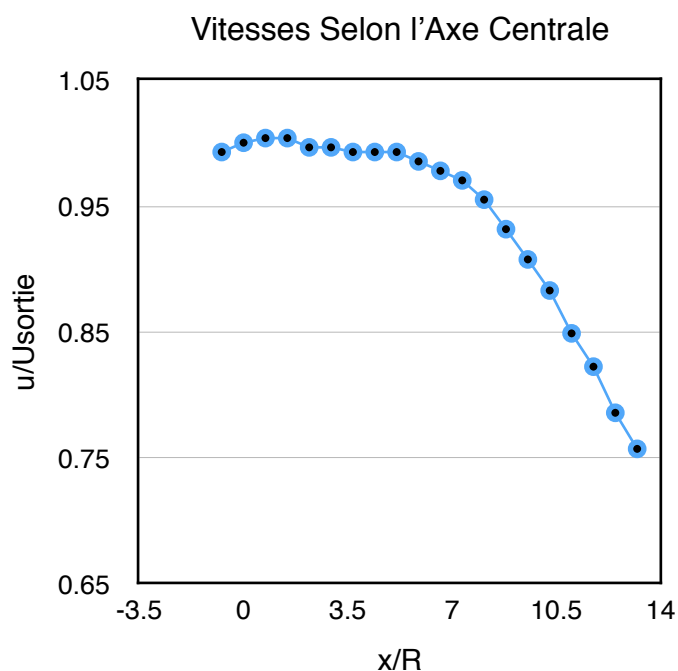
4) Resultats & Discussion

Paramètres de la configuration expérimentale	
Diammètre du jet tube	54.5 mm
Rayon	27.25 mm
Température de l'environnement	26 °C
Pression boîte	900 Pa
Pression atmosphérique	1.025 * 10
Masse volumique d'air	1.184 kg m
Coeffiecient de viscosité	1.82*10
Vitesse à la sortie du tube	21.23 m s
Nombre de Reynolds á la sortie du jet	7.53*10

Les vitesses selon l'axe centrale du jet sont données dans le graphique et le tableau suivant ci-dessous.

La position selon l'axe du jet, x , est donné par rapport au rayon, R , du tube à la sortie du jet. La vitesse est aussi normalisé par la vitesse a la sortie (u/U_{sortie}).

On observe une distance d'entre 6 à 7 (cf. tableau de Figure 4) rayons de la sortie du jet lorsque la vitesse selon l'axe centrale reste constante. Après cette distance, on observe que la vitesse décroît d'une façon linéaire.



Position selon l'axe (x/R)	Pression Dynamique (N/m)	Vitesse (u/U)
-0.73	263	0.99
0.00	267	1.00
0.73	269	1.00
1.47	269	1.00
2.20	265	1.00
2.94	265	1.00
3.67	263	0.99
4.40	263	0.99
5.14	263	0.99
5.87	259	0.99
6.61	255	0.98
7.34	251	0.97
8.07	243	0.95
8.81	232	0.93
9.54	220	0.91
10.28	208	0.88
11.01	192	0.85
11.74	181	0.82
12.48	165	0.79
13.21	153	0.76

Figure 4: Vitesse selon l'axe centrale du jet

Cela confirme la prédiction, donné dans Figure 3, d'une interval où la vitesse maximale reste constante. C'est dans cette region lorsque $u/U_{\text{sortie}} \approx 1$ qui existe le cône potentiel (défini dans l'introduction).

Figure 5 présente les vitesses selon une diamètre de la section du jet à trois distances de la sortie: 10 cm, 20 cm, et 30 cm. L'axe abscisse donne la distance du axe centrale normalisé par le rayon du jet à la sortie, dont $r/R = 0$ correspond au centre du jet. L'axe ordinaire donne la vitesse moyen local, et est normalisé par la vitesse maximal à la distance de la sortie donnée.

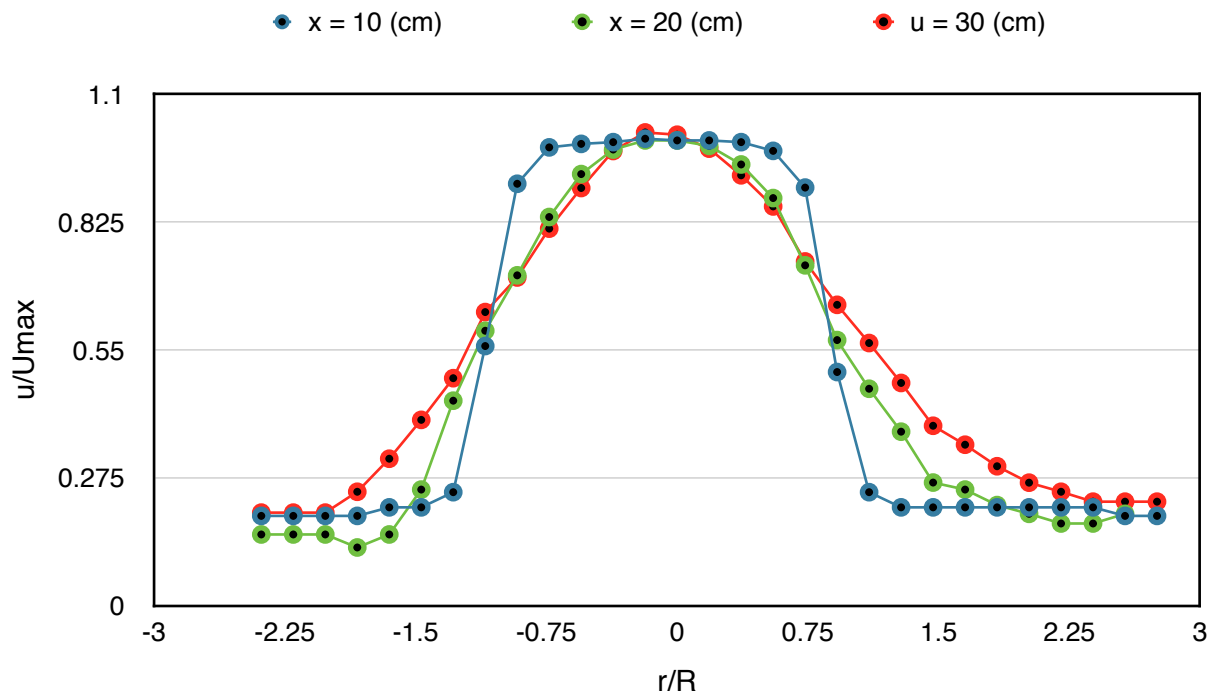


Figure 5 : Profiles de vitesse dans le jet à des distances variées de la sortie

À 10 cm de la sortie du jet, $r/R \approx 3.67$, le jet est toujours dans le régime du cône potentiel. Là on observe que le profil (la courbe bleu) prend la forme presque constante pour $-1 \leq r/R \leq 1$, comme prévu en Figure 3.

À 20 cm et 30 cm ($r/R \approx 7.34$ et 11.0 , respectivement), on observe des profils de vitesse parabolique. Dans ce région, on trouve que le zone de mélange est complètement entraîné dans le jet. De plus, on voit que ces profils (normalisé) ont presque la même exacte forme (les courbes verte et rouge). Cela indique que l'hypothèse de l'autosimilarité des profils de vitesse est assez proche de la réalité.

Finalement, on vérifie la conservation de la quantité de mouvement. En particulier que le flux de la quantité de mouvement est constante pour les trois profils de vitesse mesuré. Figure 6 (page suivante) montre les courbes de ce flux $[(r/R) \cdot (u/U_{\text{max}})]$ par rapport à la distance de l'axe centrale du jet (r/R). On cherche la quantité:

$$\frac{J}{J_0} = 2 \int_0^\infty \left(\frac{u}{U} \right)^2 \left(\frac{r}{R} \right) d\left(\frac{r}{R} \right),$$

qu'on va estimer par une somme de Riemann (avec des trapèzes).

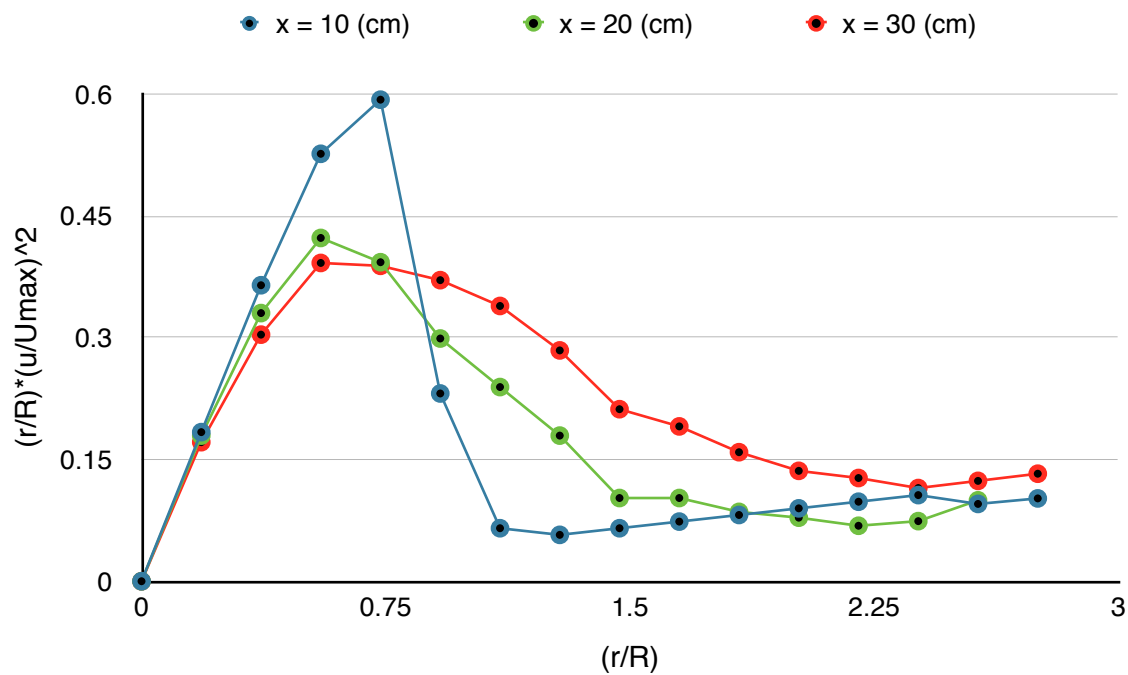


Figure 6: Flux de la quantité de mouvement

x (cm)	x/R	(r/R)(u/U
10	3.67	1.11
20	7.34	1.01
30	11.0	1.26

Figure 7: Flux de la quantité de mouvement dans le jet

Le tableau dans Figure 7 donne le flux (normalisé) de la quantité de mouvement correspondant à la double de l'aire dessous les courbes données en Figure 6. Le flux de la quantité de mouvement approximatif pour chacun des profils sont près de 1, comme prévu. Mais pour $x = 10$ et 30 , on trouve un flux un peu plus élevée. Cette divergence de la valeur attendu peut être associée à des erreurs due au morcellement trop grossier du section du jet. Il est également possible que l'effet de la turbulence réduit la précision des mesures, mais cela ne semble pas être probable. Il semble, plutôt, qu'il y a peut être une erreur systématique dans les mesures de la pression. On observe dans Figure 5 que les courbes ne s'approchent pas à zéro vers les bords. Là il est possible que les mesures de la pression n'ont pas été tout à fait bien interprétées.

5) Conclusion

L'expérience nous a permis d'analyser l'écoulement d'un jet émergeant d'air et sa dissolution à mesure qu'il se déplace vers la sortie d'un conduit circulaire. De plus nous avons pu observer la Décroissance de la vitesse sur l'axe central et le profil de vitesse à différentes distances le long du jet.

On a pu vérifier, en gros, les prédictions théoriques. On a observé le cône potentiel au début du jet. On a observé la qualité d'autosimilarité de la forme des profils de vitesse hors du région du cône potentiel. Et on a pu (à peu près) observer la conservation de la quantité de mouvement. Là, quand même, on a trouvé une variation assez importante entre la prédiction théorique ($J/J_0 = 1$) et les résultats expérimentaux (cf. Figure 7). Vu que les valeurs aux bords de u/U_{\max} obtenu en Figures 5 & 6 ne s'approchent pas à zéro, on pense qu'il y a probablement une erreur systématique dans les mesures de pression pris du manomètre. Il faudra retourner au laboratoire pour vérifier ces mesures.