

IMPACT DE LA GEOMETRIE DE LA CHEMINEE SUR LA DISPERSION DES POLLUANTS AUTOUR DES OBSTACLES

Ines BHOURI BAOUAB¹, Nejla MAHJOUR SAID², Hatem MHIRI¹

Georges LE PALEC³, Philippe BOURNOT³

1: Ecole Nationale d'ingénieurs de Monastir, Tunisie.

2: Faculté des sciences de Monastir, Tunisie.

3: UNIMECA, Marseille, France

E-mail: bhour_ines@yahoo.fr

Résumé :

Une étude expérimentale appuyée par une étude numérique est menée afin de mettre en évidence l'influence de la présence d'un obstacle sur la dispersion des polluants éjectés par une cheminée. Le modèle est simulé au moyen de la méthode aux volumes finis basée sur la résolution des équations de Navier par le modèle de turbulence au second ordre RSM. La confrontation des résultats numériques avec les données expérimentales mesurées par vélocimétrie à imagerie de particules (PIV) assure une validation satisfaisante. Notre objectif principal dans le présent travail consiste en l'évaluation de l'impact de la géométrie de la cheminée sur la dispersion des polluants autour d'un obstacle parallélépipède.

Nomenclature

d diamètre de la cheminée,
h hauteur de la cheminée, m
g accélération de la pesanteur, $m.s^{-2}$
k énergie cinétique de turbulence
T température K
 $\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{w}$ composantes de la vitesse moyenne, $m.s^{-1}$
x, y, z coordonnées cartésiennes, m
n la normale à la surface considérée.
 $\overline{u_i u_j}$ Tension de Reynolds

R=vitesse d'éjection /vitesse du vent
(U_0/U_∞)

Symboles Grecs

ε Taux de dissipation de l'énergie cinétique de turbulence, $m^2.s^{-3}$

Indices

∞ Milieu ambiant;
o à la sortie de la cheminée,
_ Moyenne de Reynolds
~ Moyenne de Favre

INTRODUCTION :

Aujourd'hui, la population prend lentement et tardivement conscience du danger réel de la dégradation de la qualité de l'air qu'on respire. Sous cette montée en pression, populaire et médiatique, les pouvoirs publics commencent à mener des actions d'amélioration de l'environnement comme l'exemple de la mise en place de réseaux de surveillance de la qualité de l'air qui font dès lors l'objet de normes internationales (Organisation mondiale de la santé).

Devant cette prise de conscience croissante sur les dangers de la pollution de l'environnement, un effort considérable en vue de les combattre s'est développé et, dans ce cadre, les problèmes liés à l'impact des fumées et vapeurs nocives rejetées par les cheminées

industrielles sur les bâtiments avoisinants suscitent un intérêt pratique majeur. Cette problématique a fait le sujet de plusieurs recherches expérimentales aussi bien que numériques. En effet des expériences ont été conduites par M. H. Mirzai et al. [1] dans une soufflerie sur 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 a permis de visualiser l'évolution temporelle de la concentration moyenne du polluant dans un plan prédéterminé derrière les bâtiments. Les résultats, obtenus pour plusieurs valeurs de la direction du vent (-10° , -5° , 0° , $+5^\circ$ et $+10^\circ$), montrent que les concentrations dépendent de la forme et de l'orientation du bâtiment ainsi que de la nature de l'écoulement de couche limite.

Marvoidis et al [2] ont étudié expérimentalement la dispersion du polluant autour d'un obstacle isolé. Le but de cette étude est de varier la forme du bâtiment (cube, cylindre et un obstacle de grande taille) et son orientation par rapport la direction du vent. Ils ont montré que les concentrations du polluant sont affectées par la forme d'obstacle et l'emplacement latéral de la source par rapport à ce dernier.

Mahjoub et al. [3] ont étudié numériquement et en bidimensionnel la dispersion d'un polluant constitué d'un mélange de dioxyde de soufre et d'air en régime turbulent autour d'un obstacle. Ils ont traité principalement l'influence de la vitesse et de l'orientation du vent sur les caractéristiques dynamiques et thermiques du panache ainsi que sur la concentration du polluant autour de l'obstacle.

Ils ont déduit que la direction du vent a un grand effet sur l'évolution du polluant éjecté par la source et par suite sur son impact sur l'environnement immédiat de l'obstacle.

Notre travail s'inscrit dans ce contexte puisqu'il constitue une contribution à l'étude de la dispersion des polluants rejetés par les cheminées coudées en présence d'un obstacle parallélépipédique.

Marvoidis. et al [4] ont étudié numériquement la dispersion d'un polluant autour d'un obstacle cubique en utilisant le code ADREA-HF. Afin de valider on code il s ont confrontés leurs simulations numériques avec les données expérimentales (2003).

Le but de cette étude numérique est de mettre en évidence l'influence de al direction du vent sur la concentration des polluants déposées au niveau des bâtiments.

Notre travail s'inscrit dans ce contexte il constitue une contribution à l'étude de la dispersion des polluants issus d'une cheminée (coudée ou droite) en présence d'un obstacle parallélépipède dont le but d'avoir un minimum dépôt des polluants au niveau du bâtiment et au niveau du sol.

1. ETUDE EXPERIMENTALE:

1.1 Dispositif expérimental :

La vélocimétrie laser par imagerie de particules (PIV) [5] est une technique de mesure non intrusive qui nous permet d'explorer l'écoulement par des visualisations et des mesures globales des champs instantanés de vitesse.

1.2 Résultats expérimentaux :

On considère une cheminée coudée de hauteur 10 cm ayant un coude de longueur 10 cm et de diamètre 1cm et un obstacle de forme parallélépipédique de hauteur 15 cm. Pour un milieu au repos $U_\infty = 0$ m/s et pour une vitesse d'éjection égale à $U_0 = 8$ m/s, on remarque, sur la figure 1, que la vitesse reste pratiquement constante et égale à la vitesse d'éjection avant de rencontrer l'obstacle. Une fois que l'écoulement entre en interaction avec ce dernier, les

lignes de courant ont tendance à s'élever pour le contourner, créant ainsi une zone de recirculation en aval de l'obstacle.

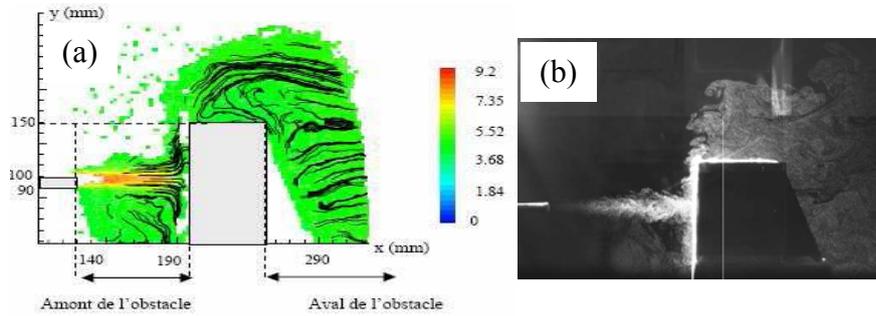


Figure 1 : (a) cartographie de la vitesse longitudinale, (b) visualisation de l'écoulement

2. ETUDE NUMERIQUE :

2.1. Mise en équation :

2.1.1 Equation moyenne de conservation de masse :

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_i)}{\partial x_i} = 0 \quad i=1, 2, 3 \text{ respectivement pour } x, y \text{ et } z \quad (1)$$

2.1.2 Equation moyenne de conservation de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{u}_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\bar{\tau}_{ij} - \overline{\rho u_i'' u_j''} \right) + (\bar{\rho}_\infty - \bar{\rho}) g \delta_{ij} \quad (2)$$

2.1.3 Equation moyenne de conservation de l'énergie :

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{T})}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{T})}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial \tilde{T}}{\partial x_j} - \overline{\rho u_j'' T''} \right) \quad (3)$$

2.1.4 Equation moyenne de conservation des espèces :

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{C}^m)}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{C}^m)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\bar{\rho} D^m \frac{\partial \tilde{C}^m}{\partial x_j} - \overline{\rho u_j'' C^{m''}} \right) \quad (4)$$

2.2. Fermeture du système d'équation :

L'introduction des grandeurs fluctuantes rend ce système ouvert. Sa fermeture nécessite l'utilisation d'un modèle de turbulence qui permet d'obtenir un nombre d'équations égal au nombre d'inconnues. Pour cette étude, nous avons utilisé un modèle de fermeture au second ordre RSM.

2.3. Conditions aux limites :

Limites	Vitesse	Température	Fraction massique	énergie cinétique	Taux de dissipation
Sortie de la cheminée	$\tilde{u} = U_0,$ $\tilde{v} = 0$ $\tilde{w} = 0$	$\tilde{T} = T_0$	$\tilde{f}_m = f_{0m}$	$k_0 = 10^{-3} v_0^2$	$\varepsilon = k_0^{3/2} / 0.5d$
Ecoulement transversal : vent	$\tilde{u} = u_\infty,$ $\tilde{v} = 0$ $\tilde{w} = 0$	$\tilde{T} = T_\infty$	$\tilde{f}_m = 0$	$k_\infty = 5 \cdot 10^{-3} u_\infty^2$	$\varepsilon = k_\infty^{3/2} / 0.2H_T$
Paroi de la cheminée, faces des obstacles, sol	$\tilde{u} = 0,$ $\tilde{v} = 0$ $\tilde{w} = 0$	$\frac{\partial \tilde{T}}{\partial n} = 0$	$\frac{\partial \tilde{f}_m}{\partial n} = 0$	$k = 0$	$\partial \varepsilon / \partial y = 0$
Face limitant le domaine	$\partial \tilde{u} / \partial n = 0$ $\partial \tilde{v} / \partial n = 0$ $\partial \tilde{w} / \partial n = 0$	$\frac{\partial \tilde{T}}{\partial n} = 0$	$\frac{\partial \tilde{f}_m}{\partial n} = 0$	$\partial k / \partial n = 0$	$\partial \varepsilon / \partial n = 0$

Tableau 1. Conditions aux limites

3. VALIDATION DU MODELE

Afin de valider les résultats obtenus par la simulation numérique nous la comparons avec les profils expérimentaux tirés par la technique de mesure PIV.

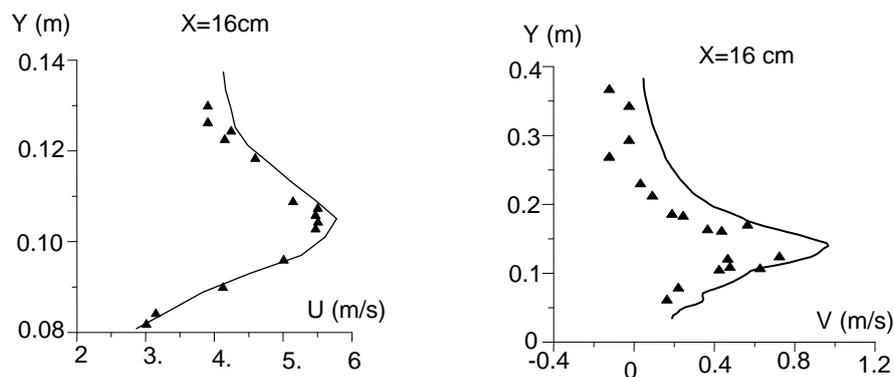


Figure 2. Confrontation des résultats expérimentaux et numériques à la position $X=160\text{mm}$ pour $R=1.6$

Sur la figure 2. On compare les résultats numériques et expérimentaux pour le cas d'un écoulement issu d'une cheminée coudée. A la position $x=16\text{ cm}$, situé en amont du bloc, on note un bon accord pour l'évolution de la vitesse longitudinale et un accord qualitatif pour l'évolution de la vitesse verticale.

Cet écart entre les résultats numériques et expérimentaux de la vitesse verticale peut être dû aux faibles valeurs de cette grandeur ce qui rend sa mesure très difficile expérimentalement.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Une fois le modèle est validé on introduit un gradient de température $\Delta T= 100$ K et on injecte une fumée de composition : 20,9% dioxyde de carbone (CO_2), 76,9% d'azote (N_2), 1,8% d'oxygène (O_2), 0,4% dioxyde de soufre (SO_2). En traitant l'évolution de la composition de fumée on a constaté que toutes les espèces (CO_2 , N_2 , O_2 , SO_2) ont le même comportement : c'est pour cette raison que l'on a choisi le dioxyde de carbone comme référence d'étude.

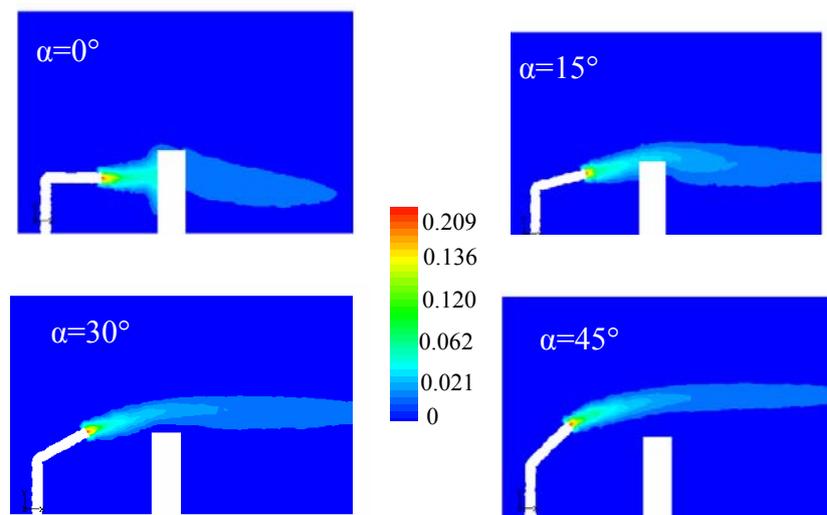


Figure 3. Contour de la fraction massique de CO_2 pour différentes inclinaisons du coude dans le plan de symétrie $Z=0$ $U_0 = 8\text{m/s}$, $U_\infty = 5\text{m/s}$

En effet pour le premier cas ($\alpha=0^\circ$) le panache rencontre l'obstacle immobile et le contourne il passe étroitement sur son toit et sur sa face frontale, on note une zone de stagnation des contaminants en amont du bâtiment.

Pour les deux autres angles $\alpha=15^\circ$ et $\alpha=30^\circ$ l'air pollué suit principalement la direction du vent, mais une concentration du polluant est toujours observée entre la source et le bâtiment et sur ce dernier.

Pour $\alpha=45^\circ$ la même évolution est constatée, mais la concentration du polluant au voisinage immédiat du bâtiment est beaucoup moins prononcée que celle observée pour les deux angles ($\alpha=15^\circ$ et $\alpha=30^\circ$).

Nous avons déduit de la figure précédente que la direction du coude est un moyen très efficace qui permet une meilleure dilution des polluants avant de se rabattre au sol et au niveau du bâtiment. Ce résultat paraît tout à fait logique car en orientant le coude d'une cheminée c'est comme si on a augmenté la hauteur de cette dernière d'une valeur égale à $10 \sin \alpha$ et que 10 est la longueur du coude.

Dans ce qui suit on va considérer l'angle optimum $\alpha=45^\circ$, dans ce cas la hauteur effective de la cheminée coudée devient égale à $10\text{cm} + 10\text{cm} * \sin 45^\circ = 17.07\text{cm}$. Le but du paragraphe suivant est de comparer de point de vue massique le comportement d'un polluant issu d'une cheminée droite de hauteur $h=17.07\text{cm}$ et d'une cheminée coudée dont le coude est orienté d'un angle $\alpha=45^\circ$ afin de mettre en évidence l'influence de la géométrie des cheminées.

On donne sur la figure 4 les contours de la fraction massique de CO₂ pour un rapport de vitesse R=1 et pour les deux configurations géométriques de la cheminée dans le plan Z=0. Cette figure montre précisément l'efficacité d'une cheminée coudée pour contrôler la dispersion des polluants. En effet pour une même élévation d'une cheminée (coudée ou droite) la fumée a tendance à s'élever verticalement dans le cas d'une cheminée droite tan disque pour une cheminée coudée les polluants sont orientés par la direction du coude et par suite un dépôt des polluants moins prononcées est présenté aux alentours du bâtiment. Cela confirme le fort impact de la configuration géométrique de la cheminée pour le contrôle des rejets issus de ces dernières.

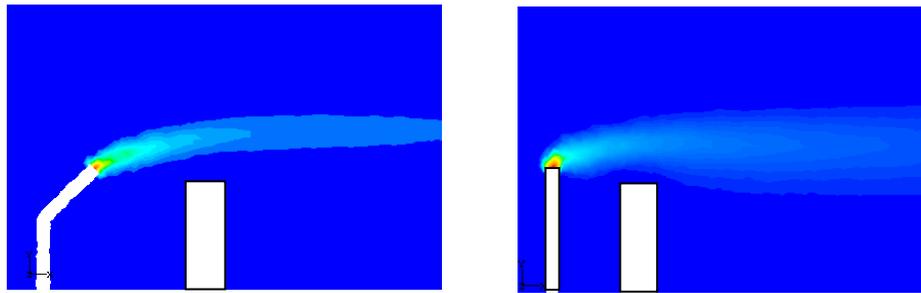


Figure 4. Contour de la fraction massique de CO₂ pour les deux configurations de la cheminée dans le plan de symétrie Z=0 U₀=8m/s, U_∞=8m/s

On donne sur le tableau 2 la fraction massique de CO₂ déposée au niveau du sol et au niveau des bâtiments pour les deux configurations de la cheminée (une cheminée coudée dont le coude est incliné d'un angle $\alpha=45^\circ$ et une cheminée droite de hauteur h=17.07cm

	Cheminée coudée ($\alpha=45^\circ$)	Cheminée droite (h=17.07)
Fraction massique de CO ₂ déposée au niveau du sol	4.95 E-7	1.21 E-6
Fraction massique de CO ₂ déposée au niveau du bâtiment	2.38 E-5	8.23 E-5

Tableau 2. Impact de la géométrie de la cheminée

4. CONCLUSION

Lors de ce travail nous avons décrit expérimentalement à l'aide de la technique de mesure PIV la structure d'un écoulement issu d'une cheminée coudée autour d'un obstacle de forme parallélépipédique. L'étude numérique consiste à simuler l'écoulement avec un modèle de fermeture au second ordre, et la validation des résultats est assurée grâce à des mesures à échelle réduite. Le but de cette étude numérique est de mettre en évidence l'influence de la géométrie de la cheminée sur la diffusion et la dilution des polluants éjectés avant de se rabattre au sol et au niveau des bâtiments.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Mirzai, M.H Wind tunnel investigation of dispersion of pollutants due to wind flow around a small building, Atmospheric Environment vol. 28, N°11, 1819-1826, 1994.
- [2] Marvolidis, I., Griffithis, R.F., Hall, D.J., Field and wind tunnel investigations of plume dispersion around single surface obstacles. Atmospheric Environment 37, 2903-2918. 2003.
- [3] Mahjoub Said, N., Mhiri, H, El Golli, S., Le Palec, G., Bournot, P., Influence de l'orientation de la vitesse du vent sur la dispersion d'un polluant autour d'un bâtiment Rev. Energ. Ren. Vol. 4 (2001) 107-123
- [4] Marvolidis, I., Andronopoulos, S., Atmospheric dispersion in the presence of a three-dimensional cubical obstacle: Modelling of mean concentration fluctuation. Atmospheric Environment 41, 2740-2756, 2006.
- [5] Nejla MAHJOUB SAID, Sabra HABLI, Hatem MHIRI Three-dimensional experimental and numerical modelling of flow behaviour near wake of circular cylinders Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics (2006).