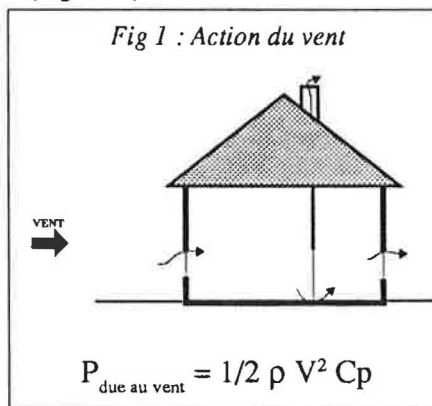


Coefficients de pression : Faisabilité d'une détermination numérique

La modélisation numérique des écoulements autour des bâtiments apparaît aujourd'hui comme une des méthodes de détermination des effets du vent sur les bâtiments.

Les potentialités et les difficultés de cette technique ont été dégagées grâce à la comparaison des coefficients de pression obtenus par simulation numérique et par essai en soufflerie.

Pour analyser le comportement aérodynamique d'un bâtiment, évaluer le taux de renouvellement d'air d'un logement, connaître les conditions de fonctionnement des systèmes de ventilation et de chauffage, il est nécessaire de déterminer la pression exercée par le vent sur les façades. Les coefficients de pression, fonction de la géométrie du bâtiment, de la nature, de la vitesse et de la direction du vent, ainsi que de l'environnement, traduisent l'effet du vent sur l'obstacle (Figure 1).



L'exploitation de campagnes de mesures conduites en soufflerie a conduit à l'établissement de tableaux synthétiques [1] ou de formulations analytiques [2, 3, 4] permettant la détermination des coefficients de pression moyens pour chaque façade. Notons la grande dispersion des valeurs ainsi obtenues pour une tour à base carrée de 18m de côté et de 21m de hauteur (Tableau 1).

Par Agnès GADILHE,
LASH-ENTPE
Camille SOLLIEC, CSTB

TABLEAU 1

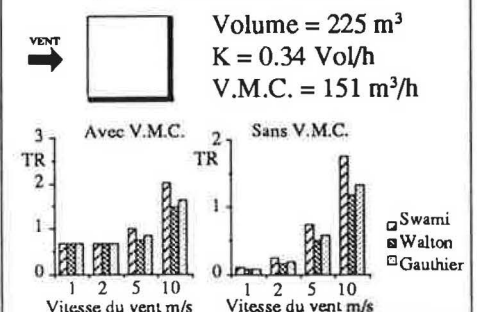
FACE	AU VENT	SOUS LE VENT	LATERALE
GAUTHIER	0.70	-0.25	-0.60
SWAMI	0.94	-0.61	-1.00
ANSELME	0.60	-0.40	-0.80
WALTON	0.75	-0.15	-0.30

Par la mise en oeuvre d'un modèle de simulation de l'aérodynamique du bâtiment [5], nous pouvons évaluer le taux de renouvellement d'air, TR, d'un logement situé en pignon de cette tour et mettre en évidence l'influence de la valeur du coefficient de pression (Figure 2) :

- si le système de ventilation fonctionne, les différents coefficients de pression entraînent une variation du taux de renouvellement d'air de 25% en cas de vent fort
- si le système de ventilation est en panne, les écarts sont alors de 25% pour une vitesse de vent faible et de 50% pour une vitesse forte.

Une bonne détermination du coefficient de pression est donc primordiale pour l'analyse de la ventilation d'un logement dans des situations critiques.

Fig 2 : Influence du C_p sur TR

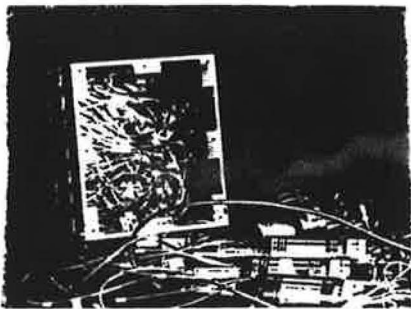


La modélisation numérique ou la simulation en soufflerie permettent la prise en compte des caractéristiques du bâtiment et de son environnement. Elles apparaissent pour le calcul des coefficients de pression comme une voie intermédiaire entre l'utilisation de valeurs issues de la bibliographie et la mesure in situ.

L'étude d'une maquette dans une soufflerie atmosphérique [6] requiert la reproduction des caractéristiques du vent : vitesse moyenne, intensité de turbulence, distribution fréquentielle de l'énergie, échelles de turbulence. Pour la présente étude, un vent caractéristique d'un site dégagé de rase campagne est retenu et reproduit dans la soufflerie (Figure 3).

La maquette réalisée en plexiglas à l'échelle 1/150 est équipée de prises pariétales associées à un moyenneur spatial (Figure 4). Les différences de pression sont mesurées à une fréquence de 200 hz puis une moyenne temporelle est effectuée. La pression dynamique est mesurée en amont de la maquette à la hauteur du faîte du toit par un tube de Pitôt. Par rotation de la maquette dans la veine d'essais, différentes incidences de vent sont étudiées.

Fig 4 : Maquette & Appareillage de mesure utilisés en soufflerie



L'écoulement que doit modéliser la simulation numérique [5] est tridimensionnel, turbulent et permanent. Les phénomènes thermiques

sont négligeables devant les phénomènes dynamiques liés au vent : l'air incompressible a une température constante et uniforme. L'écoulement est décrit par le système d'équations (1) établi dans le cadre de la mécanique des milieux continus, avec l'hypothèse de Reynolds et une modélisation à deux équations du phénomène de turbulence, dite k-ε. Ces équations, discrétisées selon la méthode des volumes finis, sont résolues par la mise en oeuvre du code de calcul PHOENICS.

Le bâtiment est supposé imperméable à l'air car Vickery [7] a montré que les coefficients de pression ne sont pas affectés par le taux de transparence du bâtiment tant qu'il est inférieur à 20%.

La discrétisation des équations nécessite le choix d'un domaine et la réalisation du maillage. Un compromis entre nombre de mailles et dimension du domaine est recherché afin d'obtenir des temps calcul raisonnables. Nous avons retenu un

Système d'équations 1

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0$$

$$U_i \frac{\partial U_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} - \frac{\partial u_i u_i}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_i^2}$$

$$u_i u_i = -\nu_T \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} \bar{k} \delta_i$$

$$\nu_T = C_\mu \frac{\bar{k}^2}{\bar{\epsilon}}$$

$$U_i \frac{\partial \bar{k}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_T}{C_k} \frac{\partial \bar{k}}{\partial x_i} \right) - u_i u_i \frac{\partial U_i}{\partial x_i} - \bar{\epsilon}$$

$$U_i \frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_T}{C_\epsilon} \frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial x_i} \right) - C_\epsilon \frac{\bar{\epsilon}^2}{\bar{k}} - C_\epsilon \frac{\bar{\epsilon}}{\bar{k}} u_i u_i \frac{\partial U_i}{\partial x_i}$$

\bar{U}_i : vitesse moyenne selon i

u_i : vitesse fluctuante selon i

\bar{P} : pression moyenne

\bar{k} : énergie cinétique de turbulence

$\bar{\epsilon}$: taux de dissipation

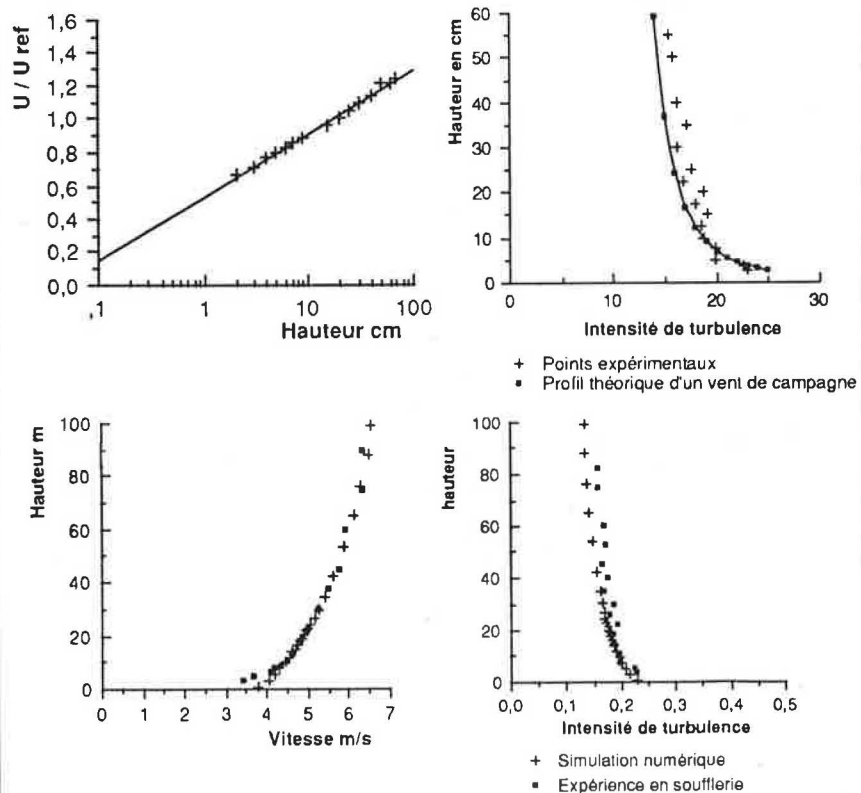
ν : viscosité de l'air

ρ : masse volumique de l'air

ν_T : viscosité turbulente

$C_\mu, C_k, C_\epsilon, C_1, C_2$: constantes du modèle

Fig. 3 : Profil du vent



domaine tel que le bâtiment ne bloque que 10% de la section d'entrée. Nous avons opté pour des maillages orthogonaux irréguliers dont les plus petites mailles sont à proximité de l'obstacle (Tableau 2).

Le profil du vent reproduit dans la soufflerie est imposé à l'entrée du domaine de simulation (Figure 3). Par ailleurs, les conditions aux faces latérales et supérieure imposent que l'écoulement se développe parallèlement à ces plans. A la sortie du domaine, le profil du vent doit être rétabli. Au voisinage des parois, sol du domaine et façades du bâtiment, nous reproduisons les spécificités de l'écoulement par l'imposition de "fonctions de parois".

Pour évaluer les potentialités d'une simulation numérique des coefficients de pression, une géométrie simple est tout d'abord retenue : il s'agit d'une tour (Figure 5) ayant une toiture terrasse avec ou sans acrotère. Les coefficients de pression sont calculés à chaque étage du bâtiment, soit sept niveaux, pour un logement ayant une façade de 9m linéaire. Le domaine de simulation adopté est présenté par la figure 5 ; les caractéristiques du maillage sont indiqués par le tableau 2.

La comparaison des coefficients de pression obtenus par simulation numérique et par essais en soufflerie (Figure 6) montre un accord satisfaisant pour les logements supérieurs de la façade au vent ainsi que pour la façade latérale. Par contre, les coefficients de pression sont surestimés pour les logements inférieurs de la façade au vent. Les recirculations se développant à l'arrière de la tour sont mal prédites comme le montre la sous estimation des coefficients de pression et les visualisations (Figures 6 et 7). Remarquons que la présence d'un acrotère ne modifie pas les coefficients de pression mesurés en soufflerie ; la simulation numérique prédit une légère augmentation (10%) de ceux des logements du dernier niveau.

Fig. 5 : Géométrie de la tour et domaine de simulation

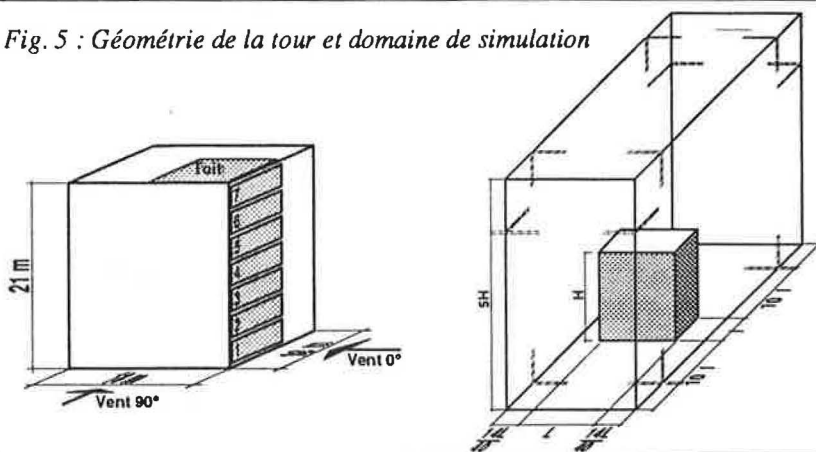


Fig 6: Coefficient de pression en fonction de l'étage

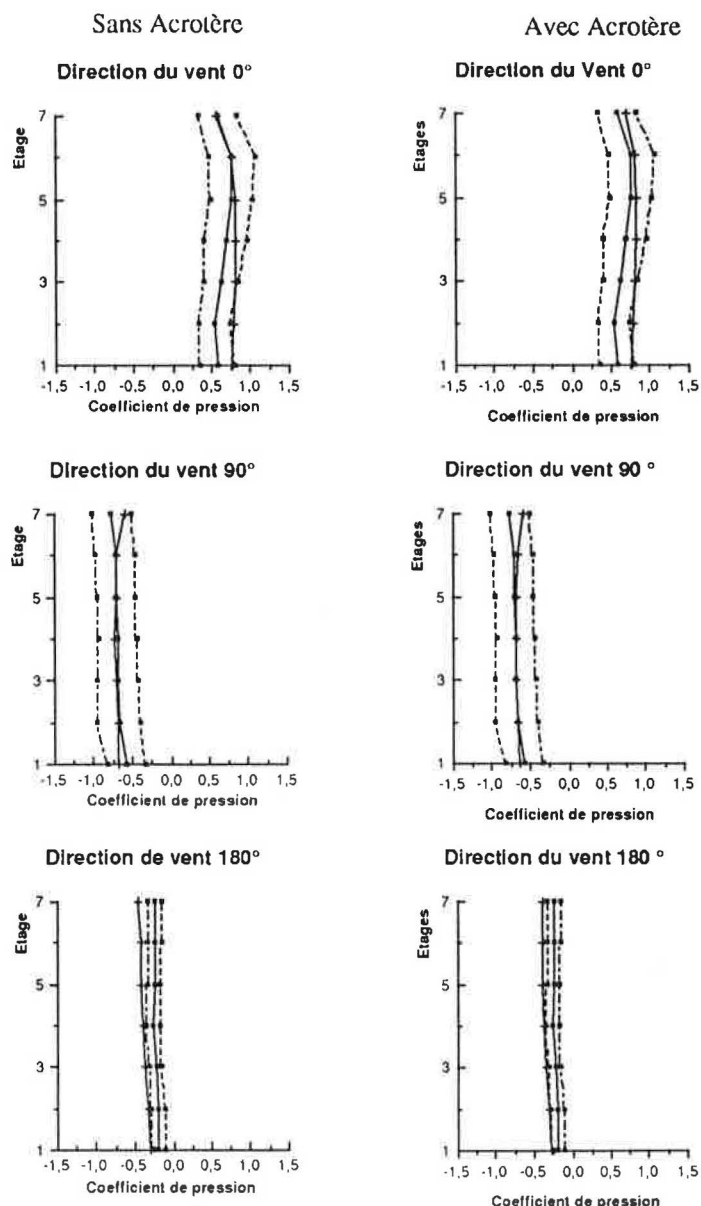
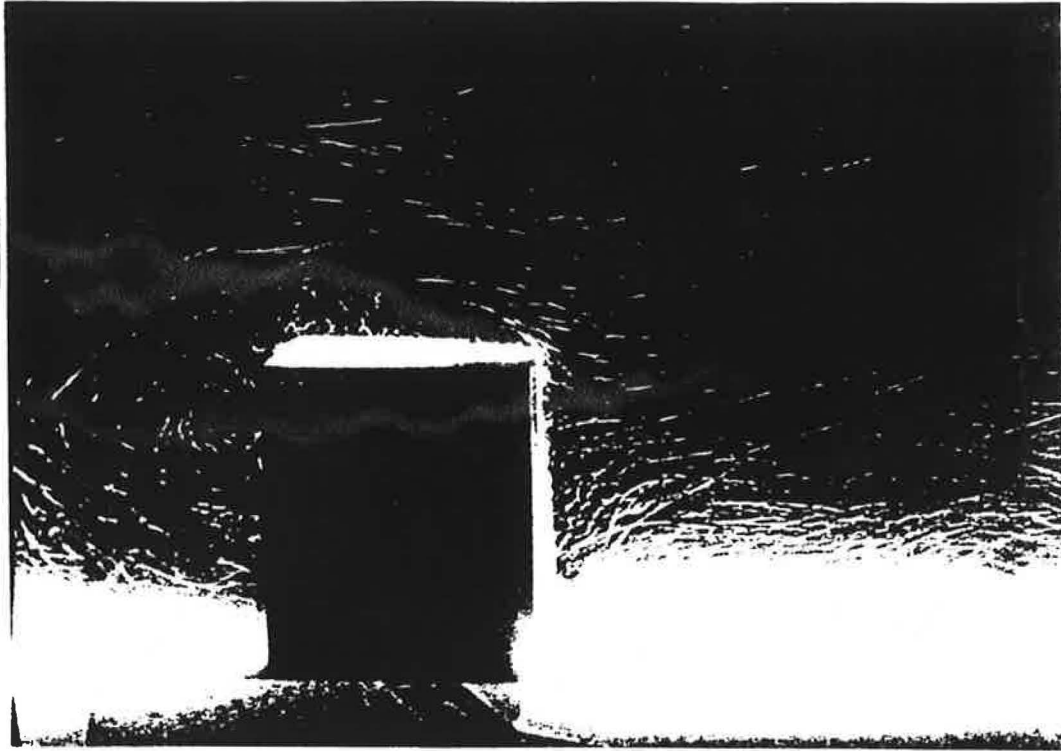
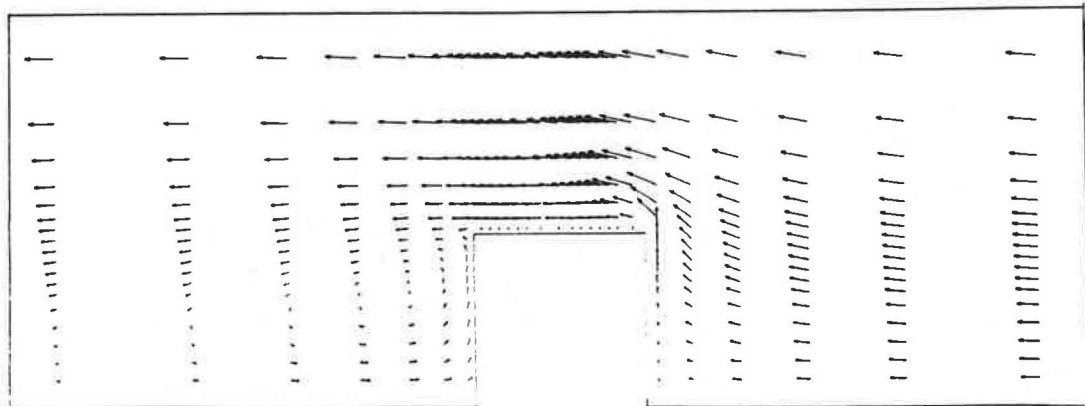


Fig 7: Ecoulement autour la tour dans le plan de symétrie



Visualisation de l'écoulement en soufflerie



Champ de vitesse obtenu par modélisation numérique

Les résultats obtenus dans le cas de cette géométrie fort simple étant encourageants, envisageons maintenant une géométrie plus délicate. Nous choisissons une barre dont une des dimensions est grande devant les deux autres (Figure 8) et ayant soit une toiture terrasse soit un toit double pente. Les coefficients de pression sont calculés pour les logements situés en pignon et au centre de la barre, à deux niveaux, ainsi que sur le toit. Les paramètres de simulation retenus pour ce cas sont présentés par la figure 8 et le tableau 2.

Lorsque le vent est normal au pignon de la barre ayant une toiture terrasse, nous constatons que les prédictions de la simulation numérique sont en accord avec les tests en soufflerie pour les appartements et la partie de la toiture terrasse proches du pignon au vent. Mais, ils sont surestimés en valeur absolue par le calcul pour les autres logements comme pour le toit (Figure 9). Il conviendrait de vérifier pour cette géométrie qu'une section d'entrée bloquée à 10% par le bâtiment est suffisamment large pour que l'écoulement se développe librement ou si une augmentation des dimensions du domaine de simulation est nécessaire vu la grande longueur de la barre.

Nous avons ensuite envisagé le cas de la barre ayant un toit double pente. L'adoption d'un maillage orthogonal ne permet pas ici une description fidèle de cette géométrie car les plans de la toiture non parallèles à une des directions de discrétisation sont modélisés par des escaliers. Pour cette géométrie, les coefficients de pression obtenus par simulation numérique ne sont satisfaisants pour aucun des logements : le recollement observé lors du test en soufflerie n'est pas prédit numériquement et les coefficients de pression des logements proches du pignon au vent sont surestimés en valeur absolue. Une modélisation rendant mieux compte de la réalité,

utilisant un maillage non orthogonal, permettrait peut-être l'obtention de meilleurs résultats dans ce cas.

L'étude numérique de ces deux

géométries très différentes dégage d'une part les potentialités de la technique de simulation numérique pour des géométries simples aux dimen-

TABLEAU 2

	Nb de points			Plus petite maille			Plus grande maille			Domaine		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Tour	36	24	34	0.45	1.31	1.125	1.35	11.375	54.40	30.1	99.3	351
Barre	18	24	68	0.50	0.56	1.250	1.50	4.875	25.00	16.5	42.6	256
Barre*	18	30	68	0.50	0.47	0.470	1.50	4.875	25.00	16.5	67.4	256

* Avec toit double pente

Fig 8 : Géométrie de la barre et domaine de simulation

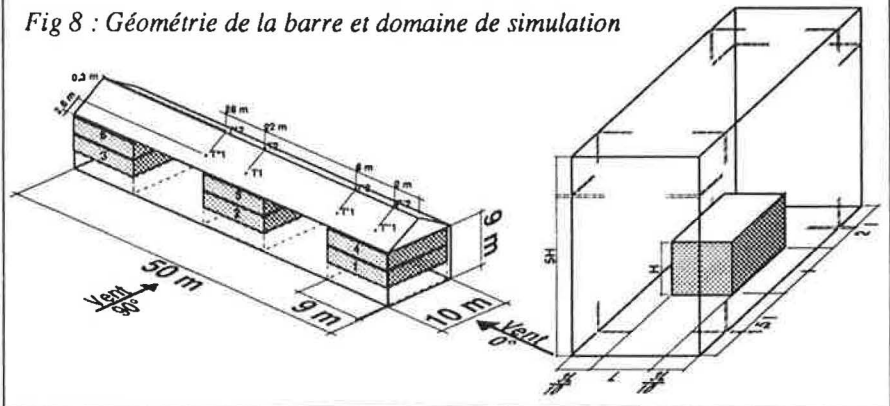
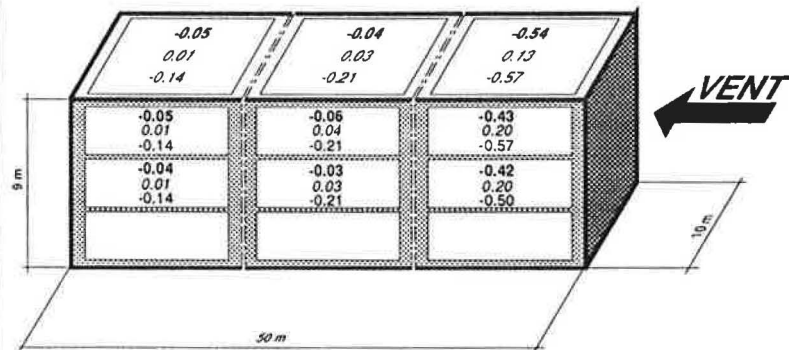
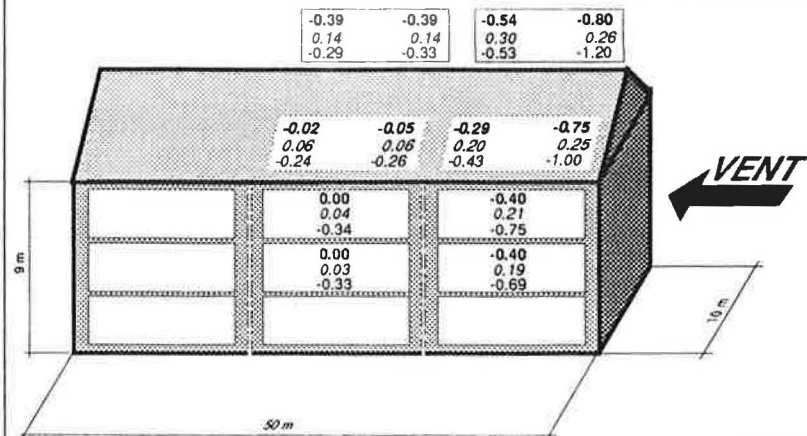


Fig 9 : Coefficient de pression



x.xx valeur moyenne soufflerie
 x.xx écart type soufflerie
 x.xx valeur simulation numérique



sions de même ordre de grandeur et d'autre part les difficultés de mise en oeuvre. En effet, la modélisation de l'écoulement autour d'obstacles et le calcul des coefficients de pression dus au vent, nécessite le recours à un nombre de points de discrétisation relativement important, puisque l'écoulement est tridimensionnel, engendrant des temps calcul élevés sur un Apollo DN 570. Optimiser le nombre de points de discrétisation est donc primordial, mais les dimensions du domaine de simulation doivent être suffisantes pour que l'écoulement se développe librement, les mailles à proximité du bâtiment doivent être fines pour une bonne prédiction des coefficients de pression. Par conséquent, l'approche d'une géométrie nouvelle serait facilitée par des règles indiquant un ordre de grandeur pour les dimensions du domaine et la taille des mailles.

L'évaluation de cette technique de calcul numérique des coefficients de pression n'est ici que très partielle puisque ni bâtiment aux formes complexes ni site urbain n'ont été envisagés. L'utilisation de "souffleries numériques" utilisables dans le monde du bâtiment implique l'amélioration des modèles de simulation ainsi que la poursuite de comparaisons entre modélisation numérique et simulation en soufflerie.

Mais, les efforts consentis dans le domaine de la modélisation ne doivent pas occulter l'objet premier d'intérêt : le bâtiment réel dans son site. Si la confrontation entre deux techniques de modélisation est riche d'enseignement, les expérimentations in situ, bâtiment expérimental du C.E.R.U.G.* ou maison expérimentale du C.S.T.B., sont indispensables pour appréhender la complexité des phénomènes naturels et permettre une véritable validation de toute modélisation.

* Centre d'Etudes et de Recherches des Utilisations du Gaz

Références bibliographiques

[1] J.L. GAUTHIER
Déperditions calorifiques par infiltration dans les bâtiments en hiver.
Thèse de docteur ingénieur : ENSAIS, 1978

[2] M.V. SWAMI, S. CHANDRA
Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural ventilation airflow. ASHRAE Trans, 1988, Vol. 94, Part 1, p. 243-266

[3] Ph. ANSELME, Th. DEGRISE, R. FAUCONNIER, Ph. GUILLEMARD
Algorithmes des simulations du comportement thermique des bâtiments BILGA et BILBO. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, N° 458, 1987

[4] G.N. WALTON
Air flow and multiroom thermal analysis. ASHRAE Trans, 1982, Vol. 88, Part 2, p. 78-86

[5] A. GADILHE
Comportement aérodynamique des enveloppes de bâtiment : Détermination numérique des pressions en façade ; Modélisation de la perméabilité à l'air.
Thèse de doctorat : INSA de LYON, 1990

[6] C. SOLLIEC
Champ de pression instantané induit par le vent sur les constructions : application à la ventilation naturelle.
Nantes : CSTB, 1988, EN-ADYM 88-11 C

[7] B.J. VICKERY, R.E. BADDOUR, C.A. KARAKATSANIS
A study of the external wind pressure distributions and induced internal ventilation flow in low-rise industrial and domestic structures.
London (Canada) : University of western Ontario, 1983, Report BLWT-SS2-1983

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au soutien financier et scientifique de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, Gaz de France et Electricité de France.