



# **Influence de la présence des bâtiments sur la dispersion des polluants éjectés par des cheminées de différentes géométries**

Ines Baouab Bhouri, Saïd Nejla Mahjoub, Hatem Mhiri, Georges Le Palec, Philippe Bournot

## **► To cite this version:**

Ines Baouab Bhouri, Saïd Nejla Mahjoub, Hatem Mhiri, Georges Le Palec, Philippe Bournot. Influence de la présence des bâtiments sur la dispersion des polluants éjectés par des cheminées de différentes géométries. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. <hal-03361560>

**HAL Id: hal-03361560**

**<https://hal.science/hal-03361560v1>**

Submitted on 1 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# Influence de la présence des bâtiments sur la dispersion des polluants éjectés par les cheminées industrielles (coudées et droites)

Ines Bhourri Baouab <sup>1</sup>, Nejla Mahjoub Saïd <sup>1</sup>, Hatem Mhiri <sup>1</sup>, George Lepalec <sup>2</sup>, Philippe Bournot <sup>2</sup>

<sup>1</sup>: Unité de thermique et environnement

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, route de Ouardanine, 5020 Monastir, Tunisie,

E-mail: [bhourri\\_ines@yahoo.fr](mailto:bhourri_ines@yahoo.fr)

<sup>2</sup>: Equipe IMFT, Institut de Mécanique de Marseille, UNIMECA

60 rue Joliot - Curie, Technopôle de Château- Gombert, 13453 Marseille Cedex 13, France

## Résumé

*Une étude expérimentale est menée afin de mettre en évidence l'influence de la présence des obstacles sur la dispersion des polluants éjectés par des cheminées coudées et droites. Cette étude conduite au sein d'une soufflerie est basée sur la technique de mesure non intrusive la vélocimétrie laser par imagerie des particules (PIV). Il a été question de varier la vitesse de l'écoulement parallèle (vent) par rapport à la vitesse d'éjection de l'air de la cheminée coudée et de la cheminée droite en changeant chaque fois la forme de l'obstacle (bâtiment de forme parallélépipède et cylindre) : dans une première partie l'objectif étant d'observer la forme du jet issu de la buse et son évolution. Dans une deuxième partie on a essayé d'évaluer l'influence de la géométrie de la cheminée sur l'établissement du panache et sur son évolution en gardant la même forme de l'obstacle.*

## Abstract

*An experimental study is conducted in order to evaluate the influence of the obstacles presence on pollutants discharged from straight and bent chimneys. The different experimental characteristics were tracked by means of the Particle Image Velocimetry (PIV) technique and it was essentially question of varying the wind velocity in function of the injection one in both chimney configurations. Each time, we tried to change the obstacle shape since we considered parallelepiped and cylindrical buildings placed in front of the chimneys. Our purpose was then to examine the stack plume emerging from the chimneys and evaluating all around the obstacles; and to note its behavior when changing the building shapes.*

## Mots-clefs :

**Polluant ; chimney ; obstacle**

## 1 Introduction

La pollution atmosphérique est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants, de leur combinaison et de leur modification dans l'atmosphère. L'évolution de ces contaminants est difficile à comprendre avec rigueur, cette complexité contribue à renforcer les inquiétudes sur la qualité de l'air. Les émissions rejetées par les cheminées industrielles représentent une source majeure de la pollution atmosphérique. A l'issue d'une étude bibliographique il paraît que plusieurs paramètres peuvent influencer leur dispersion tels que la présence des obstacles.

Arya et al. (1981) ont étudié la dispersion du polluant en présence d'un obstacle bidimensionnel triangulaire de hauteur (h) d'environ 1/10 de l'épaisseur de la couche limite, placé perpendiculairement à l'écoulement. En plus des diverses mesures concernant l'écoulement, des observations ont été faites sur les profils verticaux et horizontaux de concentration dans un jet issu d'une cheminée dont la hauteur et la position relativement à l'obstacle sont variables. Les concentrations les plus élevées au niveau du sol sont observées lorsque la source est située dans une zone de fluide "mort". La concentration et la position de son maximum au niveau du sol sont considérablement influencées par

l'obstacle, particulièrement quand la source est située à une distance de  $15 h_b$  ( $h_b$  = hauteur de l'obstacle) sous le vent en aval de la crête de l'obstacle.

Des investigations expérimentales ont été conduites par M. H. Mirzai et al. (1994) dans une soufflerie sur l'écoulement et la dispersion des polluants autour d'un bâtiment isolé. Une atmosphère stable et neutre à une échelle 1/75 a été simulée. Une quantité substantielle des données expérimentales a été obtenue pour visualiser la concentration moyenne du polluant en fonction du temps dans un plan prédéterminé derrière les bâtiments. Les résultats sont obtenus pour des déviations dans la direction du vent de  $-10^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $+5^\circ$  et  $+10^\circ$  et ils montrent que les concentrations de polluant sont affectées par la forme et l'orientation du bâtiment ainsi que par la nature et l'échelle de l'écoulement de la couche limite. La concentration moyenne résultante produite avec une source située près du bâtiment montre clairement que la trajectoire du panache passe autour des faces du bâtiment et près du sol. Ils ont montré également qu'il y a un transfert transversal considérable de la matière dans l'écoulement et qu'il en résulte un déplacement des polluants à travers le sillage vers le bâtiment.

Le champ du flux autour des obstacles cylindriques placés normalement à l'entrée du canal a été visualisé par Graf et al (1998)

La technique de mesure utilisée est la vélocité doppler acoustique, le but est d'obtenir instantanément les trois directions de la vitesse de l'écoulement.

Le résultat expérimental met en évidence l'apparition des tourbillons à vorticité négative d   à des retournements du flux.

Ceci se développent en amont du cylindre et s'étend tout autour pour parvenir loin en aval.

Bournot et al. (2003) ont étudié expérimentalement la dispersion des polluants issus d'une cheminée. Les deux techniques de mesure adoptées sont la PIV qui permet la détermination de la vitesse et des champs de vorticité, et la tomographie laser qui permet dans un plan vertical ou horizontal la visualisation de l'évolution de plume le long d'une grande distance. Les paramètres expérimentaux sont la taille, le diamètre de la cheminée et le rapport des vitesses. L'installation expérimentale se compose d'un tunnel de vent atmosphérique, un système de PIV bidimensionnelle et un dispositif de visualisation laser d'argon. Un obstacle de forme parallélépipède est inséré à une distance variable en amont de la cheminée simulant par exemple les bâtiments, zone industrielle.

Les dispersions et les extensions plus ou moins importantes de plume sont généralement en aval de la cheminée.

Selon les valeurs de rapport de vitesse on observe le développement des instabilités de Kelvin Helmholtz. Bien que cette étude soit effectuée à la température uniforme et ne simule pas la température, l'inversion et les phénomènes atmosphériques d'instabilité, le résultat ne peuvent pas être validé.

Keser et al (2003). Ont étudié l'écoulement en présence d'une plaque plane dont la base est à angle arrondi suivi d'un cylindre circulaire pour un nombre de Reynolds égal à  $1.46 \cdot 10^5$ ,  $2.72 \cdot 10^5$  et  $3.71 \cdot 10^5$ . L'objet de ces expériences est d'observer l'influence de la distance longitudinale et verticale qui sépare la plaque et le cylindre sur la distribution de la pression autour de deux obstacles. Aussi bien pour l'arrangement en tandem que l'arrangement décalé la distribution de pression indique l'existence d'une distance critique.

Lorsque deux ou plusieurs cylindres sont situés très proche l'un de l'autre dans un écoulement amont transversal et stationnaire, le comportement du fluide est plus complexe que dans le cas d'un cylindre circulaire unique et isolé.

Pour plusieurs applications de l'ingénierie, le cylindre circulaire est généralement groupé avec des structures semblables de telle façon que le champ autour de chaque obstacle est influencé par la présence de ses voisins. Cet effet peut s'étendre jusqu'à la zone de séparation de la couche limite du cylindre.

Le comportement et l'interaction des couches de cisaillement libres, la formation et la déclinaison des tourbillons et le développement des zones de sillage du cylindre se trouvent dans la même zone comparée à un cylindre circulaire unique dans un écoulement transverse.

Une étude expérimentale du champ d'écoulement devant un cylindre carré pour un nombre de Reynolds compris entre 97 et 187 est analys  e par Dutta et al (2004).

La technique de mesure adoptée est l'anémométrie laser à fil chaud.

Ils ont prouvé qu'il existe un pic dominant des tourbillons dans la zone de sillage pour la gamme du nombre de Reynolds. La forme du profil de la vitesse moyenne et la vitesse fluctuante révèle une forte dépendance entre l'orientation du cylindre et les caractéristiques de l'écoulement dans la zone proche du sillage.

## 2 Technique expérimentale

La vélocimétrie laser par imagerie des particules est une technique de mesure non intrusive dont le principe est de filmer le mouvement des particules (traceur du fluide), les plus petites possibles, de façon à ce qu'elles suivent bien le mouvement du fluide et de l'étudier. Elle est composée de deux parties : acquisition d'images & traitement de données.

L'acquisition de deux images (par caméra CCD) successives est réalisée dans un plan de l'écoulement espacé d'un intervalle de temps  $\Delta t$ . Pour figer l'écoulement, l'éclairage est réalisé par l'intermédiaire de tir laser très court (5 à 10 ns), le faisceau laser est transformé en fine nappe (1mm à 300  $\mu m$ ) par l'intermédiaire de lentille convergente et divergente.

On place l'appareil perpendiculairement au plan : un mauvais angle d'observation modifie les distances parcourues.

On règle le diaphragme d'obturation pour ajuster l'intensité lumineuse. On règle la mise au point de l'appareil de manière à discerner parfaitement les particules.

Le traitement statistique des images est réalisé grâce au logiciel INSIGHT. Par une méthode d'intercorrélation, le logiciel donne le déplacement le plus probable d'une partie de l'image. En divisant ce déplacement par le temps inter images, on calcule la vitesse, que l'on peut considérer comme instantanée car  $\Delta t$  est très petit : 10 à 50  $\mu s$ . On obtient donc l'affichage des vecteurs de l'écoulement. Pour chaque point l'erreur expérimentale est estimée à  $(V_{\max} - V_{\min}) / V_{\text{moy}}$  avec :  $V_{\max}$  : vitesse maximale,  $V_{\min}$  : vitesse minimale,  $V_{\text{moy}}$  : vitesse moyenne, l'erreur est de l'ordre de 5%.

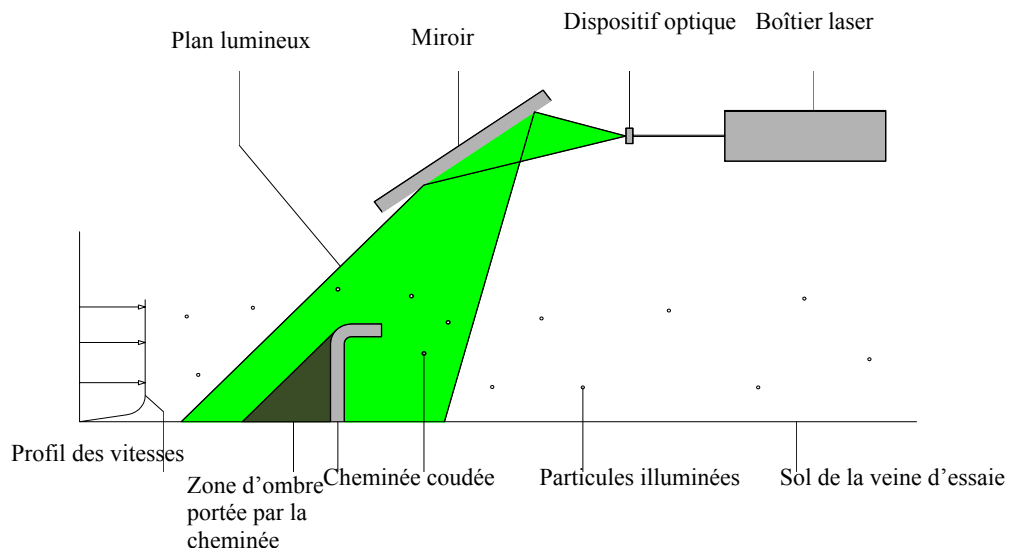


FIG.1 Dispositif expérimental

### 3 Résultats expérimentaux

#### 3.1 Influence de la présence des obstacles sur la dispersion des polluants éjectés par les cheminées coudées

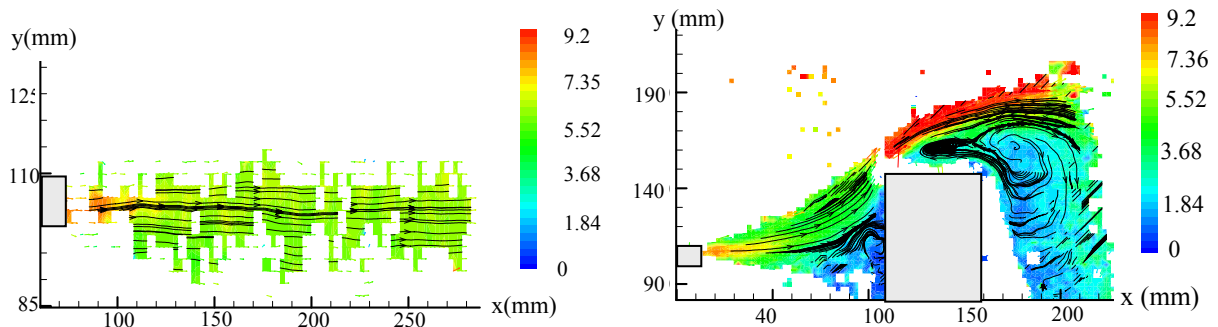


FIG 2- Cheminée coudée,  $U_{\infty}=16\text{m/s}$ ,  $U_0=8\text{m/s}$ , (a)sans obstacle, (b) obstacle parallélépipède

On remarque qu'en présence d'un bâtiment le panache n'est pas rabattu au sol dans la zone amont du bâtiment. Tout laisse à croire que cela est dû à l'augmentation de la sur hauteur du panache lorsqu'on ajoute un obstacle en aval de la cheminée. En effet, on peut observer que les lignes de courant sont horizontales sur la première figure ont tendance à s'élever verticalement dans la deuxième figure. Elles épousent le décollement de couche limite formée sur la face supérieure du bâtiment. Ce décollement est créé par cisaillement, le panache rencontre l'obstacle immobile et se voit obliger de le contourner.

On note la présence des zones des recirculations

Toutefois on peut noter une zone tourbillonnaire (allées de Von Karman en aval du bâtiment) derrière la cheminée. Cette recirculation est plus prononcée en présence de l'obstacle et couvre une plus longue distance.

La présence d'un obstacle provoque une accélération de l'écoulement du vent autour de lui et la formation d'une cavité dans laquelle le vent s'écoule en sens inverse.

#### 3.2 Influence de la forme de l'obstacle sur la dispersion des polluants :

##### 3.2.1 Cas d'une cheminée coudée :

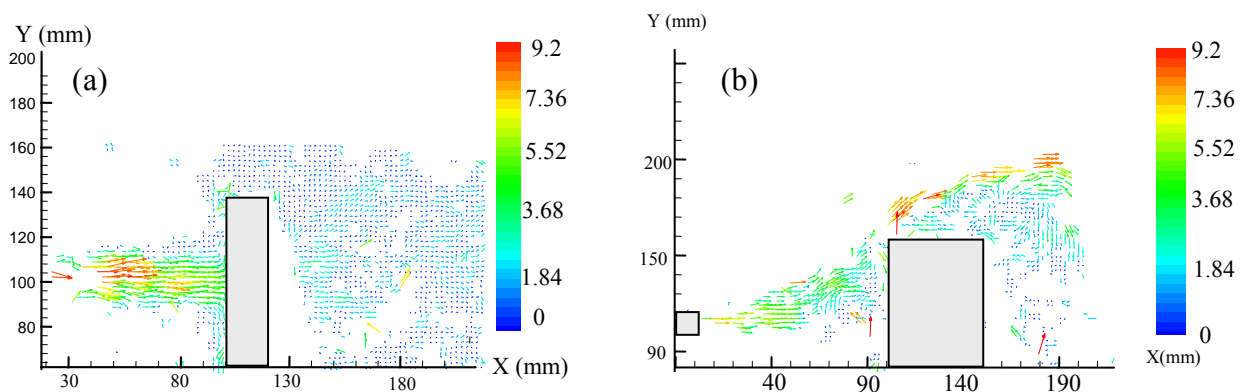


FIG 3- Cheminée coudée,  $U_{\infty}=16\text{m/s}$ ,  $U_0=8\text{m/s}$ , (a)cylindre, (b) parallélépipède

On a présenté sur ces cartographies le module de la vitesse moyenne dans le cas d'une cheminée coudée pour une même vitesse d'éjection égale à 8m/s et une même vitesse de vent égale à 16m/s en changeant à chaque fois la forme de l'obstacle.

Dans le premier cas il s'agit d'un obstacle cylindrique, la figure note une concentration assez intense des polluants juste à la sortie de la buse, la trajectoire du panache passe étroitement par la face frontale (par rapport au jet) de l'obstacle puis se décolle juste au dessus du cylindre (comme la montre la figure). La dispersion des polluants s'atténue tout en s'éloignant de l'obstacle.

Par contre dans le deuxième cas pour un obstacle parallélépipède, le panache suit le bâtiment de près. On note aussi une succession des tourbillons séparés par une distance à peu près constante, dont la rotation se fait dans le sens trigonométrique ; elle est présente à l'interface entre l'écoulement ambiant et le panache, la dispersion des polluants est de plus en plus importante en aval de l'obstacle ceci est confirmé par la couleur rouge.

La trajectoire du panache est donc très affectée par la forme de l'obstacle.

### 3.2.2 Cas d'une cheminée droite :

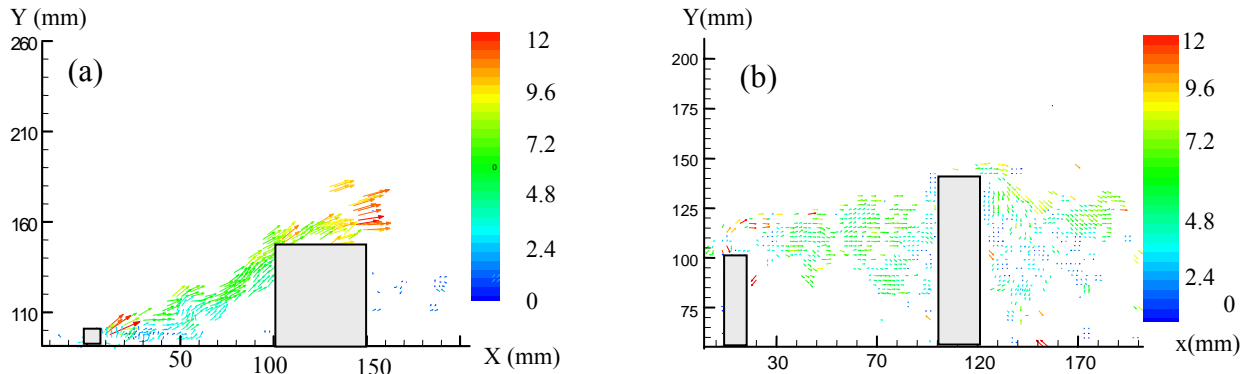


FIG 4- Cheminée droite,  $U_{\infty}=16\text{m/s}$ ,  $U_0=8\text{m/s}$ , (a) parallélépipède, (b) cylindre

Sur ces cartographies on a représenté le module de la vitesse moyenne dans le cas d'une cheminée droite pour une même vitesse de vent égale à 16m/s et une même vitesse d'éjection égale à 8m/s en variant chaque fois l'obstacle.

Pour le premier cas le bâtiment est de forme parallélépipède, la figure montre une accumulation assez importante des polluants juste à la sortie de la buse qui a tendance à se dévier tout en s'approchant de l'obstacle, en effet au niveau de la face arrière de l'obstacle on note une très faible concentration des contaminants. De plus la trajectoire du panache se colle de près avec le toit du bâtiment.

Par contre pour le cas d'un bâtiment cylindrique la deuxième figure montre une bonne répartition de la concentration des polluants à partir de la sortie de la cheminée jusqu'au niveau de la face arrière de l'obstacle. En outre on note que le panache est moins dilué au niveau du toit du cylindre.

La forme de l'obstacle a une grande influence sur la dispersion des polluants pour le cas d'une cheminée droite.

### 3.3 Influence de la configuration de la cheminée sur la dispersion des polluants en présence des obstacles :

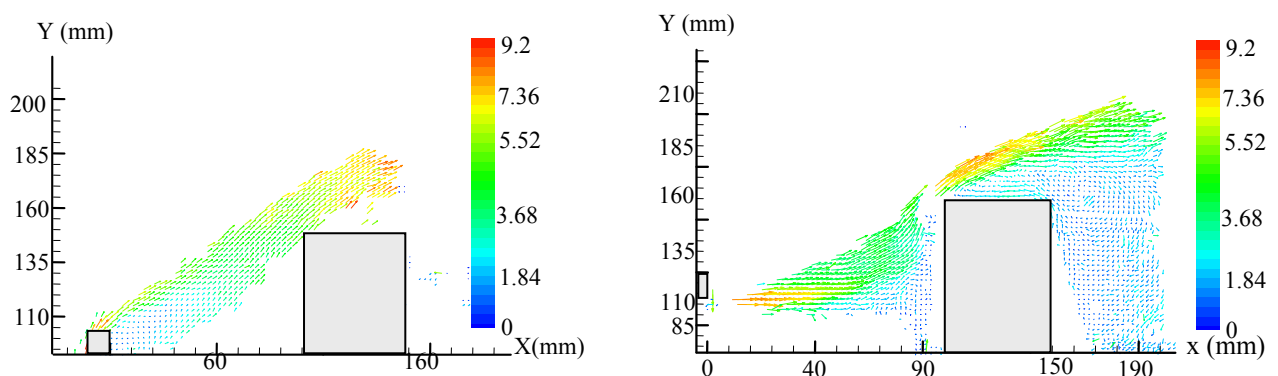


FIG 5-(a)Cheminée droite, (b) cheminée coudée

Sur ces cartographies on a représenté le module de vitesse pour une même vitesse du vent égale à 12m/s et une même vitesse d'éjection égale à 8m/s pour les deux configurations de la cheminée (cheminée droite et cheminée coudée) en présence d'un même obstacle de forme parallélépipédique.

Ces figures montrent que juste avant l'obstacle la forme du panache est déterminée par la configuration de la cheminée : dans le cas d'une cheminée droite les polluants se propagent au dessus de l'obstacle sans que ce dernier affecte son trajectoire alors que pour une cheminée coudée le panache est dévié comme le montre la deuxième figure, puis une fois qu'il rencontre l'obstacle il suit étroitement sa forme.

On note la présence des tourbillons de sens trigonométrique sur la face frontale de l'obstacle dans le cas d'une cheminée coudée.

## Conclusion

A l'aide de la technique de mesure non intrusive la PIV on a mis en évidence l'influence de la présence des obstacles sur la dispersion des polluants issus des cheminées industrielles. Dans une première partie on a déduit que la trajectoire de la fumée éjectée est très affectée par la forme de l'obstacle (forme parallélépipédique et forme cylindrique) pour les deux configurations de la cheminée (coudée et droite), puis dans une deuxième partie on a étudié l'influence de la configuration de la cheminée sur la dispersion des polluants en présence d'un même obstacle.

## References

- Arya S. P. S. Shipman M. S. and Courtney L. Y. (1981), An experimental investigation of flow and diffusion in the disturbed boundary layer over a ridge-II. Diffusion from a continuous point source. *Atmospheric Environment* 15, 1185-1194.
- Arya S. P. S. and Shipman M. S. (1981), An experimental investigation of flow and diffusion in the disturbed boundary layer over a ridge-I. Mean flow and turbulence structure. *Atmospheric Environment* 15, 1173-1184.
- Mirzai M. H. et al. (1994), Wind tunnel investigation of dispersion of pollutants due to wind flow around a small building, *Atmospheric Environment* vol. 28, N°11, 1819-1826.
- Graf, WH; Yulistiyanto, B., 1998, Experiments on Flow Around a Cylinder; The Velocity and Vorticity fields, *Journal of Hydraulic Research/Journal de Recherches Hydraulique [J. Hydraul. Res./J. Rech. Hydraul.]*. Vol. 36, no. 4, pp. 637-654.
- P Bournot (1). P.Caminat (1).N.Mahjoub.J.Stefani: Experimental study of the plume emitted by a smokestack.Proceeding of PSFVIP.4June 3-5, 2003 Chamonix, France F 4049.
- Keser, H.I.; Uenal, M.F., 2003, Flow Around a Circular Cylinder Downstream of a Blunt-Based Flat Plate in Tandem and Staggered Arrangements. *Journal of Fluids and Structures*. Vol. 17, no. 6, pp. 783-791. May.
- Dutta, Sushanta; Paniarahi, P K; Muralidhar, K., 2004, Effect of Orientation on the Wake of a Square Cylinder at Low Reynolds Numbers, *Indian Journal of Engineering and Materials Science*. Vol. 11, N° 6, pp. 447-459. Dec.