

DISTRIBUTIONS DES VITESSES DANS UN NUAGE TURBULENT DE GOUTTELETTES ENGENDREES PAR UN INJECTEUR COAXIAL

Reçu le 20/02/1999 - Accepté le 31/03/2001

Résumé

Le présent travail rend compte de l'établissement et l'évolution de la structure d'un jet diphasique dispersé. Dans le cas des expériences rapportées ici, il s'agit de gouttelettes d'eau engendrées par un injecteur coaxial. Cette étude sera menée par l'analyse, au préalable, de la structure du milieu porteur représenté par un écoulement d'air, en déterminant le champ des vitesses moyennes, puis par les déductions faites à partir des résultats des mesures du champ des vitesses moyennes des gouttelettes d'eau constituant le jet. Ces mesures s'avèrent nécessaires pour déterminer les flux de masse et de quantité de mouvement dans les écoulements de ce type.

Mots Clés : *Injecteur, coaxial, gouttelettes, jet, diphasique, dispersé.*

Abstract

The present work gives the establishment and the evolution of the structure of a dispersed two-phase jet, in the case of the experiments about water droplets generated by a coaxial injector. This study will be done, first by the analysis of the structure of the carrier flow represented by an air flow by determining the field of mean velocities. Then, deductions obtained from the results of the values of mean velocities of the water droplets constituting the jet. These measurements seem to be necessary for the determination of the mass flux and momentum in flows of this type.

Key Words : *Injector, coaxial, droplets, jet, two-phase, dispersed.*

A.TERFOUS

Département d'Hydraulique
Université Aboubakr Belkaid
B.P. 119, Tlemcen, Algérie

H. BURNAGE

Institut de Mécanique des Fluides
Strasbourg, France

La dispersion des jets libres axisymétriques a fait l'objet d'un grand nombre d'investigations théoriques et expérimentales [1-4]. En général, ces études étaient axées sur l'étude du jet par utilisation d'orifices simples: circulaires ou rectangulaires [5-8]. La plupart des travaux publiés décrivent la région où le jet est stable (région du régime établi).

Cette description est représentée par des modèles, donnés sous forme de relations empiriques [9], qui permettent de déterminer la distribution des vitesses axiales et radiales, la décroissance de la vitesse au centre et le taux de dispersion latérale du jet, en fonction de la distance séparant la section de mesure à l'orifice d'injection.

MESURES DES VITESSES

Champ des vitesses du jet d'air

Les mesures des vitesses de l'air nous permettent d'évaluer les paramètres du fluide porteur et de prévoir ainsi l'évolution spatiale des grandeurs dynamiques qui caractérisent l'écoulement de la phase liquide.

Pour ce faire, on dispose d'un tube de Pitot, placé dans un écoulement d'air issu d'un injecteur coaxial. Le principe de fonctionnement de ce type d'instrument repose sur la mesure de la pression dynamique et de la pression statique de l'air au même niveau.

Le diamètre de l'orifice de sortie d'air est $D = 4$ mm. Celui de l'orifice de sortie d'eau est $d = 0.8$ mm, (Fig. 1). Les mesures sont effectuées pour une vitesse de l'écoulement d'air: $V_{air} = 100$ m/s, dans sept

ملخص

يهتم هذا العمل بتكوين أشكال تطور نفث متناثر. بالنسبة للتجارب المقدمة هنا، نعتبر حالة قطرات ماء مكونة بواسطة ناثر بمخرجين. أولاً، قمنا بتحليل هيكل الوسط الحامل والممثل بانسياب هوائي وحساب سرعته المتوسطة. ثم استنتجنا من مختلف المعطيات المتوفرة مجال السرعة المتوسطة لقطرات الماء المكونة للنفث المدروس. نعتبر نتائج هذه التجارب مهمة لمعرفة انسياب الكتلة والحركة في هذا النوع من الجريان.

الكلمات المفتاحية: ناثر، مخرجين، قطرات، نفث، متناثر.

sections différentes choisies en aval de l'embouchure du jet : $Z/D = 25, 37.5, 50, 62.5, 75, 100, 122.5$; Z (mm): distance séparant la section de mesure à l'origine du jet.

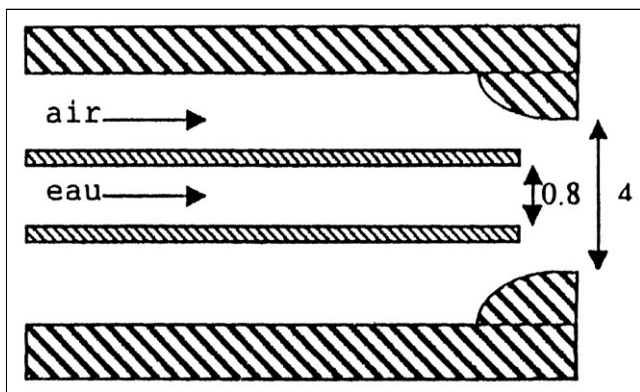


Figure 1: Caractéristiques de l'injecteur utilisé.

Les distributions des vitesses moyennes axiales de l'air en coordonnées physiques (\bar{V}_a, r) , pour trois sections différentes, font l'objet de la figure 2. Les différents profils s'accordent bien avec une distribution de Gauss.

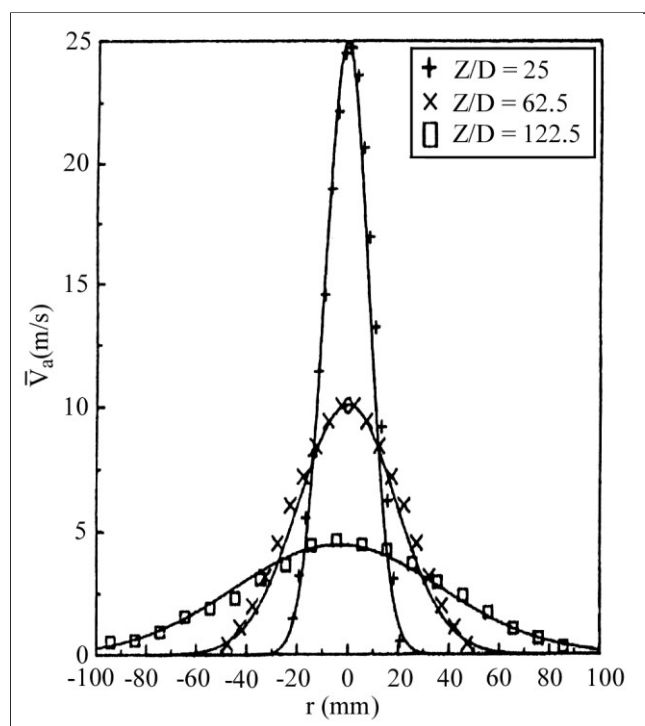


Figure 2: Distributions des vitesses moyennes du jet d'air dans trois sections différentes.

Ces résultats sont cohérents au vu des travaux antérieurs effectués pour les mêmes types de jets [10].

Le calcul du taux d'élargissement des profils de vitesse, le long de l'axe de développement du jet d'air, donne une valeur de 0.083, comparable à celles trouvées par d'autres chercheurs. En effet, pour un jet complètement développé,

Rodi [11] trouve une valeur de 0.086, alors que Modaress [12], trouve 0.08.

La figure 3 donne la décroissance de la vitesse moyenne de l'air au centre du jet en fonction de l'inverse de Z .

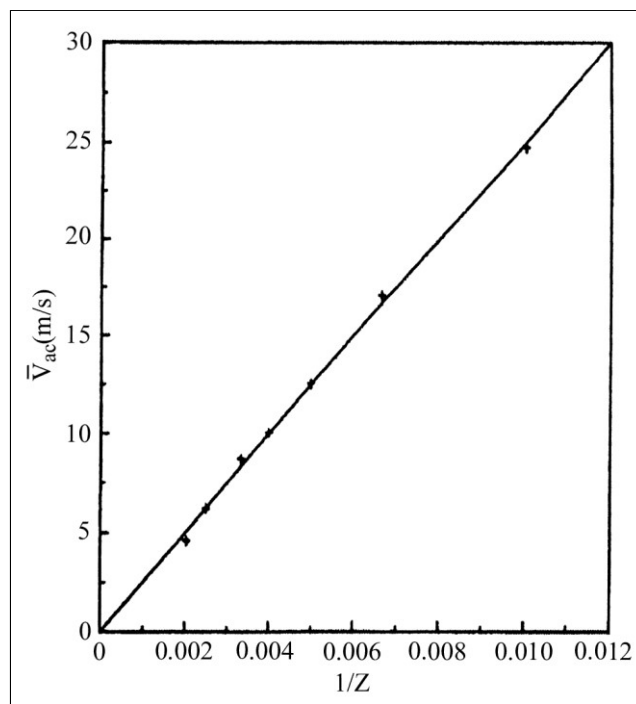


Figure 3: Evolution de la vitesse du jet d'air au centre.

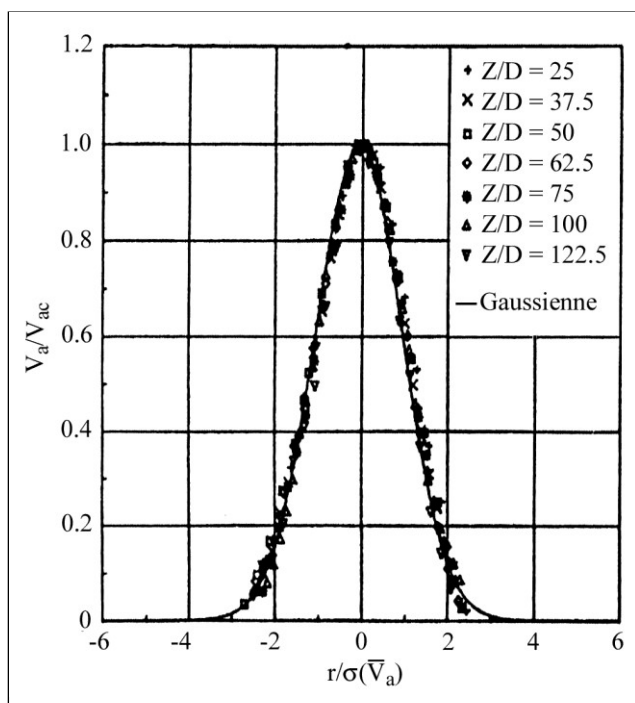


Figure 4: Profils des vitesses normées du jet d'air.

Pour les sept sections de mesures, les distributions des vitesses, normées au centre du jet, se réduisent à un seul profil, faisant l'objet de la figure 4 et dont l'allure est

approchée par la forme:

$$\frac{\bar{V}_a}{\bar{V}_{ac}} = \text{Exp}\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2(\bar{V}_a)}\right)$$

On peut donc conclure que les distributions des vitesses sont semblables pour les différentes sections du jet d'air et que l'écoulement reste en similitude tout au long de son axe de développement.

Champ des vitesses des gouttelettes d'eau

La mesure du champ des vitesses de la phase liquide nous permet d'avoir une bonne information sur la présence et le comportement des particules liquides dans le jet d'air.

Dans ce contexte, on se propose de générer un nuage de petites particules liquides par l'intermédiaire de l'injecteur décrit ci-dessus. Une colonne liquide s'écoule de l'orifice circulaire central autour duquel un courant d'air annulaire, cernant toute la surface du liquide, s'écoule dans la même direction. A la sortie de l'injecteur, le courant d'air, animé d'une grande vitesse, est en contact direct de la colonne liquide. Cette dernière subit une perturbation, puis une rupture rapide, pour se désintégrer et donner naissance à de très fines gouttelettes d'eau dont les diamètres varient de 10 à 100 microns [13, 14].

Les expériences sont effectuées sous les conditions génératrices de l'écoulement diphasique suivantes :

$$Q_{air} = 1.256 \text{ l/s} \quad Q_{eau} = 6.052 \cdot 10^{-4} \text{ l/s.}$$

Q_{air} et Q_{eau} étant les débits liquides et gazeux sortant de l'injecteur.

Dans le but d'avoir une base de comparaison valable, les essais sont faits dans les mêmes sections (Z/D) choisis pour le jet d'air. La mesure des vitesses des gouttelettes consiste à l'utilisation de l'Anémométrie Laser à Effet Doppler.

Cette technique est basée sur l'analyse de la lumière diffusée par des particules très fines portées par le fluide. Lorsque celles-ci sont éclairées en lumière cohérente, la lumière diffusée est affectée d'un effet Doppler qui dépend de la vitesse des particules [15, 16]. En effet, lorsqu'une particule se déplace avec une vitesse donnée et reçoit un rayonnement de fréquence quelconque émis par une source, elle diffuse ce rayonnement avec une nouvelle fréquence, différente de la première, par un facteur proportionnel à sa vitesse de déplacement.

Un faisceau laser (He-Ne 15 mW), de longueur d'onde $\lambda = 0.6328 \text{ m}$ et de diamètre 1.1 mm, est divisé par le biais d'un prisme, en deux faisceaux cohérents parallèles, d'égale intensité et distants de 13 mm. Une lentille convergente les focalise à une distance de 600 mm, pour former un volume de mesure. Les fines gouttelettes d'eau, en traversant ce volume, diffusent une lumière qui est recueillie par un photodétecteur sensible aux variations de l'intensité lumineuse. Il produit alors un signal électrique qui est traité à l'aide d'un suiveur de fréquences qui permettant la mesure, en continu, des variations de fréquences, sous réserve d'une présence permanente de particules dans le volume de mesure [17].

Le système émission-détection (laser, photodétecteur) est monté sur un support commandé manuellement et dont

le déplacement horizontal permet l'exploration transversale du jet étudié.

Les profils des vitesses des gouttelettes, dans trois sections différentes du jet, sont illustrés par la figure 5. Ils correspondent, dans leur partie centrale, à une gaussienne.

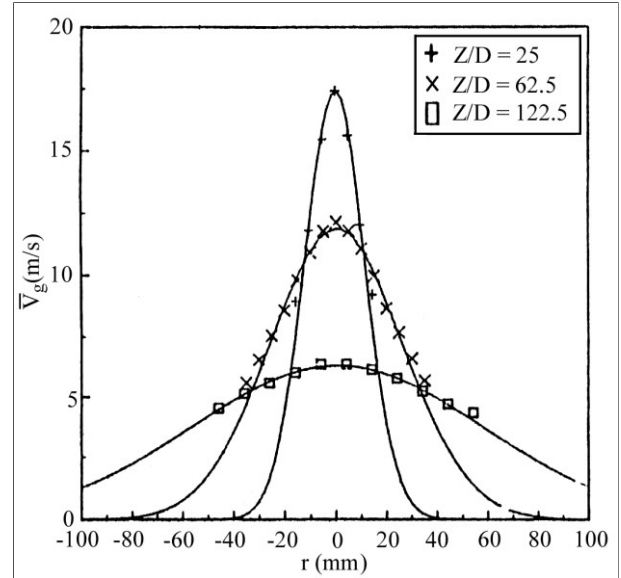


Figure 5: Distributions des vitesses moyennes des gouttelettes d'eau dans trois sections différentes du jet.

L'évolution des "demi-largeurs" des profils de vitesses des particules le long de l'axe de développement du jet, fait l'objet de la figure 6. Le tracé montre que cette propriété varie linéairement en fonction de la distance Z à l'origine du jet. Néanmoins, cette variation est moins importante que celle du jet d'air seul, à en juger par la valeur du taux d'élargissement des profils.

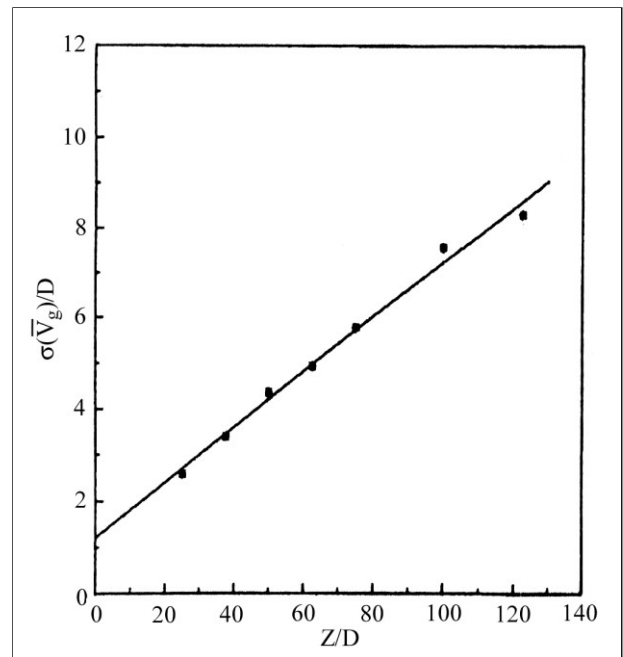


Figure 6: Evolution des demi-largeurs des profils des vitesses des gouttelettes d'eau.

En effet, cette valeur est estimée à 0.0603 alors qu'elle était de 0.083 pour le jet d'air. On peut donc déduire que la dispersion des gouttelettes d'eau est moins importante que celle du jet d'air seul. Ce fait peut alors s'expliquer par les effets du processus de la formation de l'écoulement diphasique dispersé et de l'influence de l'inertie des particules générées sur leur propre mouvement [18].

Les distributions des vitesses normées, au centre, sont données par la figure 7.

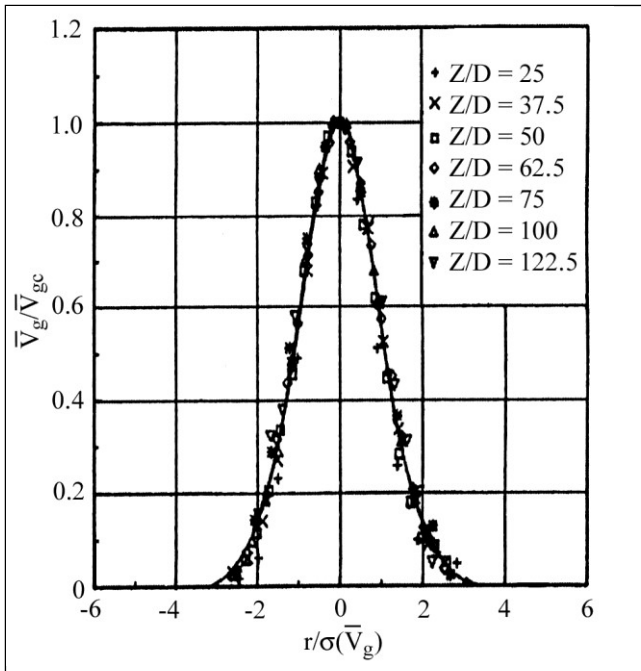


Figure 7: Profils des vitesses normées des gouttelettes d'eau.

Elles s'étalent sur une même allure ajustée par la forme :

$$\frac{\bar{V}_g}{\bar{V}_{gc}} = \text{Exp}\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2(\bar{V}_g)}\right)$$

Cette superposition nous amène à constater que le jet de gouttelettes d'eau, générées par l'injecteur, garde une structure similaire dans sa direction longitudinale et confirme l'établissement de l'écoulement étudié.

La figure 8 illustre la variation des vitesses de l'air et celles des gouttelettes, au centre du jet, en fonction de Z/D.

Les valeurs des vitesses mesurées sur l'axe sont rapportées à la vitesse d'injection de l'air (V_{air}).

On constate alors que, pour $Z/D < 50$, la courbe des vitesses du jet d'air se situe au-dessus de celle de la phase liquide. L'écart entre les valeurs des vitesses des deux phases est assez important. A partir de $Z/D = 50$, la courbe des vitesses du jet d'air est au-dessous de celle des gouttelettes. L'écart entre les valeurs des deux vitesses a tendance à s'amenuiser et les deux courbes semblent se rapprocher asymptotiquement vers une même valeur limite. Ceci paraît logique puisque l'influence des conditions initiales de formation des gouttelettes diminue en s'éloignant de l'origine d'injection [19].

Ceci laisse supposer qu'à partir de cette distance ($Z/D =$

50), le jet atteint son développement total avec une désintégration complète de la colonne d'eau en fines gouttelettes qui tendent à suivre le mouvement du milieu porteur.

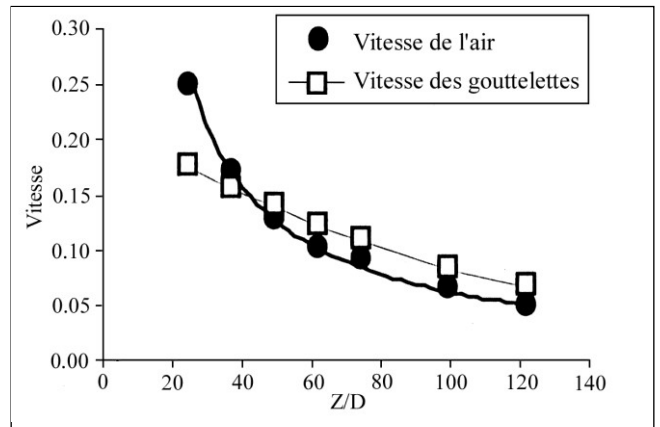


Figure 8: Vitesses des deux phases au centre du jet dispersé.

CONCLUSION

On s'est intéressé, dans le présent travail, à la mesure et l'établissement du champ des vitesses d'un jet libre axisymétrique de gouttelettes microniques générées par un injecteur coaxial et portées par un écoulement d'air dont le champ des vitesses est préalablement déterminé. L'analyse des résultats de mesures montre que :

- Les distributions des vitesses des deux phases sont pratiquement similaires et de même forme, indépendamment de la section de mesure, dans la région située entre 100 et 500 mm de l'origine du jet.
- Près de l'origine d'injection ($Z/D < 50$), les gouttelettes d'eau ont leur propre mouvement et tendent à ne pas suivre le fluide d'entraînement.

Ces résultats s'avèrent très importants puisqu'ils contribuent à mieux comprendre le mécanisme de pulvérisation des colonnes liquides et les écoulements diphasiques qui en découlent. Ils permettent aussi de calculer les flux de masse et de quantité de mouvement, et d'en déduire le comportement des particules fines diffusant dans des écoulements turbulents.

NOMENCLATURE

- D : diamètre de la buse de sortie d'air de l'injecteur, [mm].
- d : diamètre de la buse de sortie d'eau de l'injecteur, [mm].
- Q_{air} : débit d'air à l'origine de l'injection, [l/s]
- Q_{eau} : débit d'eau à l'origine de l'injection, [l/s]
- r : distance radiale d'une section du jet, [mm]
- V_{air} : vitesse de l'air à l'origine du jet, [m/s].
- \bar{V}_a : vitesse moyenne du jet d'air dans chaque section de mesure, [m/s].
- \bar{V}_{ac} : vitesse moyenne du jet d'air mesurée sur l'axe, [m/s].
- \bar{V}_g : vitesse moyenne des gouttelettes dans chaque section de mesure, [m/s].

\bar{V}_{gc} : vitesse moyenne des gouttelettes d'eau mesurée sur l'axe du jet, [m/s].

Z : distance entre l'origine d'injection et la section de mesure, [mm].

(\bar{V}_a) : "demi-largeur" du profil des vitesses de l'air, correspondant à la coordonnée de $\bar{V}_{ac}/2$ [mm].

(\bar{V}_g) : "demi-largeur" du profil des vitesses des gouttelettes, correspondant à la coordonnée de $\bar{V}_{gc}/2$ [mm].

REFERENCES

- [1]- Abramovich G.N., "The Theory of Turbulent Jet", The Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge (1963).
- [2]- Wygnanski I. and Fiedler H., "Some Measurements in Self-Preserving Jet", *J. Fluid Mech.*, vol. 38, part 3, (1969), pp. 577-612.
- [3]- Gheraissa F., "Mesure de la granulométrie dans les écoulements diphasiques dispersés et visualisation. Application au traitement d'images", Thèse de Doctorat de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, France (1988).
- [4]- Boukermouche A., "Mise au point et développement des méthodes de mesure de la granulométrie et de la concentration de la phase liquide dans un jet diphasique engendré par des injecteurs coaxiaux", Thèse de Doctorat de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, France, (1989).
- [5]- Hisashi S. and Masahiro S., "Non linear Wave Propagation and Desintegration of Circular Liquid Jet", *ICLASS 82*, (1982), pp. 19-35.
- [6]- Prassard K.S.L., "Spray Characterization of Airblast Atomisers", *ICLASS 82*, (1982), pp. 123-130.
- [7]- Rizk N.K. and Lefebvre A.H., "Spray Characteristics of Plain-Jet Airblasts Atomizers", *ASME*, vol. 106, (1984), pp. 634-638.
- [8]- Berger H.L., "Characterization of a class to widely applicable ultrasonic nozzles", *ICLASS 85*, IA/2, (1985), pp. 1-13.
- [9]- Hinze J.O., "Turbulence", Ed. Mc Graw Hill, New York (1975).
- [10]- Boguslawski L. and Popiel C.O., "Flow Structure of the Free Round Jet in the Initial Region", *J. Fluid Mech.*, vol. 90, part 3, (1979), pp. 531-539.
- [11]- Rodi W., "A new method of analysing hot-wire signals in highly turbulent flow and its evaluation in a round jet", *Disa Inf.*, N° 17, (1975), pp.9-18.
- [12]- Modarress D., Wuerer J. and Elghobashi S., "An experimental study of a turbulent round two-phase jet", AIAA/ASME 3rd Joint Thermophysics, Fluids, Plasma and Heat Transfer Conference, (1982), pp. 1-24.
- [13]- Terfous A., "Granulométrie d'un jet diphasique dispersé", Journées de Statistiques Appliquées, USTHB, Alger 16-18 Avril (1994).
- [14]- Terfous A., "Mesure des tailles des particules microniques dans un écoulement dans un écoulement diphasique", 4ème Séminaire National de Mécanique, ENSET, Oran 25 et 26 Avril (1995), pp. 111-115.
- [15]- Farmer W.M., "Measurement of Particule Size, Number Density and Velocity Using a Laser Interferometer", *Applied optics*, vol. 11, (1972).
- [16]- Scrivener O., "Concept de Base en Vélométrie Laser", Cours DANTEC, LDA III, Anémométrie Doppler à Laser, Versailles, France, 1, 2 et 3 décembre (1986).
- [17]- Charney G. and al., "Le Traitement du Signal PM", Cours DANTEC, LDA III, Anémométrie Doppler à Laser, Versailles, France, 1- 2 et 3 décembre (1986).
- [18]- Mostafa A. and Mongia H.C., "On the Interaction of Particles and Turbulent Fluid Flows", *Int. J. Heat Transfer*, vol. 31, n°10 (1988), pp. 2063-2075.
- [19]- Townsend A., "The Structure of turbulent Shear Stress Flows", Cambridge University Press (1956). □