

Dispersion autour d'un Bâtiment d'un Polluant Issu d'une Cheminée

N. Mahjoub¹, H. Mhiri¹, S. El Golli¹, G. Le Palec² et P. Bournot²

¹ Laboratoire de Mécanique des Fluides et Thermique, E. N. d'Ingénieurs de Monastir, Rte de Ouardanine, 5020 Monastir, Tunisie

² UNIMECA, 60 rue Joliot - Curie, Technopôle de Château-Gombert, 13453 Marseille cedex 13, France

Résumé - On se propose d'étudier numériquement la dispersion d'un polluant constitué d'un mélange de dioxyde de soufre et d'air en régime turbulent autour d'un obstacle bidimensionnel. On traite 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 d'un obstacle. La méthode numérique utilisée pour la résolution des équations qui décrivent l'écoulement est une méthode aux volumes finis, le maillage adopté est non uniforme, très resserré près de la cheminée et autour de l'obstacle où il y a des gradients dynamiques, thermiques et massiques importants. Le domaine d'étude considéré, est assez grand pour pouvoir visualiser les recirculations et tourbillons créés par le bâtiment. Les résultats trouvés montrent essentiellement que la présence d'un obstacle modifie l'écoulement, conditionne l'intensité des immiscions au niveau du sol et la dispersion du polluant. La direction du vent a un grand effet sur l'évolution du polluant éjecté et par suite sur son impact sur l'environnement immédiat de l'obstacle.

Mots clés: Polluant - Diffusion - Dioxyde de soufre - Obstacle - Isolé - Vent - Sillage - Concentration.

1. INTRODUCTION

La compréhension des détails de la dispersion d'un polluant autour des bâtiments est très importante pour estimer l'effet de la présence de ces derniers sur l'évolution des différents contaminants.

A cet effet, l'utilisation des modèles réduits dans des souffleries d'essais pour étudier le transport et la dispersion des polluants, a connu un grand essor. Les mesures des concentrations des contaminants issus d'une variété de sources de pollution ont été effectuées par beaucoup d'investigateurs tels que Halitsky [1], Plate [2], Strom [3] et Martin [4]. Cependant, ces travaux expérimentaux ne fournissent pas une base de données complète pour valider et améliorer des modèles de dispersion dans un terrain complexe, mais se limitent à donner des lois empiriques simples concernant essentiellement l'effet de la forme de l'obstacle et l'épaisseur de la couche limite sur la diffusion du polluant.

La visualisation de l'écoulement et les mesures directes de la concentration ont été largement utilisées pour des modèles réduits des bâtiments, les travaux effectués sur des obstacles à échelle réelle sont beaucoup plus rares [5-8].

Huber [9] a étudié dans une soufflerie, l'influence de la largeur et de l'orientation des constructions dans le vent, et a examiné les profils des concentrations dans le sillage des bâtiments. Les rapports considérés de la largeur sur la hauteur de ces derniers sont de 2 à 22 et l'angle d'orientation varie de - 30 à + 60.

Des investigations expérimentales ont été conduites, par Mirzai et al. [10], dans une soufflerie sur l'écoulement et la dispersion des polluants autour d'un bloc isolé. Une atmosphère stable et neutre à l'échelle 1/75 a été simulée. Une quantité substantielle des données expérimentales a été rassemblée pour produire des images qui montrent la concentration moyenne temporelle du polluant dans un plan prédéterminé derrière les bâtiments. Les résultats sont obtenus pour des déviations dans la direction du vent de - 10°, - 5°, 0°, + 5° et +10° et montrent que les concentrations du polluant sont affectées par la forme et l'orientation du bâtiment, et aussi par la nature et l'échelle de l'écoulement approché de la couche limite.

Schofield et Logan [11], font une analyse détaillée des différentes données expérimentales sur les écoulements autour des géométries 2D plongées dans des couches limites dont l'épaisseur est supérieure à celle de l'obstacle. Martinuzzi et Tropea [12], puis Hussein et Martinuzzi [13] détaillent l'écoulement autour de parallélépipèdes avec différents rapports d'aspects (rapport de la largeur de la face au vent sur sa hauteur) placés dans un canal. Hussein et Martinuzzi se sont particulièrement intéressés aux bilans des différentes variables turbulentes.

Sur le plan numérique, des modèles simplifiés appelés modèles des boîtes ont été utilisés, ces derniers font l'hypothèse que la dispersion atmosphérique peut être représentée par une dilution homogène dans tout le volume de la boîte. Cette dernière pouvant ainsi représenter une portion de vallée, une rue en milieu urbain ou un pays entier [14].

Le modèle d'une seule boîte a été étendu et amélioré par [15], qui a développé un modèle contenant une collection horizontale de boîtes communiquant dans le plan x-y (le long de la terre) sur le sol ou il suppose un mélange complet à l'intérieur de chaque boîte et d'où une diffusion verticale efficace des polluants. Ces derniers

sont entraînés d'une boîte à une autre par un vent moyen résultant. Reiquam a utilisé le modèle pour estimer les concentrations des contaminants dans la Vallée Willamette et en Europe du Nord.

Mouzakis et al. [16] présentent dans leur étude, une méthode numérique pour la prédiction de la diffusion matérielle dans un champ bidimensionnel d'écoulement turbulent sur une topographie complexe. La méthode est appliquée pour un écoulement bidimensionnel sur un obstacle de section triangulaire "ridge". Le champ de l'écoulement est calculé, en résolvant les équations moyennes de Reynolds, les équations sont exprimées dans un système de coordonnées de l'orthogonal curviligne qui prend la forme du "ridge". Ils ont montré que la trajectoire des polluants est affectée par la position de la source des polluants par rapport à celle des obstacles.

Ce travail est aussi une contribution numérique à l'étude de l'influence de la présence d'un obstacle et de l'orientation du vent sur les caractéristiques dynamiques et thermiques d'un panache issu d'une cheminée, ainsi que sur la concentration du polluant au niveau du sol. Pour ce faire, on se propose d'étudier numériquement la dispersion d'un polluant constitué d'un mélange de dioxyde de soufre et d'air, autour d'un obstacle, en régime turbulent. Les résultats sont obtenus pour des déviations dans la direction du vent de 0° , 20° , 45° , 315° et 340° .

2. FORMULATION THEORIQUE DU PROBLEME

On considère une cheminée de hauteur h et de diamètre d qui émet un mélange de dioxyde de soufre et d'air avec une vitesse d'éjection v_0 , à une température T_0 et une fraction massique du polluant (dans notre cas le SO_2) f_0 , en présence d'un obstacle. Ce panache est soumis à un vent de vitesse u_∞ , la température ambiante est T_∞ . Les hypothèses suivantes forment la base de l'étude :

- L'écoulement est considéré bidimensionnel, compressible, turbulent et stationnaire en moyenne.
- Les gaz en présence sont non réactifs.
- La vitesse du vent est considérée constante.
- Le site étudié contient un bloc isolé dont le toit est de forme arrondie.
- On ne tient pas compte des gradients de température existant dans l'atmosphère.

Les équations décrivant l'écoulement, obtenues en utilisant la décomposition de Favre s'écrivent de la façon suivante :

$$\frac{1}{y} \frac{\partial (\bar{r} \tilde{u})}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial (y \bar{r} \tilde{v})}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u} \tilde{u})}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial (y \bar{\rho} \tilde{u} \tilde{v})}{\partial y} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[y \bar{\rho} (v_t + v) \left(\frac{\partial \tilde{u}}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x} \right) \right] + (\bar{p} - \rho_\infty)_g$$

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u} \tilde{v})}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial (y \bar{\rho} \tilde{v} \tilde{v})}{\partial y} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[2y \bar{\rho} (v_t + v) \frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} - \frac{2}{3} y \left(\bar{\rho} \tilde{k} + \bar{\rho} (v_t + v) \frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} \right) \right]$$

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u} \tilde{T})}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial (y \bar{\rho} \tilde{v} \tilde{T})}{\partial y} = \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[y \bar{\rho} \frac{(v_t - v)}{\alpha_T} \frac{\partial \tilde{T}}{\partial y} \right]$$

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u} \tilde{f})}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial (y \bar{\rho} \tilde{v} \tilde{f})}{\partial y} = \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[y \bar{\rho} \frac{(v_t - v)}{\alpha_f} \frac{\partial \tilde{f}}{\partial y} \right]$$

L'introduction des grandeurs fluctuantes rend ce système ouvert. Sa fermeture nécessite l'utilisation d'un modèle de turbulence. Dans notre travail, on utilise le modèle de l'énergie cinétique turbulente k et du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente ε , dit modèle k - ε standard. Ces grandeurs sont données par le système d'équations suivant :

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u} \tilde{k})}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial (y \bar{\rho} \tilde{v} \tilde{k})}{\partial y} = \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[y \bar{\rho} \frac{(v_t - v)}{\alpha_f} \frac{\partial \tilde{k}}{\partial y} \right] + P + G - \bar{\rho} \tilde{\varepsilon}$$

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u} \tilde{\varepsilon})}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial (y \bar{\rho} \tilde{v} \tilde{\varepsilon})}{\partial y} = \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[y \bar{\rho} \frac{(v_t - v)}{\alpha_f} \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial y} \right] + \frac{\tilde{\varepsilon}}{\tilde{k}} [C_{\varepsilon 1} (P + G) - C_{\varepsilon 2} \bar{\rho} \tilde{\varepsilon}]$$

$$\text{avec : } P = \bar{\rho} (v_t + v) \left[\frac{\partial (\tilde{u})}{\partial x} + \frac{\partial (\tilde{v})}{\partial y} \right] \frac{\partial \tilde{u}}{\partial y} \quad ; \quad G = \bar{\rho} \beta_e g \frac{(v_t + v)}{\sigma_f} \frac{\partial \tilde{f}}{\partial x} \quad ; \quad v_t = C_\mu \frac{\tilde{k}^2}{\tilde{\varepsilon}}$$

Ce modèle nécessite l'utilisation de plusieurs constantes empiriques [17] :

$$C_\mu = 0.09; C_{\varepsilon 1} = 1.44; C_{\varepsilon 2} = 1.92; \sigma_T = 0.5; \sigma_k = 1.0; \sigma_\varepsilon = 1.3; \sigma_f = 0.7$$

Pour compléter le problème, outre les systèmes d'équations cités ci-dessus, il faut tenir compte des conditions aux limites ci-dessous (Fig.1) :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{AB} : u = u_\infty \cos \alpha, v = u_\infty \sin \alpha, T = T_\infty, f = k = \varepsilon = 0 \\ \quad \alpha: \text{angle entre l'horizontale et la direction du vent.} \\ \text{DE} : u = 0, v = v_0, T = T_0, f = f_0, k = 10^{-3} u_0^2, \varepsilon = k_0^{3/2} / 0.5d \quad [17] \\ \text{CD \& EF} : u = v = 0, \partial T / \partial x = \partial f / \partial x = \partial k / \partial x = \partial \varepsilon / \partial x = 0 \\ \text{HI} : u = v = 0, \partial T / \partial n = \partial f / \partial n = \partial k / \partial n = \partial \varepsilon / \partial n = 0 \\ \quad n: \text{normale à la surface HI} \\ \text{GH \& IJ} : u = v = 0, \partial T / \partial x = \partial f / \partial x = \partial k / \partial x = \partial \varepsilon / \partial x = 0 \\ \text{BC \& FG \& JK} : u = v = 0, \partial T / \partial y = \partial f / \partial y = \partial k / \partial y = \partial \varepsilon / \partial y = 0 \\ \text{KL} : \partial u / \partial x = \partial v / \partial x = \partial T / \partial x = \partial f / \partial x = \partial k / \partial x = \partial \varepsilon / \partial x = 0 \\ \text{AL} : \partial u / \partial y = \partial v / \partial y = \partial T / \partial y = \partial f / \partial y = \partial k / \partial y = \partial \varepsilon / \partial y = 0 \end{array} \right.$$

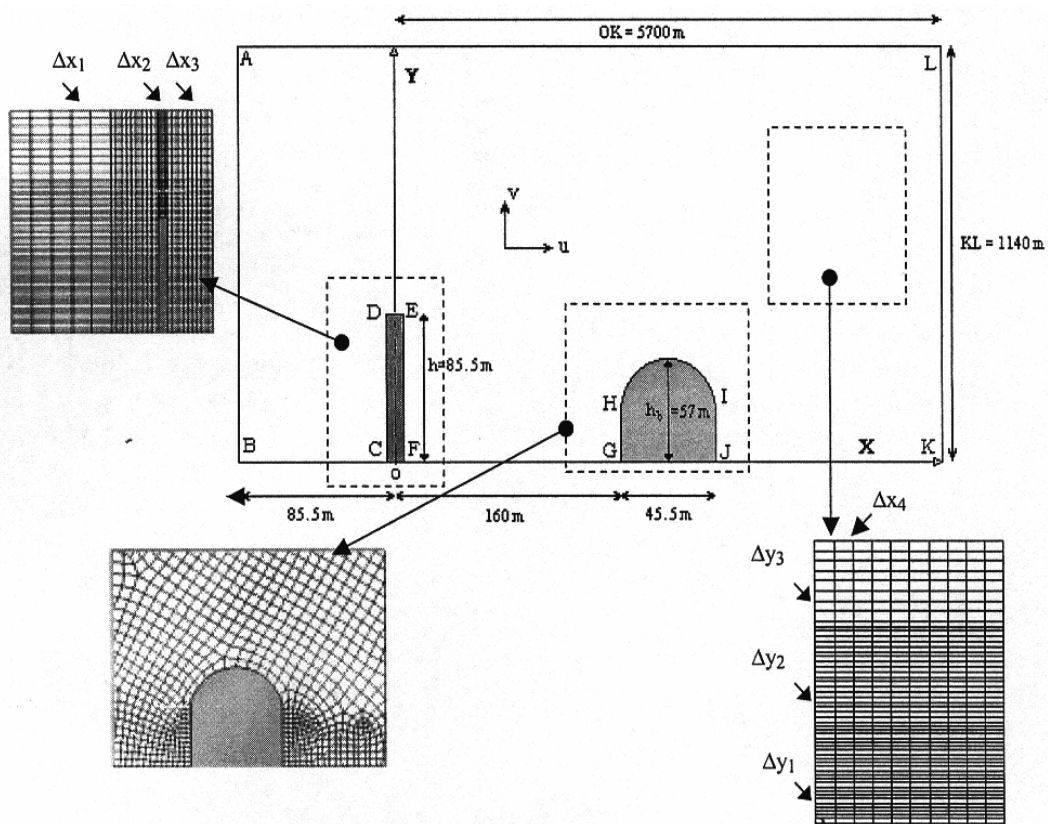


Fig. 1: Schématisation du problème et de maillage

3. METHODE NUMERIQUE

Afin de suivre avec précision toute variation des champs thermique, massique et aérodynamique, particulièrement dans la région proche de la cheminée et au voisinage de l'obstacle, nous avons adopté un maillage non uniforme, fortement resserré près de la cheminée et autour de l'obstacle. En effet le pas de calcul selon la direction longitudinale est pris grand avant la cheminée $\frac{\Delta x_1}{OK} = 2.10^{-3}$, puis très petit au voisinage immédiat de la cheminée $\frac{\Delta x_2}{OK} = 5.10^{-4}$, plus loin de cette dernière, on prend $\frac{\Delta x_3}{OK} = 2.10^{-4}$ (Fig. 1), autour de l'obstacle, on adopte un maillage de type Pave d'intervalle 1 [18].

Le domaine d'étude derrière l'obstacle est assez important afin de pouvoir visualiser les recirculations et tourbillons créés par ce dernier ($\frac{\Delta x_4}{OK} = 2.10^{-3}$). Le nombre de points considéré dans cette direction est jugé suffisant pour que les conditions aux limites sur la face KL soient applicables.

Dans la direction transversale, le pas de calcul est pris très petit au voisinage du sol ($\frac{\Delta y_1}{KL} = 2.10^{-3}$), en s'éloignant du sol, des pas plus grands sont considérés ($\frac{\Delta y_2}{KL} = 2,5.10^{-3}$ et $\frac{\Delta y_3}{KL} = 5.10^{-3}$). Au niveau de l'obstacle, sa forme géométrique nous impose un maillage de type pave d'intervalle 1. Le nombre de points dans cette direction est aussi jugé suffisant pour les conditions aux limites sur la face AL soient applicables.

Les équations discrétisées sont résolues à l'aide du code industriel Fluent par une méthode aux volumes finis. La correction pression- vitesse est réalisée à l'aide de l'algorithme simple. La convergence des calculs est obtenue pour une somme des résidus normalisés à 10^{-5} .

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'étude de la dispersion des polluants est très complexe et nécessite, en premier lieu, la compréhension du comportement de l'écoulement en présence d'obstacles. En effet, l'étendue de la zone de recirculation, la nature de la couche cisailée, tout comme celle des tourbillons qui se détachent de l'obstacle, vont interagir avec le polluant et donc influencer sa dispersion. Pour les obstacles ayant des arêtes arrondies où des toits de forme circulaire, le décollement des lignes de courant se fait de façon plus brutale, le sillage est plus large et la recirculation plus importante, contrairement aux arêtes vives.

Nos résultats sont obtenus pour des profils uniformes de vitesse et de température à la sortie de la cheminée. Le rapport des vitesses v_0 / v_∞ est égale à 1, le gaz éjecté de la cheminée est un mélange de dioxyde de soufre (10 %) et d'air à la température 100 °C.

On remarque sur la figure 2, où on donne les lignes d'iso-concentration, que lorsque l'air pollué se heurte à un obstacle, son écoulement se trouve perturbé et certains filets de polluant contournent l'obstacle qui leur est opposé, tandis que d'autres tendent à le franchir. Les filets de polluant ont tendance à épouser plus ou moins le bâtiment, ce dernier engendre une zone d'ascendance du contaminant sur sa face frontale suivie d'une zone de descente. Les effluents gazeux émis par la source sont piégés dans la zone de stagnation puis convectés par la région avale de l'obstacle. Les lignes d'iso-concentration sont serrées au-dessus du toit, siège de forts cisaillements, puis deviennent plus régulières en aval du bâtiment. La concentration dans la zone de stagnation (voisinage immédiat du bloc) est plus importante que dans la zone de recirculation (en aval de l'obstacle) (Fig. 2a).

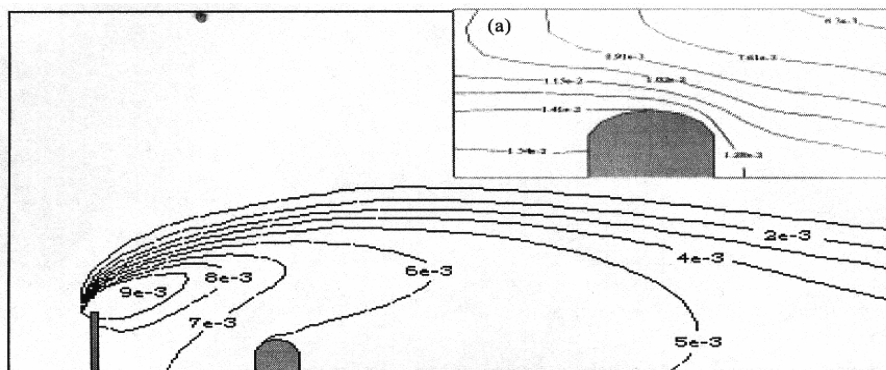


Fig. 2: Distribution des iso-concentrations - (a) agrandissement de la zone autour du bâtiment

La figure 3 représente l'évolution de la fraction massique de SO_2 en fonction de Y pour différentes sections de l'écoulement. La position du maximum de la fraction massique se situe à peu près à $y = 135$ m du sol pour toutes les sections considérées en amont de l'obstacle. Pour $x = 100$ m (avant le bâtiment), l'évolution de la fraction massique présente un pic important causé par la perturbation produite par la présence du bloc. Ce pic s'atténue au niveau des arêtes frontale et arrière de l'obstacle. On voit clairement que très en aval de ce dernier ($x = 500$ m), l'évolution de la fraction massique est régulière et ne dépend pratiquement plus de la présence de l'obstacle, ce dernier n'ayant plus aucun effet sur l'écoulement.

Sur la figure 4, on donne l'évolution de la fraction massique de l'air pollué pour plusieurs valeurs de l'angle entre l'horizontale et la direction du vent amont ($\alpha = 0^\circ, 20^\circ, 45^\circ, 315^\circ, 340^\circ$). On constate que la fraction massique la moins élevée est observée pour un vent normal à la face frontale du bâtiment ($\alpha = 0^\circ$), cependant pour un angle $\alpha = 45^\circ$, le polluant est piégé entre la cheminée et l'obstacle, la plus forte fraction massique du polluant ($3 \cdot 10^{-2}$) se situe au niveau du toit du bloc. Pour les autres angles considérés ($\alpha = 20^\circ, 315^\circ, 340^\circ$), la même évolution est constatée, mais les niveaux de fraction massique au voisinage immédiat du bâtiment sont beaucoup moins prononcées que celui observé pour un angle de 45° . Très en aval de l'obstacle, l'évolution de la fraction massique est pratiquement la même pour toutes les directions du vent considérées.

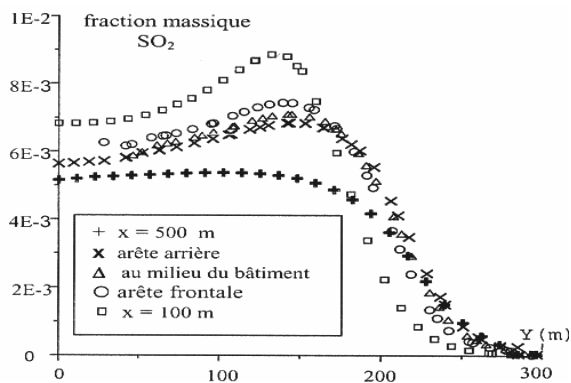


Fig. 3: Evolution de la fraction massique en fonction de Y pour différentes sections de l'écoulement

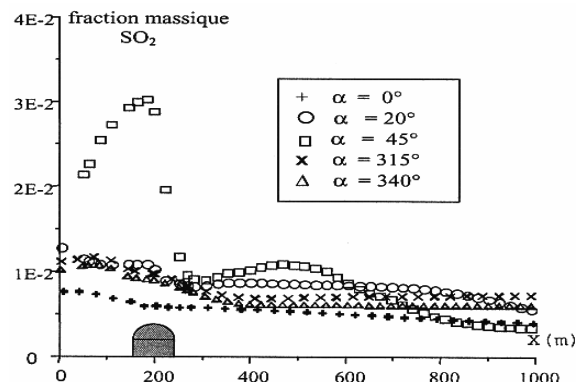


Fig. 4: Evolution de la fraction massique au niveau du toit de bâtiment pour différentes orientations du vent

La figure 5 représente les vecteurs vitesse de l'écoulement. Pour $\alpha = 0^\circ$, on constate que le gaz émis par la cheminée contourne l'obstacle et épouse sa géométrie, trois zones caractéristiques de l'écoulement sont distinguées: les zones de stagnation, de séparation et de recirculation. Dans la zone de stagnation, en amont du bâtiment, la vitesse est très faible et négative ce qui met en évidence la faible intensité du tourbillon dans cette zone, la zone de séparation du bloc, est dominée par un fort cisaillement, dans cette région la vitesse au-dessus de l'écoulement prend des valeurs qui dépassent la vitesse du vent amont (u_∞) alors que dans la région sous le vent, une zone de recirculation caractérisée par des structures tourbillonnaires contrarotatives s'est établie.

On représente sur la figure 6, les iso-valeurs du champ de l'intensité turbulente dans un terrain plat (Fig. 6b) et aussi en présence d'un bâtiment (Fig. 6a). Les tourbillons forment les limites latérales du sillage de l'obstacle. Les résultats montrent que la distance entre les deux limites du sillage diminue approximativement jusqu'à la position du point de rattachement en aval de l'obstacle à cause de l'entraînement du tourbillon apparaissant juste derrière celui-ci. Martinuzzi et Tropea [14] expliquent cet agrandissement par le gain de flux massique près de la paroi causé par l'entraînement de la couche limite cisailée et recollée par les tourbillons. Le fluide arrivant sur la face frontale du bâtiment avec une inertie importante, se déplace alors contre le gradient de pression, lorsqu'il perd de l'énergie, il s'enroule et forme alors, au niveau de sa rencontre avec l'écoulement proche pariétal amont le système tourbillonnaire. L'influence des structures tourbillonnaires est confirmée sur cette figure qui montre que les valeurs maximales de l'intensité turbulente sont directement liées aux zones de recirculation en amont et en aval du bloc. L'intensité turbulente peut atteindre une valeur relativement élevée dans la zone de recirculation en amont et sur les arêtes de l'obstacle perpendiculaire à l'écoulement principal.

5. CONCLUSION

Dans ce travail nous avons présenté une étude numérique de l'évolution du polluant issu d'une cheminée en régime turbulent et en présence d'un obstacle. Ce type d'étude permet la détermination des zones, plus particulièrement au niveau du sol, où la vitesse du vent est accélérée par la présence d'obstacles environnants. Les résultats trouvés montrent essentiellement que les facteurs topographiques interviennent dans la modification de la concentration et de la direction des courants de polluants de l'atmosphère. Un obstacle situé sur le chemin d'un dégagement de gaz peut le détourner de sa route et le faire dévier de sa direction soit latéralement soit

verticalement. Il peut aussi contribuer à la création de tourbillons après le bloc. Les résultats trouvés doivent être comparés à des résultats expérimentaux qui seront obtenus par des essais sur une maquette dans une soufflerie. Cette comparaison permettra de vérifier les hypothèses considérées et d'opter pour le modèle de turbulence qui permet de décrire le mieux l'écoulement.

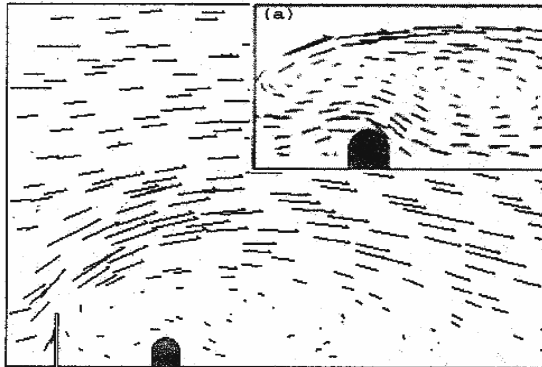


Fig. 5: Distribution des vecteurs vitesses
a-Grandissement de la zone autour du bâtiment

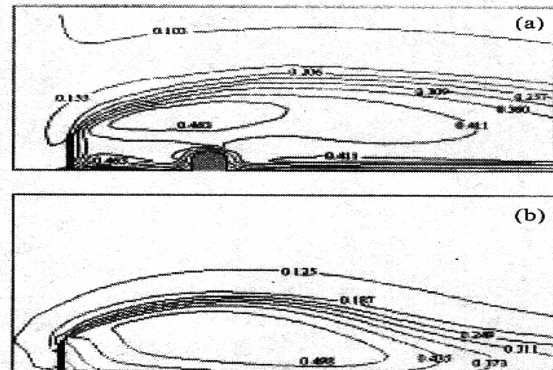


Fig. 6: Les iso-valeurs du champ de l'intensité turbulente : a- avec, b- sans bâtiment

NOMENCLATURE

h, d	Hauteur géométrique et diamètre de la cheminée, m
h_b	Hauteur du bloc, m
K	Energie cinétique de turbulence, m^2s^{-2}
T, f	Température, K - Fraction massique de SO_2
u, v	Composantes de la vitesse, ms^{-1}

Symboles grecs et Indices

ε	Taux de dissipation de l'énergie, m^2s^{-3}
σ_T	Nombre de Prandtl turbulent
∞	Milieu ambiant
$0, \sim, -$	A la sortie de la cheminée, Moyenne de Favre, Moyenne

REFERENCES

- [1] J. Halitsky, 'Gas Diffusion Near Buildings', Met. Atmo. Energy U.S.A. E.C., pp. 211-255, 1968.
- [2] E.J. Plate, 'Diffusion from a Ground Level Line Source into the Disturbed Boundary Layer far Downstream from a Fence', Int. J. Heat Mass Trans., 10, pp. 181-194, 1967.
- [3] G.H. Strom, 'Transport and Diffusion of Diffusion of Stack Effluents', Air Pollut. 1, pp. 401-501, 1976.
- [4] J.R. Martin, 'Recommended Guide for the Prediction of the Dispersion of Airborne Effluents', American Society of Mechanical Engineers, 1979.
- [5] P.J. Drivas and J.H. Shair, 'Probing the Air Flow Within the Wake Downwind of a Building by Means of a Tracer Technique', Atmospheric Environment, 8, pp. 1165-1175, 1974.
- [6] Ogawa and Oikawa, 'A Field Investigation of the Flow and Diffusion Around a Model Cube', Atmospheric Environment, 16, pp. 207-222, 1982.
- [7] R.D. Davis, 'Investigations of Transport in Complex Atmospheric Flow Systems', Ph.D. thesis, California Institute of technology, 1982.
- [8] C.D. Jones and R.F. Criffiths, 'Full-Scale Experiments on Dispersion Around an Isolated Building Using an Ionised Air Tracer Technique With Very Short Averaging Time', Atmospheric Environment, 18, pp. 903-916, 1984.
- [9] H.H. Lettau, 'Physical and Meteorological Basis for Mathematical Models of Urban Diffusion Processes', Proceedings of Symposium on Multiple Source Urban Diffusion Models, USEPA, Publication AP- 86, 1970.
- [10] H. Reiquam, 'An Atmospheric Transport and Accumulation Model for Airsheds', Atmospheric Environment, 4, pp. 233-247, 1970.
- [11] Alan H. Huber 'The Influence of Building Width and Orientation on Plume Dispersion in the Wake of Building', Atmospheric Environment, Vol. 23, N°10, pp. 2109-2116, 1989.
- [12] M.H. Mirzai et al., 'Wind Tunnel Investigation of Dispersion of Pollutants due to Wind Flow Around a Small Building', Atmospheric Environment, Vol. 28, N°11, pp. 1819-1826, 1994.
- [13] Schofield and Logan, 'Turbulent Shear Flow Over Surface Mounted Obstacles', Trans. of the ASME, Vol. 112, pp. 376-385, 1990.
- [14] Martinuzzi and Tropea, 'The Flow Around Surface Mounted, Prismatic Obstacles Placed in a Fully Developed Channel Flow', J. Fluids Eng., Vol. 115, pp. 85-91, 1993.
- [15] Hussein and Martinuzzi, 'Energy Balance for Turbulent Flow Around a Surface Mounted Cube Placed in a Channel', Phys. Fluids, Vol. 8, N°3, pp. 764-780, 1996.
- [16] F.N. Mouzakis et al., 'Pollutant Dispersion over a Triangular Ridge : a Numerical Study', Atmospheric Environment, Vol. 25A, N°12, pp. 371-379, 1991.
- [17] A.O. Demuren and W. Rodi, 'Three Dimensional Numerical Calculations of Flow and Plume Spreading Past Cooling Towers', Journal of Heat Transfer, Vol 109, pp. 113-119, 1987.
- [18] Gambit Tutorial Guide, May 1998.