



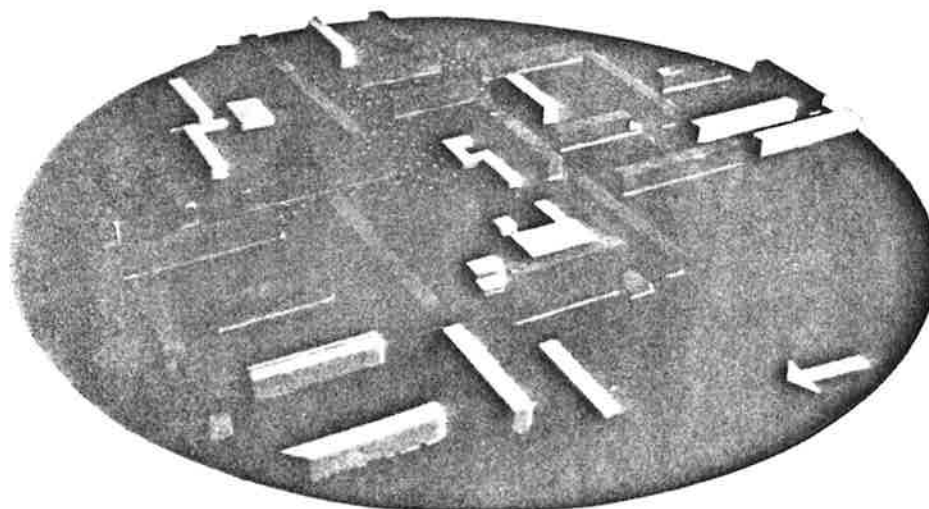
JUILLET 1978
Édition revue et corrigée
se substituant à celle de
mars 1978 à détruire

Champ de pression moyenne sur les constructions usuelles

Application à la conception des installations de ventilation

J. GANDEMER, ingénieur aérodynamicien
Section Aérodynamique des constructions, Établissement de Nantes du CSTB

Avec la participation des membres de la section :
M. BARNAUD, **M. GRILLAUD** et **M. MAILLE**, ingénieurs,
M. ALAIME, **M. MARY** et **M. ORTION**, techniciens supérieurs
Mme J. MIGOT, secrétaire



RÉSUMÉ

La répartition et le niveau des pressions dues au vent sur les faces extérieures des bâtiments conditionnent le fonctionnement des systèmes de ventilation et, par suite, les déperditions thermiques.

Cet article présente les résultats obtenus en soufflerie simulant le vent naturel, sous forme d'une « cartographie » des coefficients de pression moyenne s'exerçant sur les formes courantes d'habitation. Les effets locaux sur les orifices d'extraction en toiture-terrasse sont aussi abordés.

SUMMARY

The distribution and level of pressures due to the wind on the external faces of buildings condition the working of ventilation systems and hence the thermal losses.

This article presents the results of wind-tunnel experiments imitating natural wind, in the form of a 'mapping' of the mean pressure coefficients exerted on the ordinary forms of dwelling. Attention is also given to the local effects on extraction outlets on flat roofs.

RESUMEN

El reparto y el nivel de presiones que se deben al viento en las superficies exteriores de los edificios condicionan el funcionamiento de los sistemas de ventilación y como consecuencia también las pérdidas térmicas.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos en túnel aerodinámico que simula el viento natural, en forma de una «cartografía» de los coeficientes de presión media que se ejerce en las formas corrientes de vivienda. Se abordan también los efectos locales en los orificios de extracción en cubierta terraza.

Champ de pression moyenne sur les constructions usuelles

Application à la conception des installations de ventilation

1 Introduction

La nécessité de renouveler l'air dans les locaux d'habitation entraîne des déperditions thermiques importantes en hiver.

L'expression suivante en donne l'ordre de grandeur (réf. 1) :

$$Q \simeq 0,3 \cdot V \cdot (t_e - t_i)$$

où Q est la déperdition en kcal/h

V le taux de renouvellement d'air en m^3/h

t_i et t_e les températures intérieures et extérieures.

Dans des conditions normales de ventilation, le taux horaire de renouvellement d'air doit être de l'ordre du volume habitable. Il en résulte alors des déperditions par ventilation de l'ordre de 30 % (1) des déperditions totales (réf. 2).

Or, le taux de renouvellement d'air dépend de la répartition des pressions le long des circuits de ventilation et les pressions aérodynamiques exercées par le vent jouent un rôle important dans cette répartition.

A titre d'exemple, on peut donner les ordres de grandeur suivants (réf. 2) :

Cas de l'extraction naturelle

L'écart de pression qui utilise au maximum le tirage thermique dépend de la hauteur h des conduits et de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ($t_i - t_e$) :

$$\Delta P_{\text{t pascal}} \simeq 0,046 h_{\text{mètre}} (t_i - t_e)$$

Pour cinq niveaux ($h = 13,5$ m) et pour un écart de 15°C nous obtenons 9 pascals pour le tirage thermique. Parallèlement, l'écart moyen entre une façade sous le vent et une façade au vent est de l'ordre de :

$$\Delta P_v \simeq 0,8 \bar{U}^2$$

où $\bar{U}$ est la vitesse moyenne du vent (m/s). Cette dernière varie avec le site, la rugosité du sol, la hauteur, etc. Mais, pour fixer les idées, à 10 m au-dessus du sol en site de campagne (météo) pendant 50 % du temps, la vitesse moyenne dépasse 4 m/s. Il y correspond une valeur $\Delta P_v \simeq 13$ Pa.

Ces ordres de grandeur sont significatifs de l'importance du vent dans les problèmes de ventilation aux extractions naturelles.

1. En admettant un coefficient volumique de déperdition de l'ordre de $1 \text{ kcal}/m^3 \cdot h \cdot ^\circ\text{C}$.

Cas de l'extraction mécanique

Compte tenu des écarts de pression « moteurs » très nettement plus importants que ceux dus au tirage thermique, l'influence du vent est moindre mais néanmoins pas négligeable. Par exemple, à côté du débit d'air extrait (relativement peu variable avec le vent), peut exister un débit parasite dû au vent d'une façade à l'autre.

Il est donc nécessaire de savoir estimer de manière précise l'influence du vent sur la ventilation pour en contrôler les effets et pour pouvoir optimiser la perte d'énergie inhérente au taux minimal (exigence de la pureté de l'air) de renouvellement d'air.

2 Définitions

Une des difficultés essentielles de l'étude est le caractère d'irrégularité dans le temps que possède le vent au niveau du sol (échelles de la saison, du jour mais aussi de la minute). Il en résulte que les pressions aérodynamiques sur les constructions fluctuent constamment. Ce caractère aléatoire de la pression est décrit en termes statistiques, sous forme de pression moyenne, de valeurs quadratiques moyennes, valeurs de pointe, distribution statistique de la pression instantanée. Dans le contexte des études de ventilation seule la notion de *moyenne* à l'échelle de l'heure est à retenir : elle permet d'estimer les débits moyens horaires et par suite les déperditions annuelles.

Il faut noter que le débit d'air moyen n'est pas calculable, en toute rigueur, à partir de la répartition des pressions moyennes : la relation qui lie le débit q dans un conduit à la perte de charge k n'est pas linéaire mais de la forme $k = a \cdot q^n$ avec n compris entre 1 et 2 et généralement voisin de 2.

En première approximation et pour des fluctuations de pression modérées, l'expression précédente s'applique aux valeurs moyenne $\bar{k}$ et $\bar{q}$ (erreur de l'ordre de 3 % si la valeur quadratique moyenne atteint la moitié de la pression moyenne).

La pression moyenne $\bar{P}$ sur un bâtiment, en un point donné est directement liée à la vitesse moyenne du vent par la relation :

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \rho \bar{U}^2 \cdot \bar{C}_p$$

où ρ est la masse volumique de l'air et $\bar{C}_p$ le coefficient moyen de pression externe accessible seulement expérimentalement.

L'expression $\frac{1}{2} \rho \bar{U}^2$ est la pression dynamique moyenne correspondant à la vitesse moyenne $\bar{U}$. Mais cette dernière varie avec la hauteur au-dessus du sol et dépend du type de vent incident (qualifié par la rugosité du sol ; par exemple : rase campagne, ville, etc.).

Par convention, dans ce qui suit, la vitesse de référence $\bar{U}_{ref}$ est supposée mesurée à la hauteur du sommet du bâtiment et le type de vent incident considéré est indiqué.

Cette vitesse de référence $\bar{U}_{ref}$ ainsi définie correspond donc à un site de construction donné. Elle peut être rattachée à la vitesse moyenne $\bar{U}_0$ mesurée à la station météorologique la plus proche du site considéré, de sorte qu'il soit possible d'utiliser les données statistiques recueillies dans cette station. La relation entre ces deux vitesses $\bar{U}_0$ et $\bar{U}_{ref}$ dépend de la hauteur de l'anémomètre de la station, généralement 10 m, et de celle du bâtiment étudié. Elle dépend aussi de la rugosité du site de construction et de celle de la station météorologique et de son environnement ; de ce point de vue, toutes les stations ne sont pas équivalentes. Ces différents éléments de la relation entre $\bar{U}_0$ et $\bar{U}_{ref}$ sont étudiés dans un document récent (1) qui propose une méthode permettant d'estimer $\bar{U}_{ref}$ à partir de $\bar{U}_0$.

L'objectif général de l'étude a donc été de connaître le champ de pression moyenne sur des bâtiments d'habitation en façades (entrée d'air) et en toiture (sorties des conduits d'extraction) en fonction des paramètres suivants :

- nature du vent (campagne, ville, etc.) et sa direction,
- type de l'environnement proche,
- forme du bâtiment,
- dimension du bâtiment,
- présence (ou non) d'acrotère, de dispositif extracteur, de cage d'ascenseur, etc. pour les toitures-terrasses.

Cette publication présente les grandes phases de l'étude menées au CSTB Nantes (réf. 3-4) et ses principaux résultats obtenus en soufflerie simulant le vent naturel à l'échelle des maquettes.

1. J. BIETRY, C. SACRE, « Le vent sur le site de construction. Méthodes d'estimation à partir des données des stations météorologiques » (à paraître dans les *Cahiers du CSTB*).

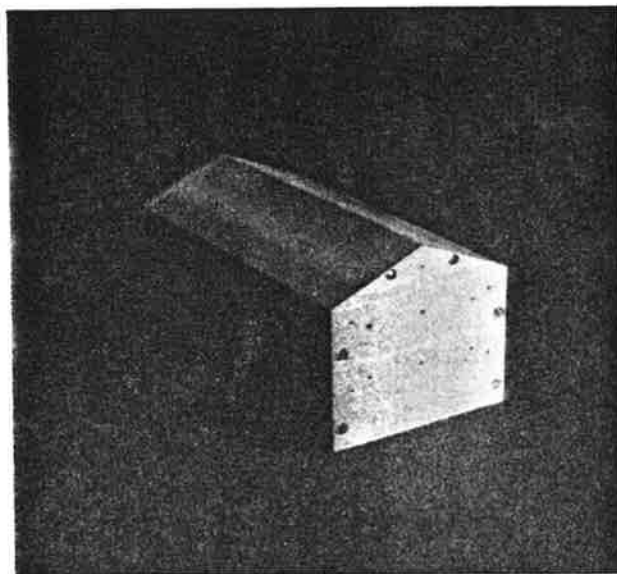


Figure 1 *Maison individuelle (R + 1)*

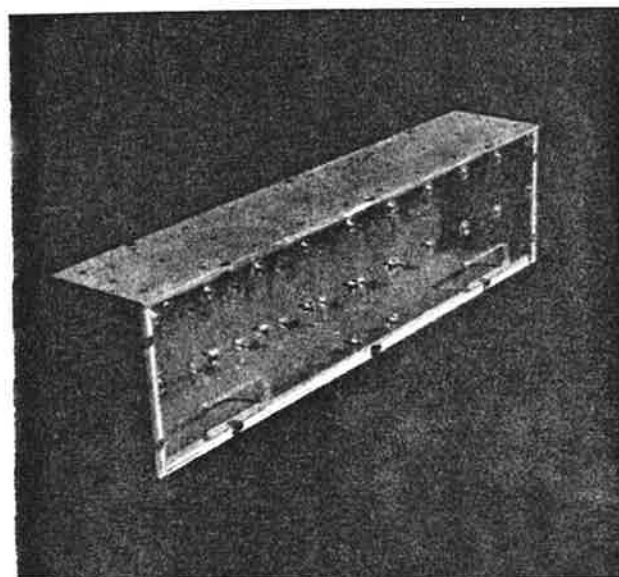


Figure 2 *Maquette d'une barre R + 4*

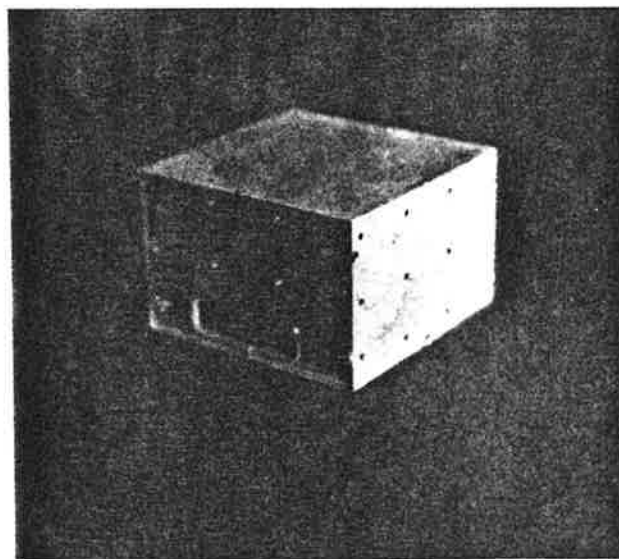


Figure 3 *Maquette d'un plot R + 4*

3 Description des cas traités

3.1 Types de constructions étudiées et leur environnement

Avec l'aide des architectes et urbanistes de l'Unité Pédagogique Architecture de Nantes (UPAN) et du Centre de Recherches Méthodologiques d'Architecture et d'Aménagement (CERMAA) nous avons choisi les formes d'habitation les plus répandues actuellement ou qui vont l'être dans les années à venir, ainsi que leur contexte d'implantation réaliste.

Le tableau ci-dessous présente ces constructions qui ont été testées pour différentes positions au sein de plans masses compatibles et en association avec plusieurs environnements amont plausibles.

En outre, chacune des constructions retenues a été étudiée sans aucun environnement (construction isolée). Cette configuration constitue, dans ce qui suit, le cas de référence.

Le cas de l'étude des acrotères et de l'influence d'une disposition géométrique type, du système d'extraction mécanique d'air a été inséré dans le tableau ci-après.

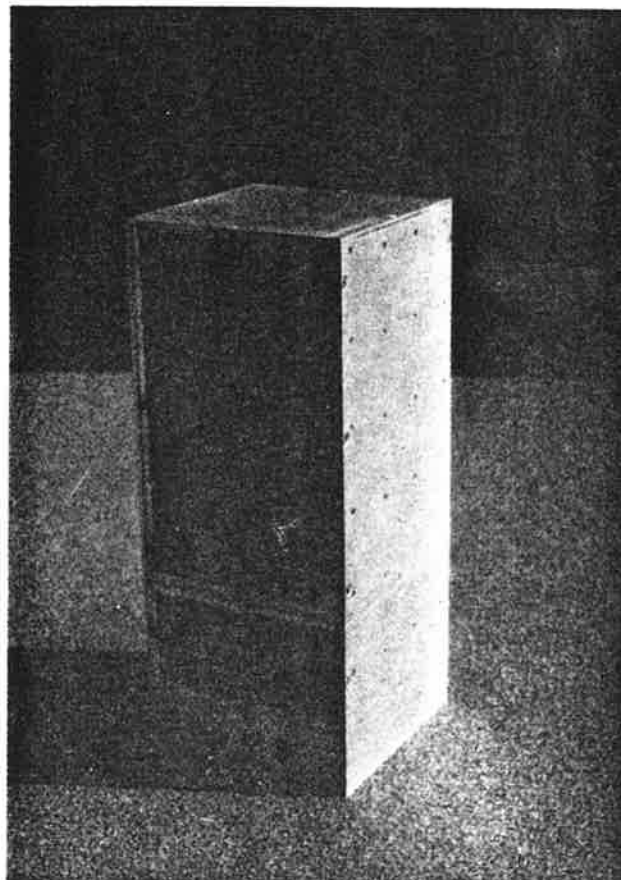


Figure 4 Maquette d'une tour R + 12

BATIMENT	ENVIRONNEMENT PROCHE	ENVIRONNEMENT AMONT
Pavillon individuel en R + 1 avec toiture à deux pentes inclinées de 22°5 (fig 1)	Plan masse du type pavillonnaire (R+0 et R+1) (fig 14)	Plan masse pavillonnaire (R+0 et R+1) (fig 7) Plan masse en barres (R+4) Plan masse en plots (R+4) Plan masse de zones industrielles et grandes surfaces Remarque : la végétation a même été insérée dans certain plan masse (fig 14)
Barre parallélépipédique de hauteur 15 mètres (R+4) (fig 2) <u>Cas particuliers</u> • barre accolée à une autre barre : forme de L (fig 9) • barre insérée dans une barre de longueur supérieure (fig 10)	Plan masse en barres R+4 (fig 6)	Plan masse pavillonnaire (R+0 et R+1)
Le plot parallélépipédique de hauteur 15 mètres (R+4) (fig 3)	Plan masse en semi de plots R+4 (identiques à celui étudié) (fig 11)	Plan masse pavillonnaire (R+0 et R+1) Plan masse ou plots (R+4) petites tours (R+10) et barres (R+4) (fig 12)
Tour parallélépipédique de hauteur 40 mètres (R+12) (fig 4) Tour à décrochement de hauteur 40 mètres (R+12) (fig 8)	Plan masse en semi de tour R+12 (identique à celle étudié) (fig 13) Plan masse constitué de tours R+12 et barres R+4	Plan masse pavillonnaire (R+0 et R+1) Plan masse en plots (R+4) petites tours (R+10) et barres (R+4)
Elément "marche" encastrée dans une structure "en escalier" (fig 5) Remarque : l'élément est identique à la tour à décrochement en R+12 Il est inséré en plusieurs positions dans l'ensemble compact (fig 14)	Plan masse d'ensemble compact "en escalier"	Plan masse pavillonnaire (R+0 et R+1)
Influence de la hauteur des acrotères ($a_1 = 40\text{cm}$ et $a_2 = 15\text{cm}$) et des superstructures de ventilation sur le toit terrasse de la tour R+12 (fig 15)	Plan masse en semi de tours R+12	Plan masse pavillonnaire (R+0 et R+1)



Figure 5 *Ensembles compacts en escalier*

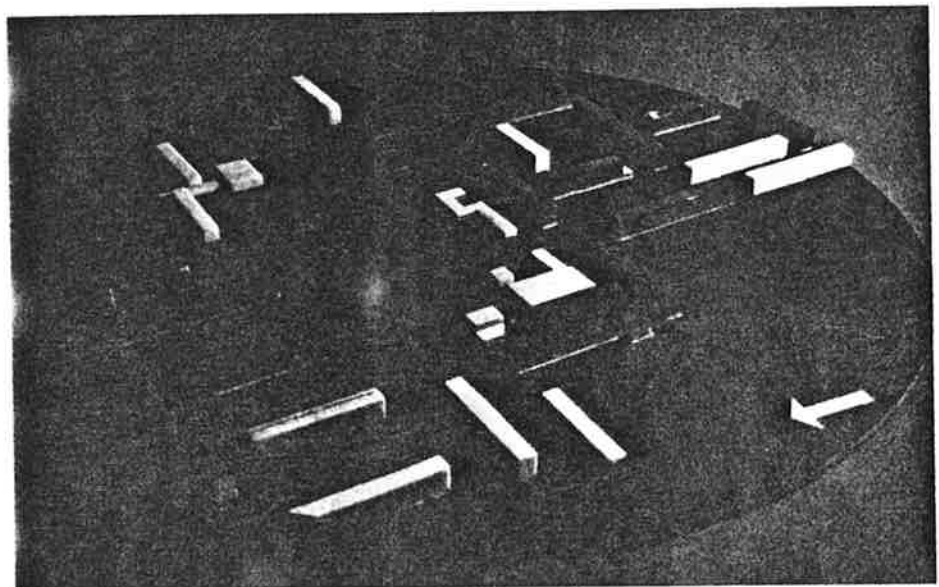


Figure 6 *Plan de masse en barre*

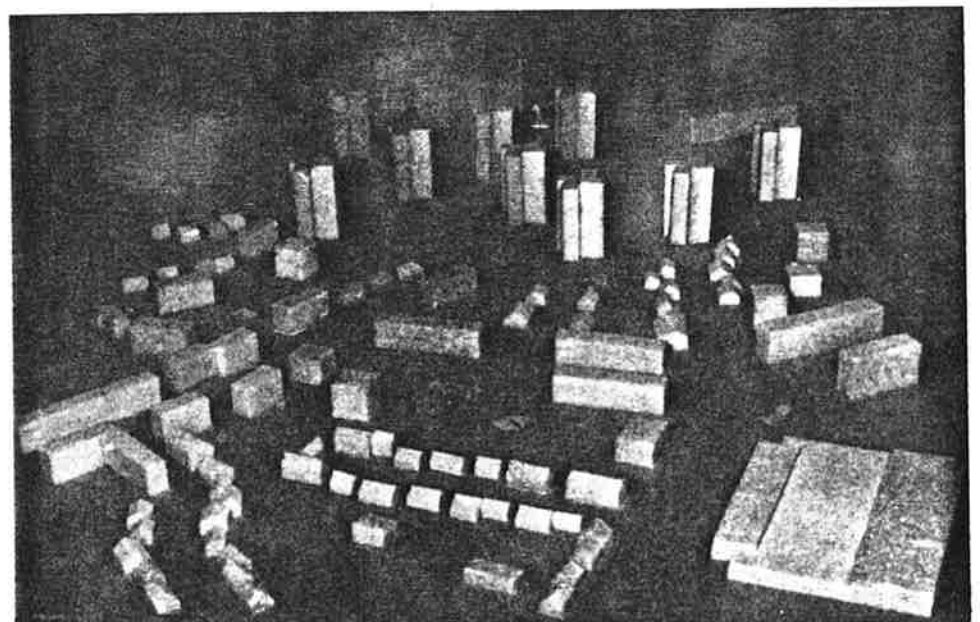


Figure 7 *Environnement pavillonnaire*

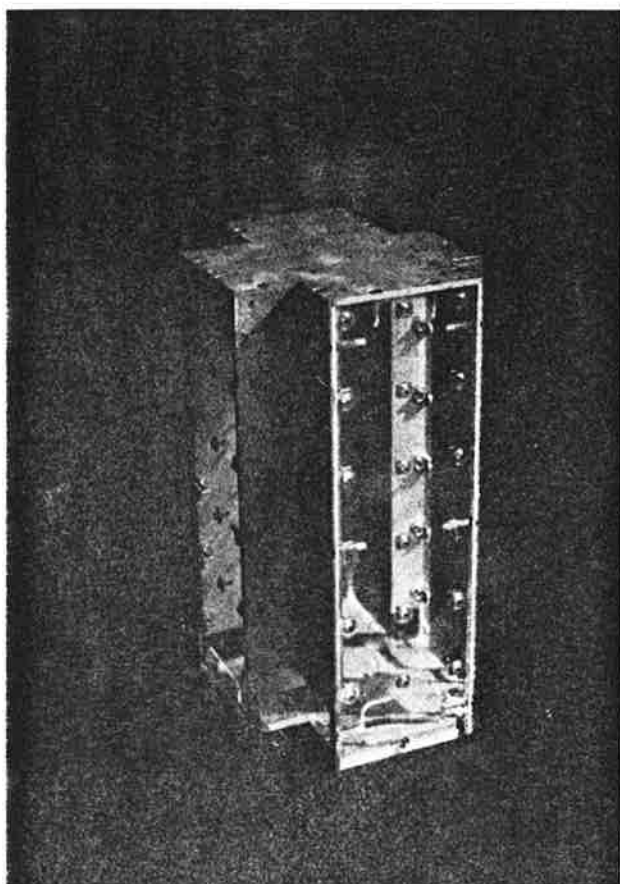


Figure 8 *Tour R + 12 à décrochements*

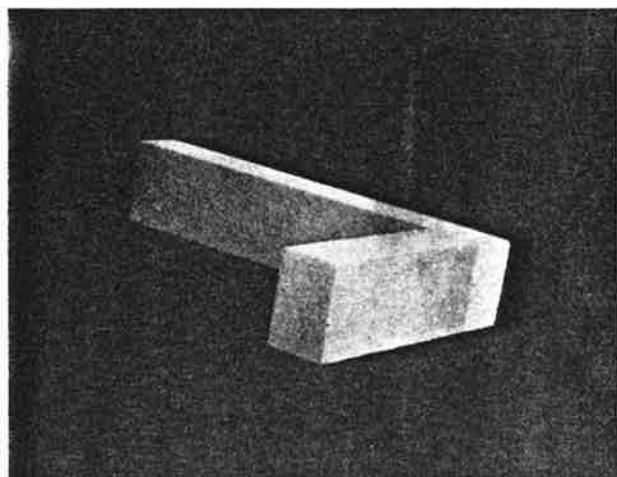


Figure 9 *Barre en L*

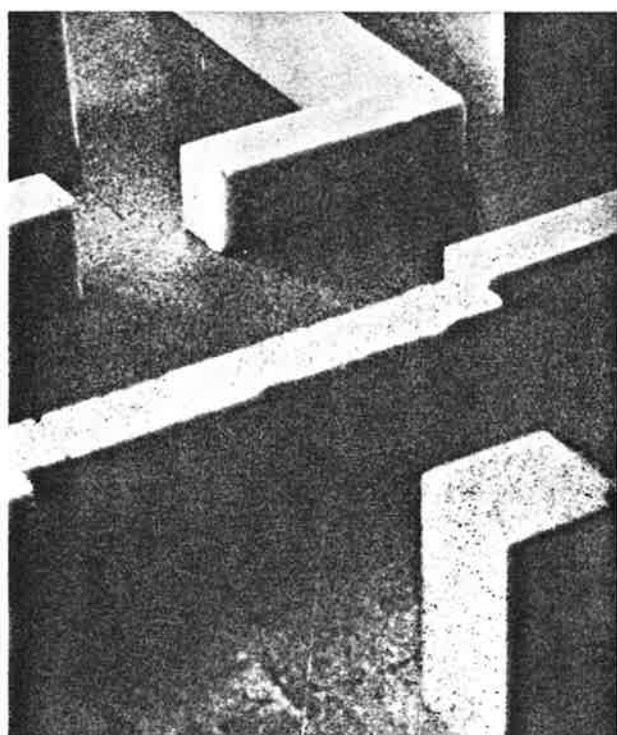


Figure 10 *Barres encastrées*

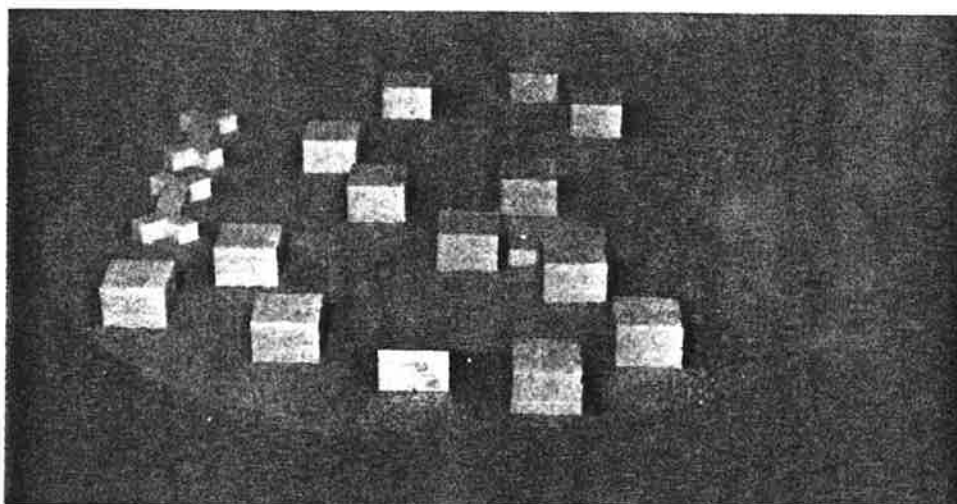


Figure 11 *Semis de plots*

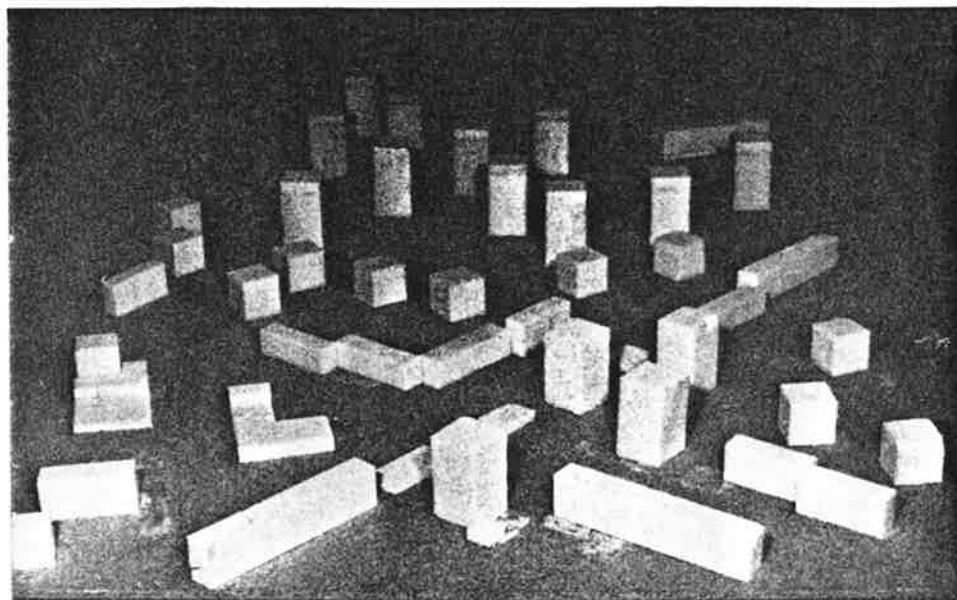


Figure 12 *Environnement proche en tour R + 10, barre R + 4 et plot R + 4*

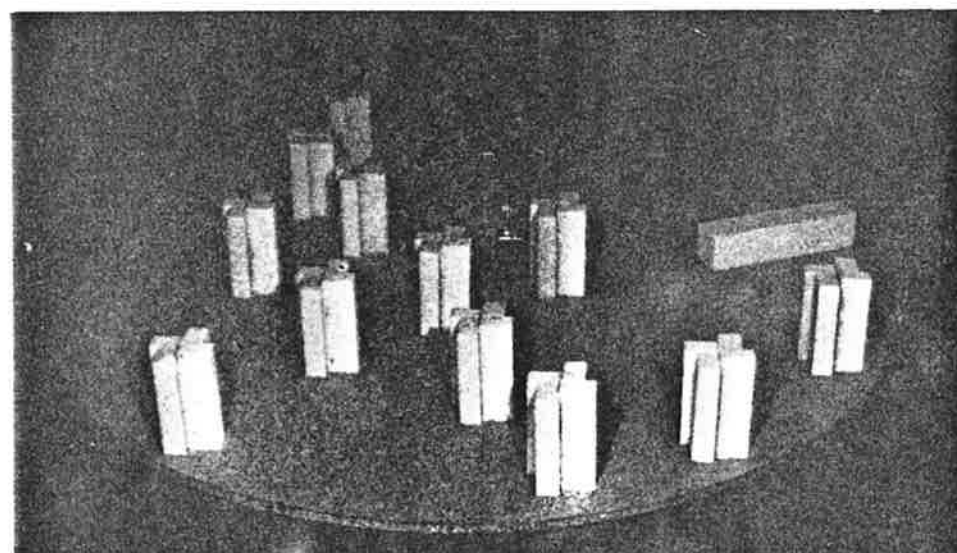


Figure 13 *Tour R + 12 à décrochements — environnement immédiat*

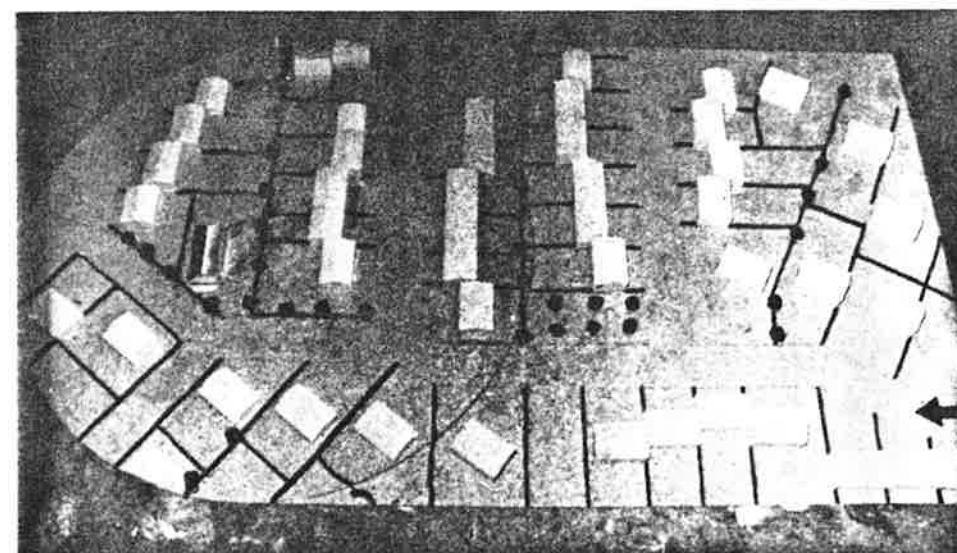


Figure 14 *Maquette petite maison individuelle dans l'environnement de type pavillonnaire avec végétation et clôtures*

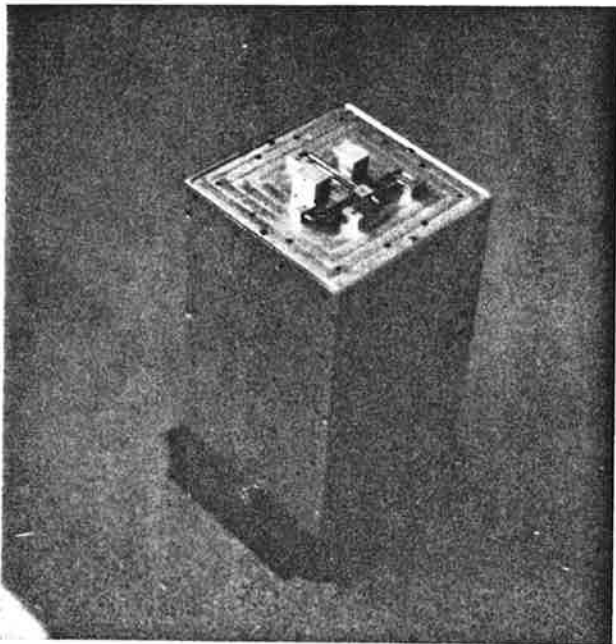


Figure 15 *Tour R + 12. Toiture avec acrotère et super-structure de ventilation*

3,2 Les types de vent incident

Les constructions neuves se développent en général en périphérie des villes ou en zone de banlieues. Par conséquent, les différents bâtiments plongés dans leur environnement seront en général soumis, pour un certain nombre d'incidences, à l'un des deux types de vent :

- le vent du type campagne : les caractéristiques (répartition des vitesses moyennes avec la hauteur, turbulence, etc.) résultant du modelage par la rugosité faible du sol (arbres, haies, maison isolées, etc.),
- le vent du type « banlieue » (rugosités plus importantes : groupe de maisons, etc.).

Pour l'ensemble compact « en escalier » (fig. 5) ainsi que pour l'étude de l'influence des installations de ventilation en toiture et des acrotères, seul le vent du type campagne a été utilisé.

Dans un souci de cohérence, l'étude des constructions isolées (cas de référence) a été menée avec un vent du type campagne.

Les caractéristiques statiques et dynamiques des vents précédemment sélectionnées ont été reproduites en soufflerie à l'échelle des maquettes soit au 1/200 [réf. 5-6-7] (fig. 16-17-18-19).

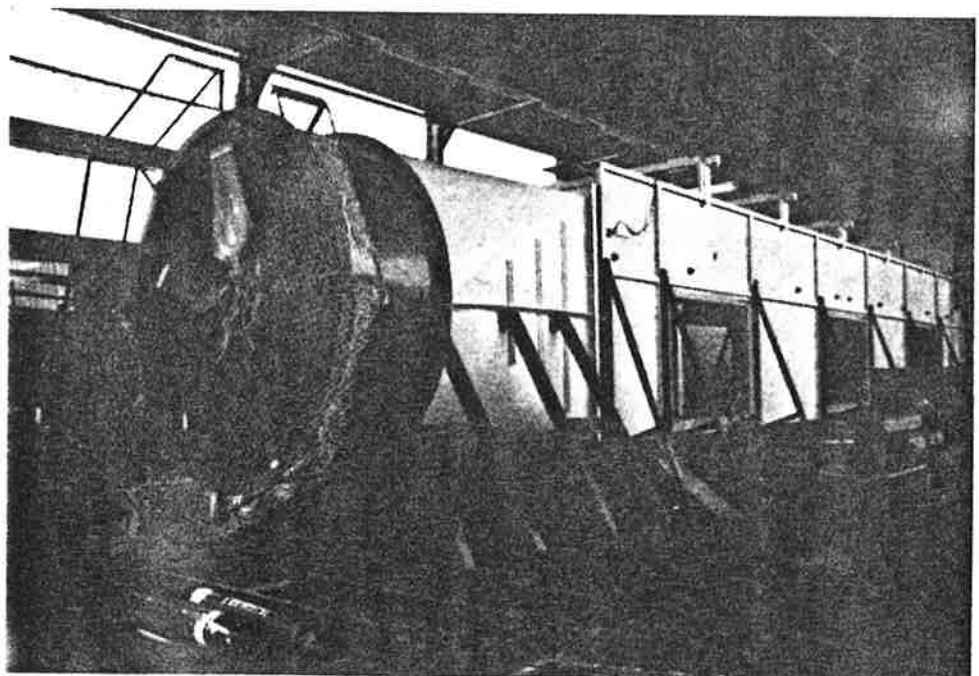
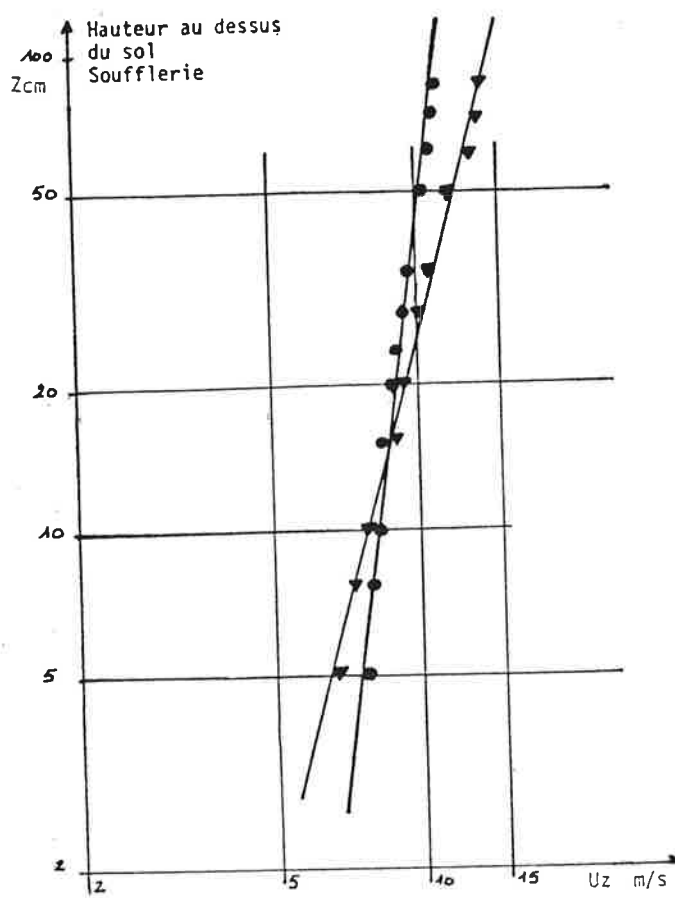


Figure 16 *Vue extérieure de la soufflerie*



Figure 17 Vue intérieure de la soufflerie et les rugosités



● $\alpha=0,14$ vent du type campagne ▼ $\alpha=0,27$ vent du type banlieue

Figure 18 Gradients verticaux de vitesse moyenne

$$\frac{\bar{U}_z}{\bar{U}_{\text{référence}}} = \left(\frac{z}{z_{\text{Réf}}} \right)^\alpha$$

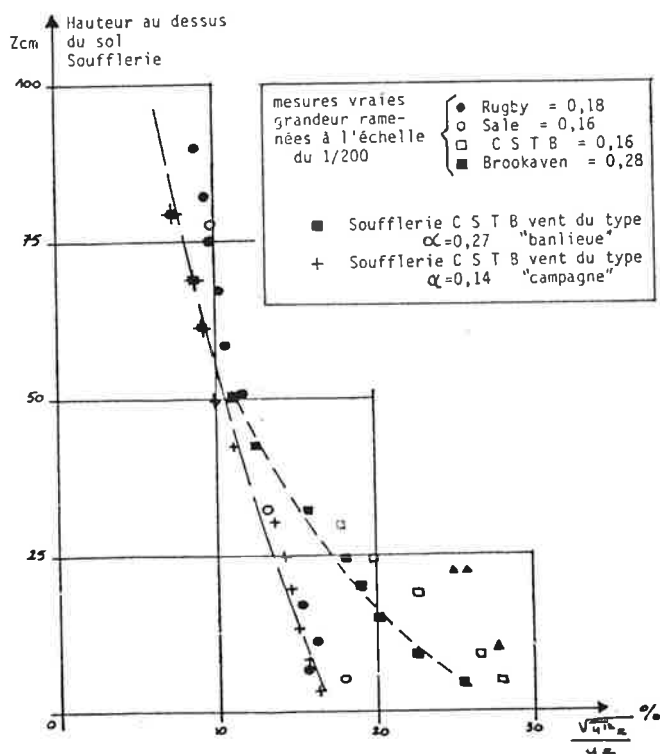


Figure 19 Intensité de turbulence (valeur quadratique moyenne de la fluctuation de vitesse à la hauteur z ramenée à la valeur locale de la vitesse $\bar{U}_z$)

4 Présentation des résultats

4.1 Méthode de dépouillements des mesures

La répartition des pressions et leur niveau sur une face ou une toiture n'est pas uniforme. Compte tenu des effets locaux (effets tridimensionnels au coin, interférence avec l'environnement immédiat, etc.), la pression peut changer. Il n'est par conséquent pas possible de donner un seul coefficient de pression moyenne par face. D'un autre côté, il serait sans intérêt pour l'ingénieur thermicien de disposer d'une cartographie détaillée par face fonction de chaque combinaison des paramètres de l'étude (incidence du vent, forme du bâtiment, dimension, nature de l'environnement proche, etc.).

En conséquence, nous avons fourni un zonage par face qui regroupe « statistiquement », compte tenu des paramètres de l'étude, des points de comportement identique du point de vue de la pression moyenne exercée.

Ce zonage résulte d'une mesure systématique des coefficients de pression moyenne locaux $\bar{C}_p$ suivant un maillage serré et d'études de corrélations des

valeurs C_p avec celles obtenues dans un cas pris comme référence (généralement correspondant à la maquette isolée).

Pour cela, nous avons représenté sur un graphique du type ci-dessous (fig. 20) les couples de valeurs ($\bar{C}_{p\text{ref}}$, $\bar{C}_p$) correspondant à chaque prise de pression respectivement dans le cas de référence et dans le cas étudié.

Lorsque, statistiquement, les points de coordonnée ($\bar{C}_{p\text{ref}}$, $\bar{C}_p$) représentatifs des prises de pression se groupent de manière cohérente, on a associé à ce groupement un zonage caractérisé par une valeur moyenne et une fourchette de variation :

— ainsi (et à titre d'exemple), pour le groupement C correspondant à une zone en toiture sur la maquette, nous indiquons le coefficient moyen $\bar{C}_{pm}$ déterminé « graphiquement » (1) pour le paramètre étudié ainsi que ces bornes supérieure $\bar{C}_{psup}$ et inférieure $\bar{C}_{pinf}$ (valeurs algébriques).

1. En tenant compte de la distribution des points au sein du nuage.

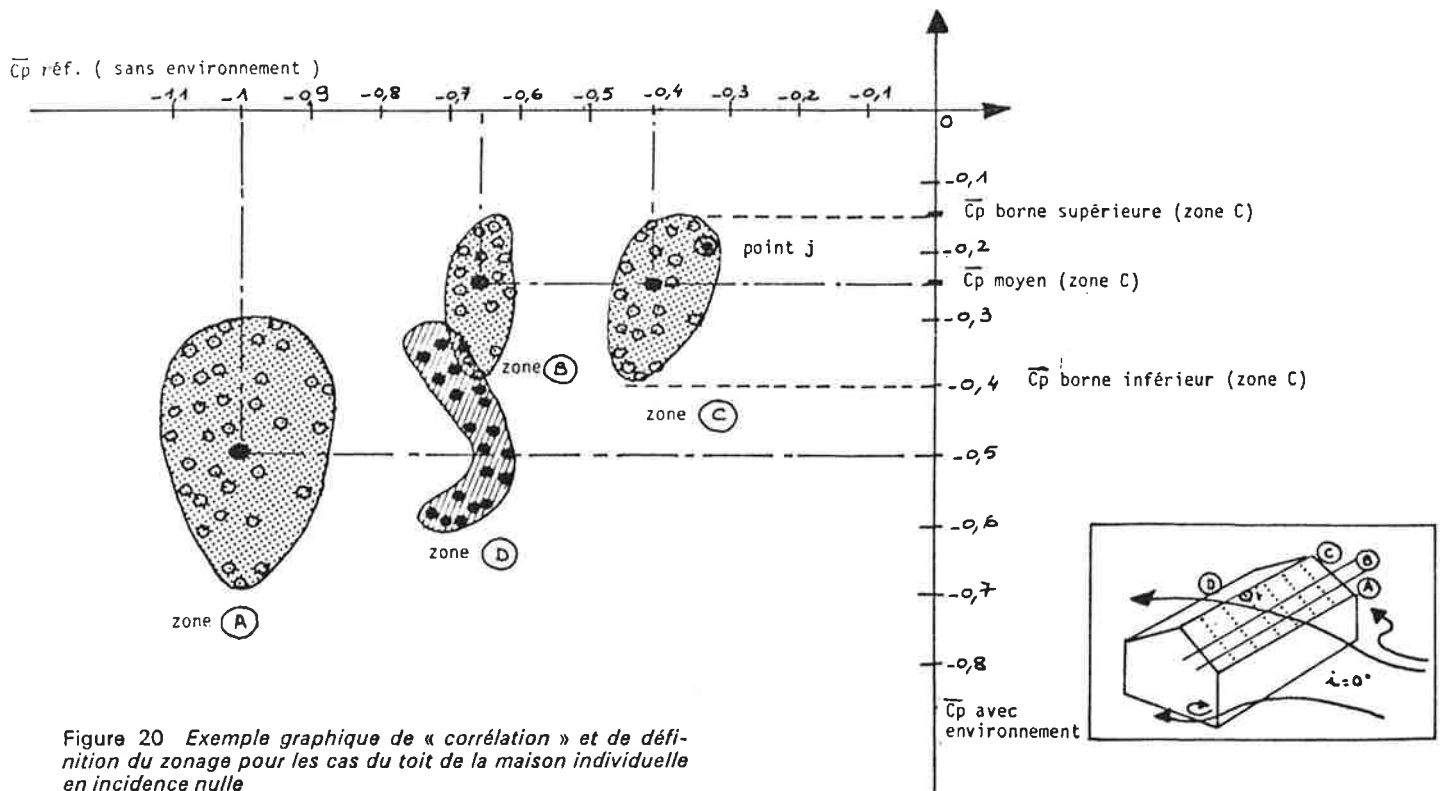


Figure 20 Exemple graphique de « corrélation » et de définition du zonage pour les cas du toit de la maison individuelle en incidence nulle

Remarque : C_{pm} est différent en général de

$$\frac{1}{2} (\bar{C}_{Pinf} + \bar{C}_{Psup}).$$

TABLEAU DES VALEURS (*) CORRESPONDANT A LA FIGURE 20	
Sans environnement	Avec environnement
ZONE A $\begin{cases} \bar{C}_{Pm} = -1 \\ \bar{C}_{Psup} = -0,85 \quad \bar{C}_{Pinf} = -1,1 \end{cases}$	$\begin{cases} m = -0,5 \\ -0,30 \text{ à } -0,70 \end{cases}$
ZONE B $\begin{cases} m = -0,65 \\ -0,60 \text{ à } -0,70 \end{cases}$	$\begin{cases} m = -0,25 \\ -0,15 \text{ à } -0,40 \end{cases}$
ZONE C $\begin{cases} m = -0,40 \\ -0,30 \text{ à } -0,45 \end{cases}$	$\begin{cases} m = -0,25 \\ -0,15 \text{ à } -0,40 \end{cases}$
ZONE D $\begin{cases} m = -0,70 \\ -0,60 \text{ à } -0,75 \end{cases}$	$0,30 \text{ à } -0,60$
(*) Pour abréger les notations, dans la présentation des résultats $\bar{C}_{pm}$ sera noté "m" et les bornes supérieure et inférieure données directement. Par exemple nous indiquerons pour la zone A/m=-1 $\{-0,85 \text{ à } -1,1\}$	

Dans nos dépouillements, tous les types d'environnement plausibles pour une forme donnée ont toujours été statistiquement confondus.

4,2 Résultats obtenus

4,21 Remarques sur la présentation

Pour clarifier la notion de « face au vent » ou « sous le vent » en fonction de l'incidence, nous donnons deux schémas grossiers des écoulements turbulents susceptibles de se développer autour des formes étudiées (fig. 21).

Les faces « sous le vent » sont toujours les faces adjacentes au sillage de la forme.

Dans les schémas exposant les résultats, nous avons systématiquement traité séparément les cas avec et sans environnement, pour différentes incidences, et dans le cas d'un vent statistique amont du type campagne.

Le cas du vent de banlieue fait l'objet d'un paragraphe spécial 5,5 où sont fournies, pour chaque forme et chaque incidence, les corrections à apporter.

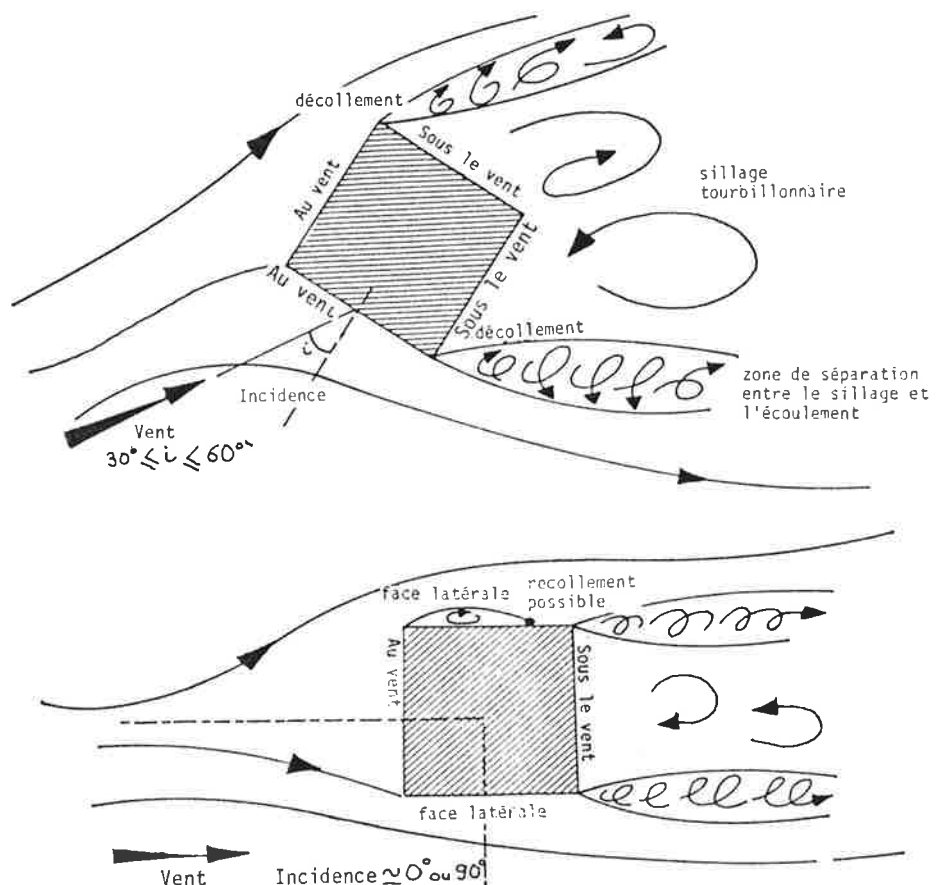


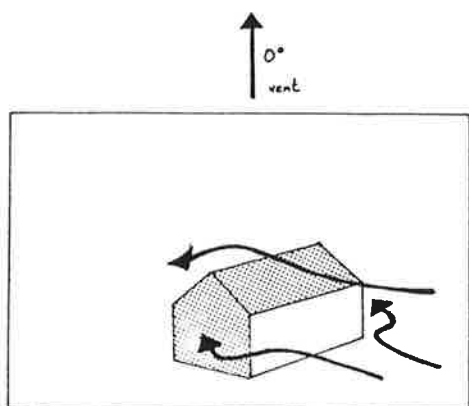
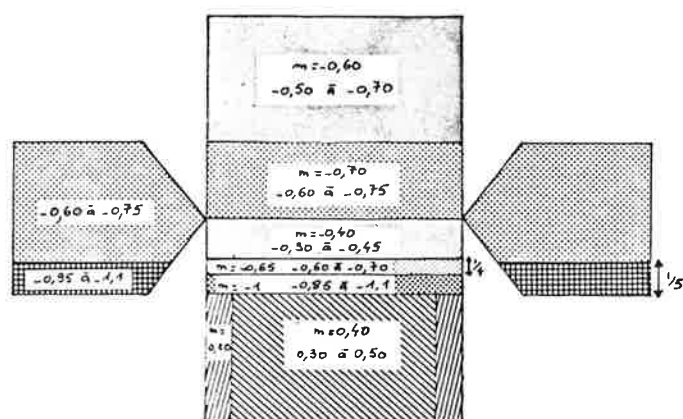
Figure 21 Schémas des écoulements turbulents autour d'une forme à angles vifs

4.22 Le pavillon individuel

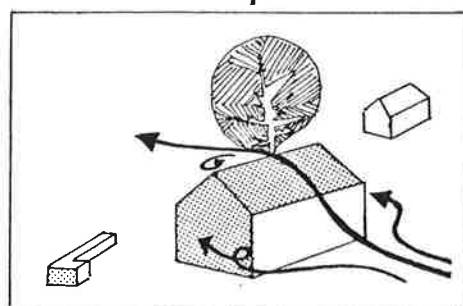
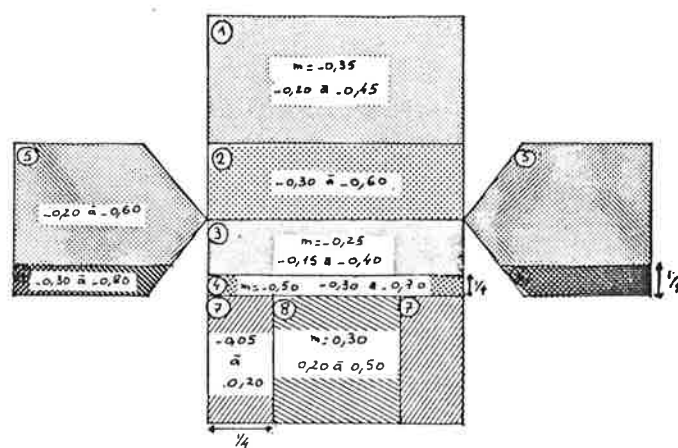
Les résultats sont exposés dans les figures 22.

Figures 22

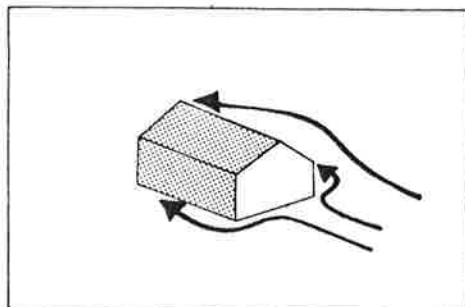
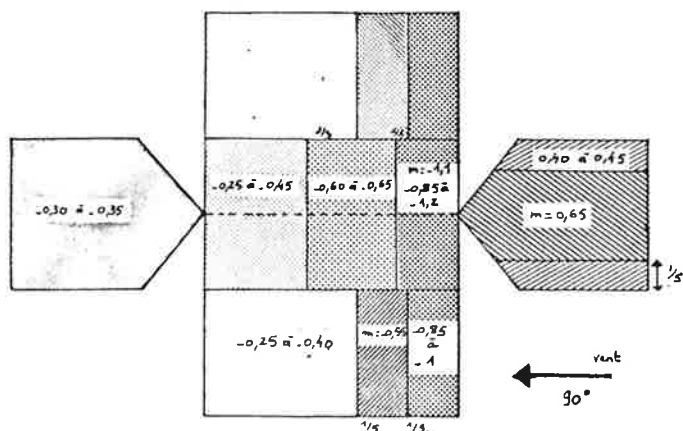
Pavillon individuel (R + 1)
Vent du type campagne



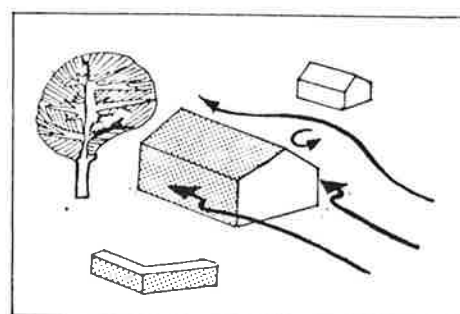
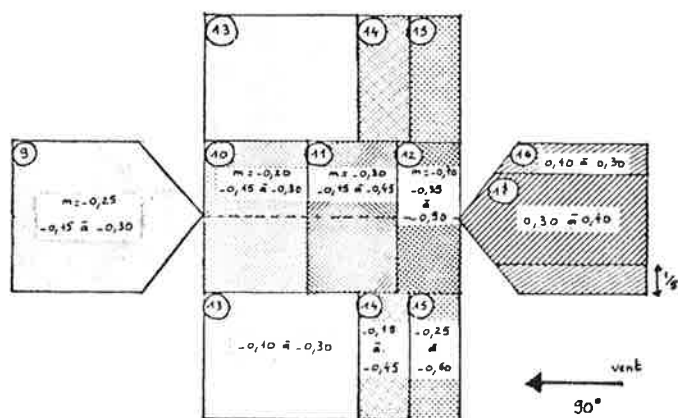
Incidence du vent 0°. Sans environnement



Incidence du vent 0°. Avec environnement



Incidence du vent 90°. Sans environnement



Incidence du vent 90°. Avec environnement

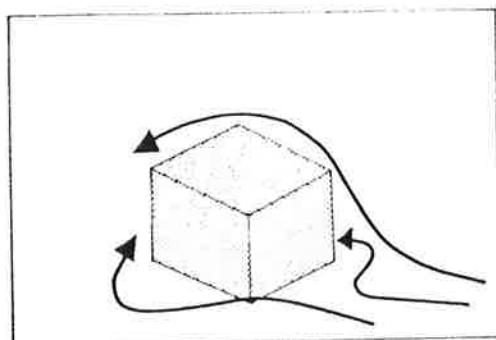
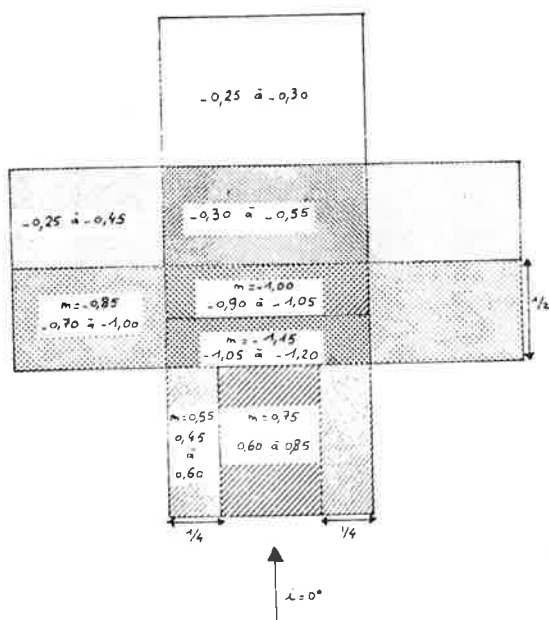
4.23 Le plot R + 4

Les résultats (1) sont fournis dans les figures 23 et 24.

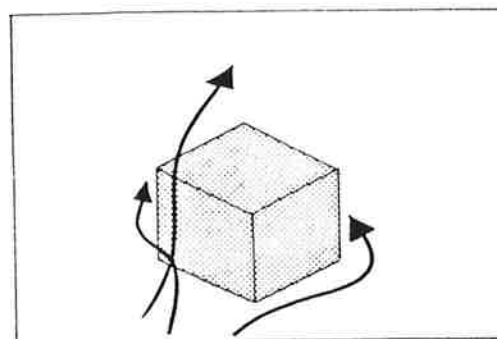
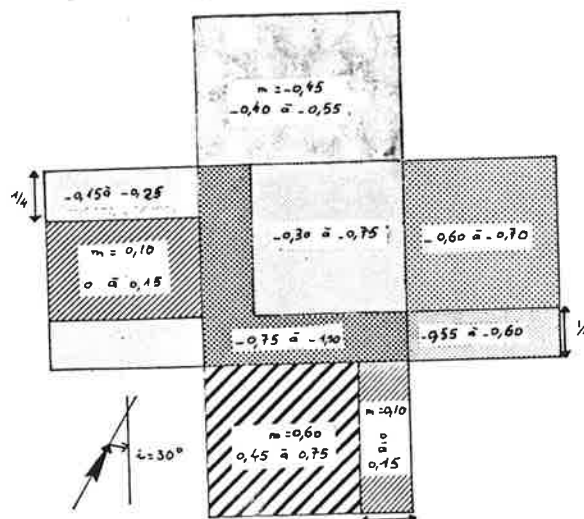
1. Le cas de l'incidence 90° est à déduire de celle de 0° .

Figures 23

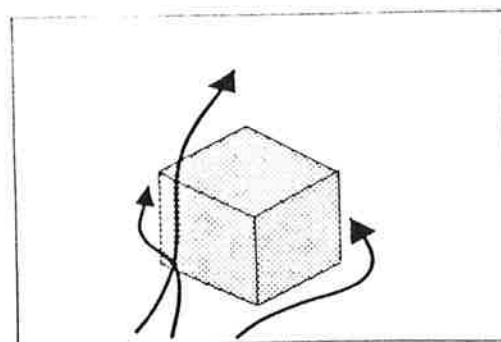
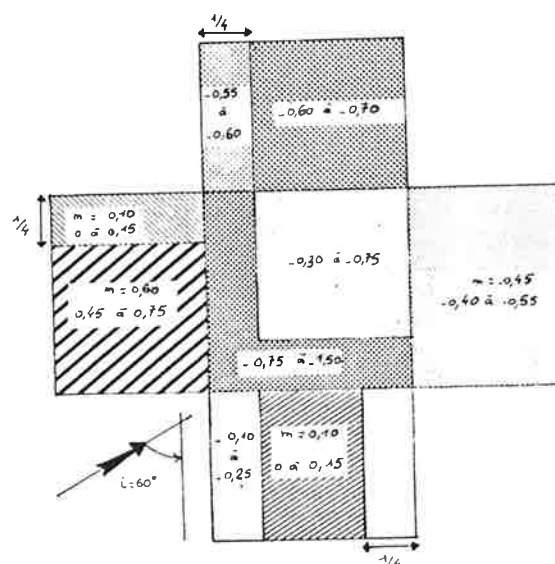
Plot R + 4
Vent du type campagne
Sans environnement



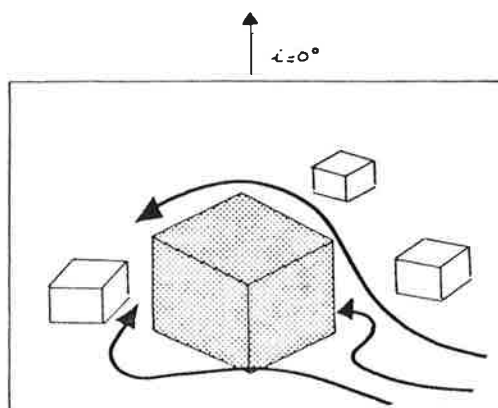
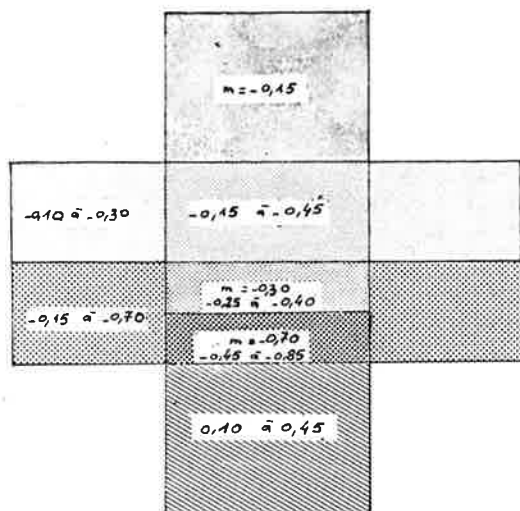
Incidence du vent 0°



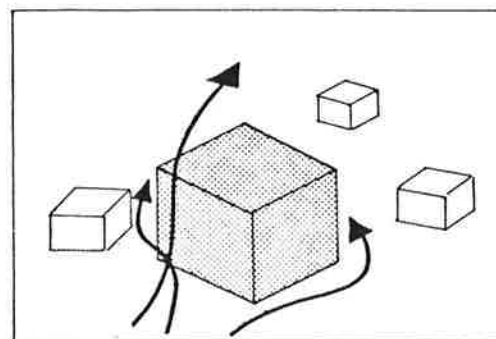
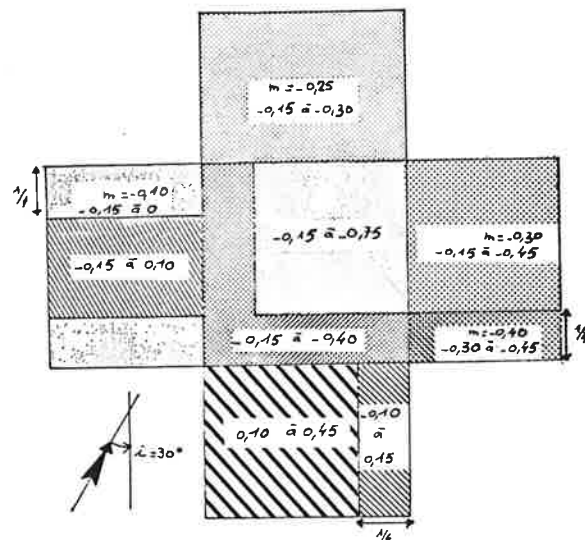
Incidence du vent 30°



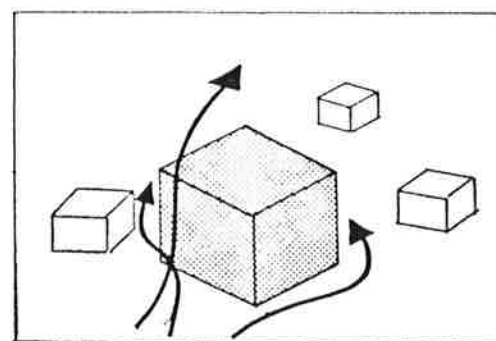
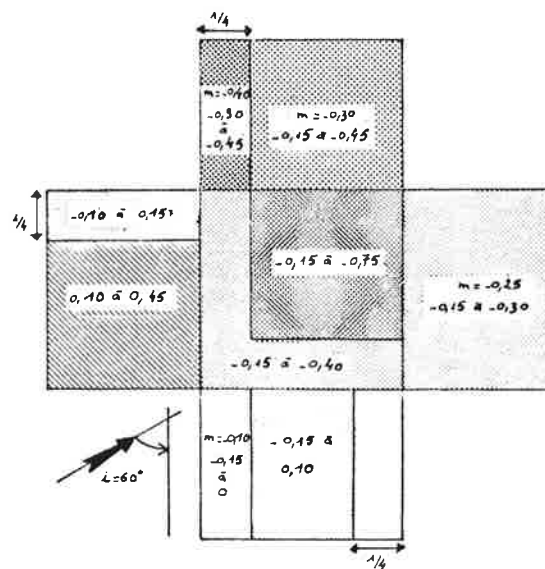
Incidence du vent 60°



Incidence du vent 0°



Incidence du vent 30°



Incidence 60°

Figures 24

Plot R + 4
Vent du type campagne
Avec environnement

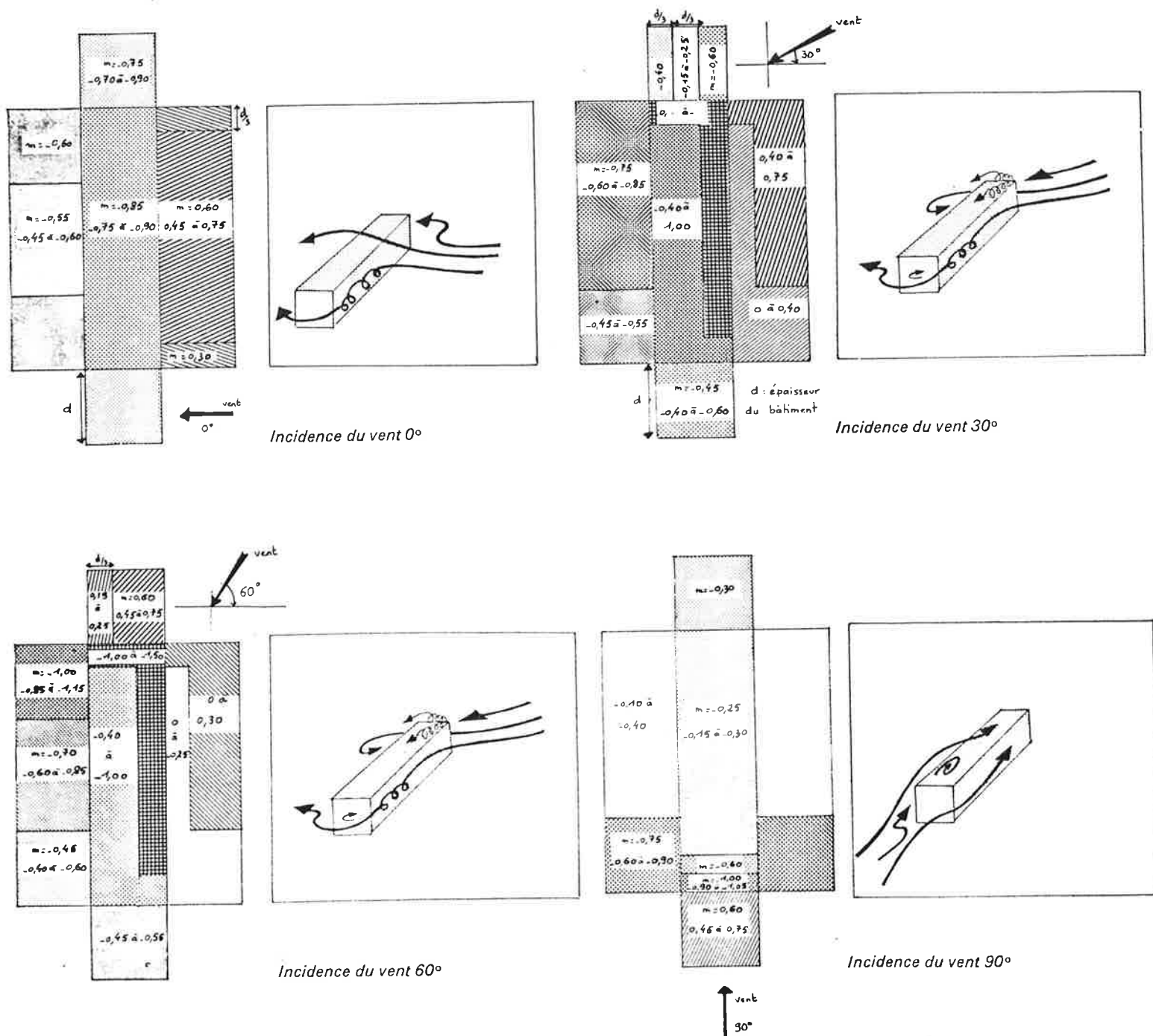
4.24 La barre R + 4

Les résultats sont présentés dans les figures 25 et 26.

De plus, nous avons traité le cas où la barre était accolée (parallèlement ou orthogonalement) à d'autres barres : configuration en bande ou en L.

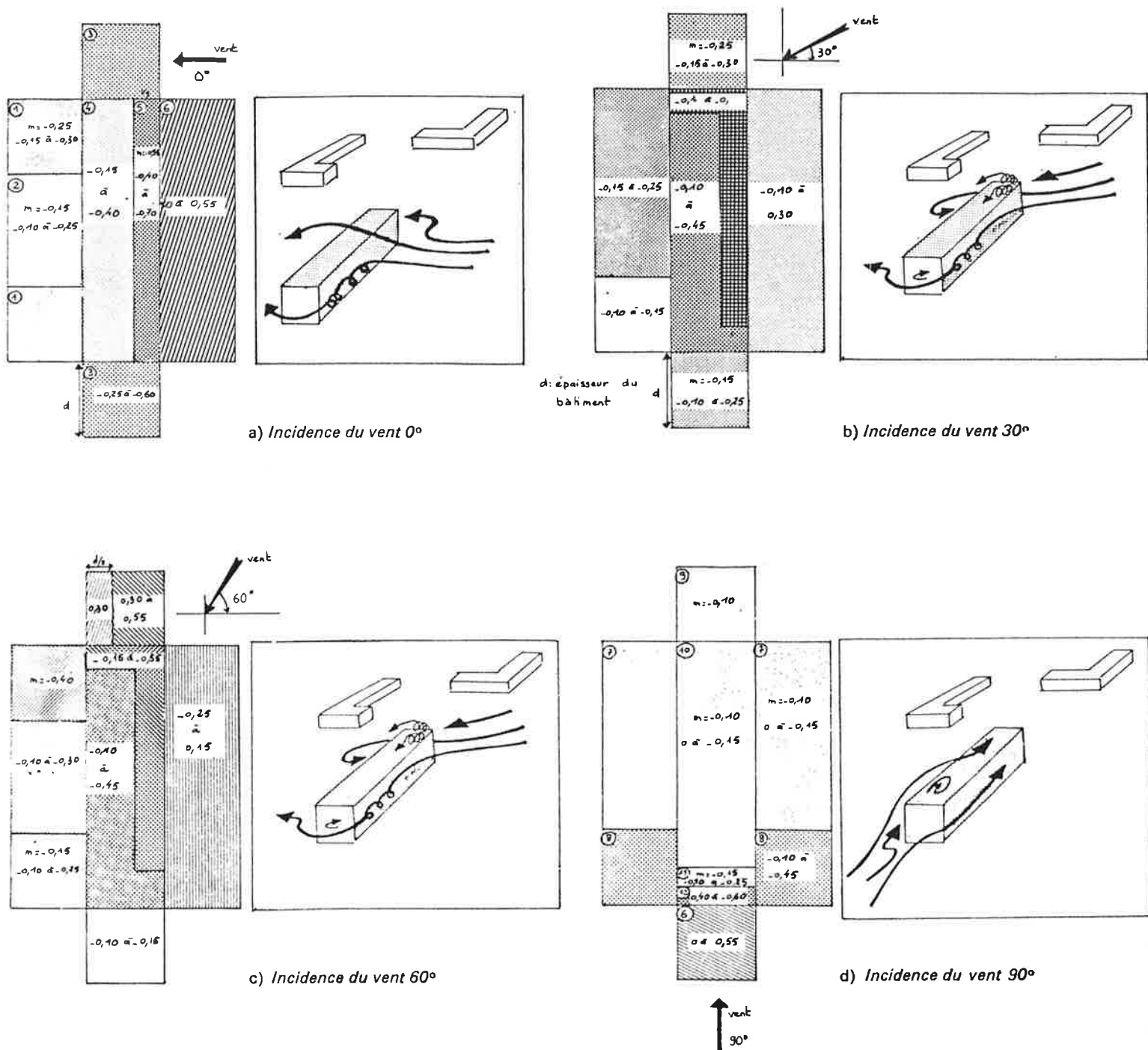
Figures 25

Barre R + 4
Vent de type campagne
Sans environnement



Figures 26

Barre R + 4
Vent du type campagne
Avec environnement



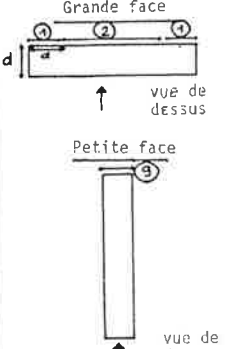
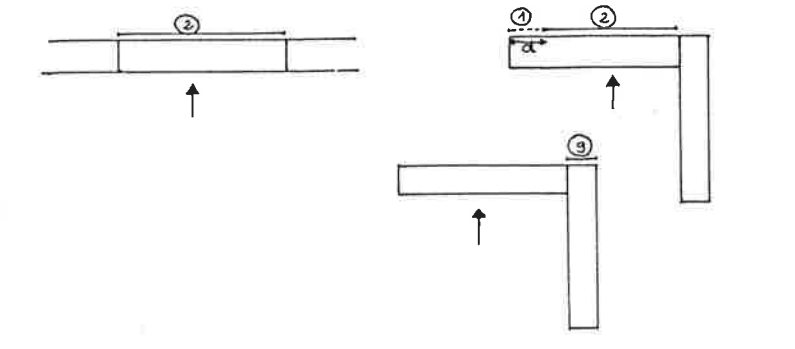
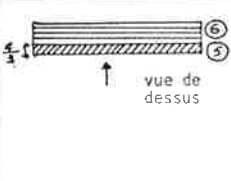
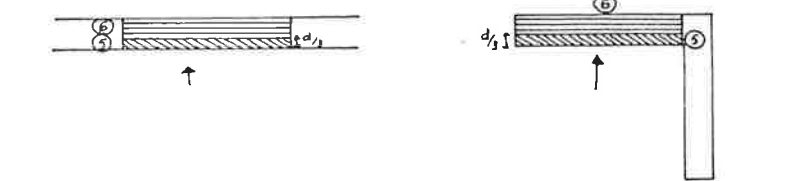
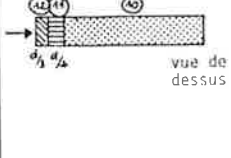
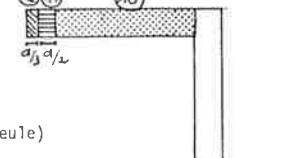
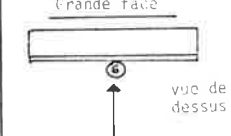
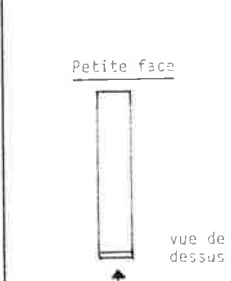
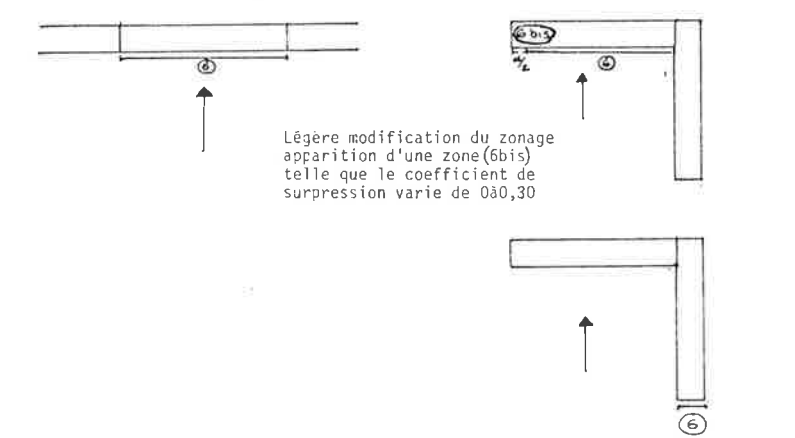
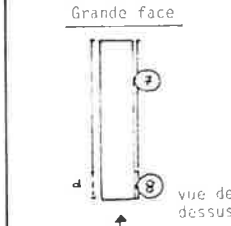
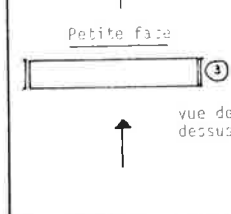
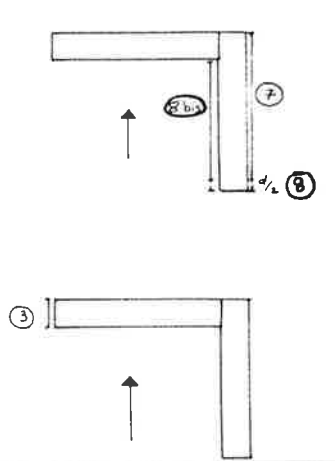
Face étudiée		(Vent du type campagne)	
		RAPPEL DU ZONAGE Barre R+4 seule en présence de son environnement	Autres formes cas en bande cas en L
Sous le vent	0°	Grande face  Petite face	
Toiture	0°		
	90°		 Même zonage, mais les valeurs moyennes se rapprochent du bas de la fourchette correspondant au cas du bâtiment Barre R+4 (seule)
Au vent	0°	Grande face  Petite face 	 Légère modification du zonage apparition d'une zone (6bis) telle que le coefficient de surpression varie de 0 à 0,30
Face latérale	90°	Grande face  Petite face 	Modification du zonage, la zone (8) se rétrécit (même fourchette de valeur) apparition d'une zone (8bis) en surpression dont le coefficient varie par tranche de 0 à 0,40 quand on s'enfonce dans le creux de l'angle 

Figure 27 Formes complémentaires (barre R + 4). Voir figures 26a et 26d pour les valeurs des zones numérotées

Dans la figure 27 (page ci-contre), partant de résultats de la barre seule en présence de son environnement, nous avons généralisé pour ces deux configurations particulières les zones (et leur valeur) que l'on retrouvait. Seules, les incidences 0° et 90° ont été alors traitées.

A titre d'exemple, pour la généralisation du cas de la barre seule au cas de la bande (fig. 28), la figure 27 donnera, sous forme abrégée, les indications ci-dessous (fig. 29) qui devront être associées aux figures 26a et 26d pour l'obtention des valeurs.

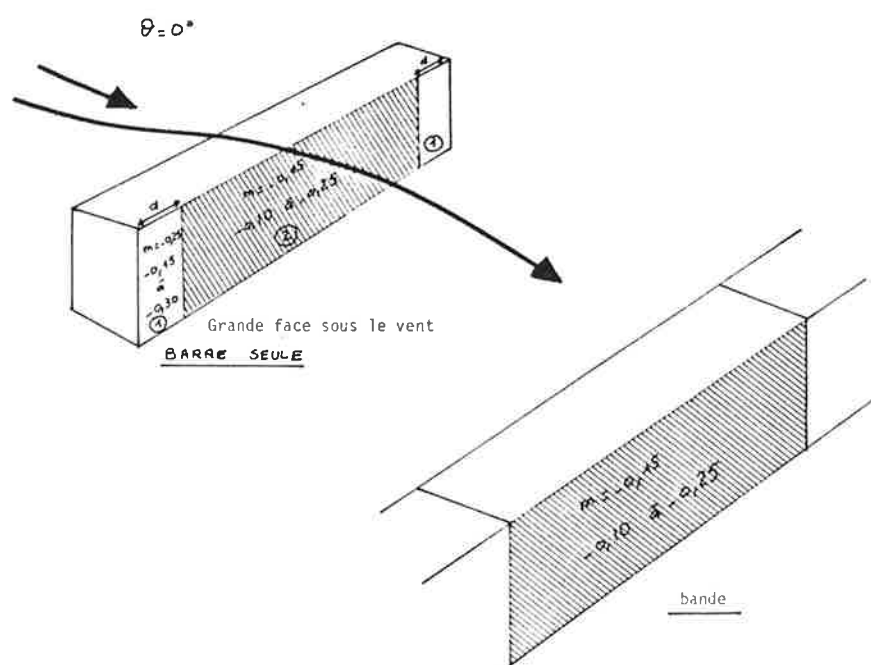


Figure 28

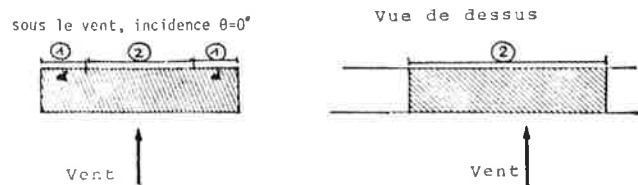


Figure 29

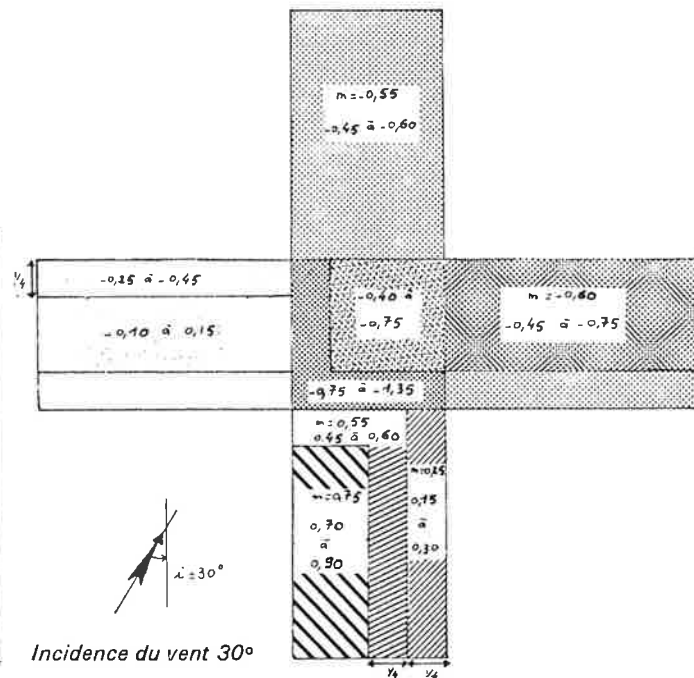
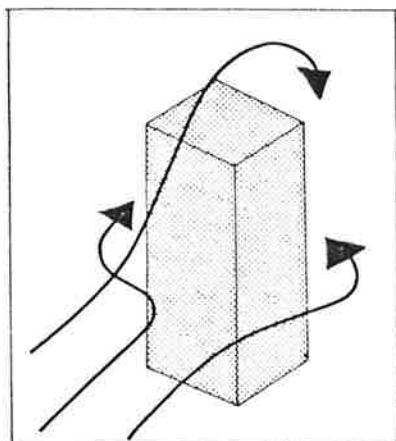
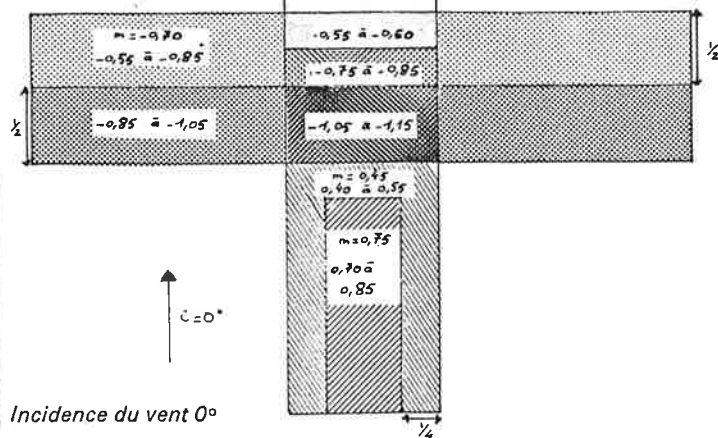
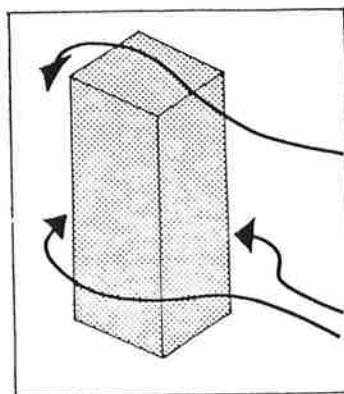
4,25 Tour R + 12

Les résultats (1) sont exposés dans les figures 30 et 31.

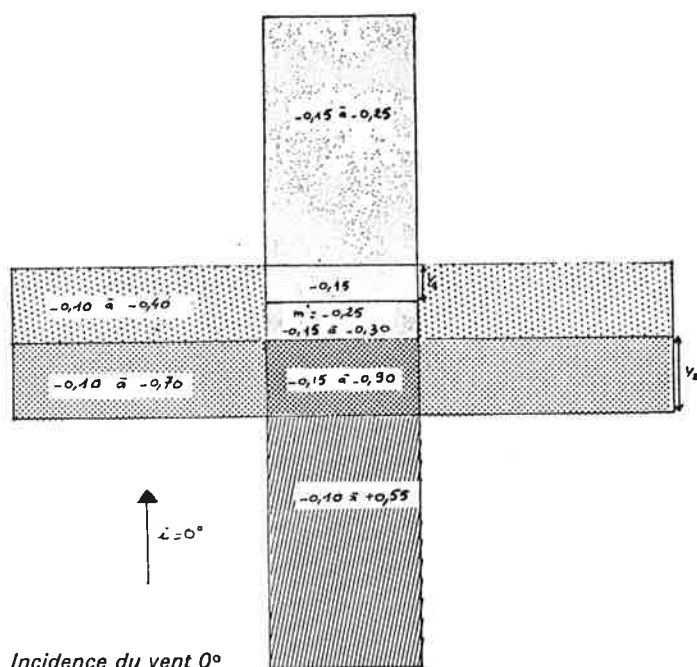
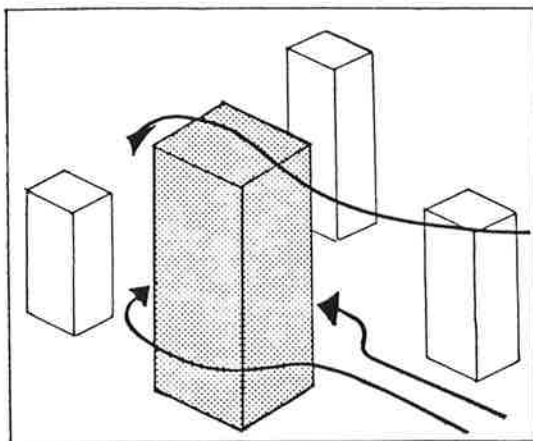
1. Le cas de l'incidence 90° est à déduire de celle de 0°.

Figures 30

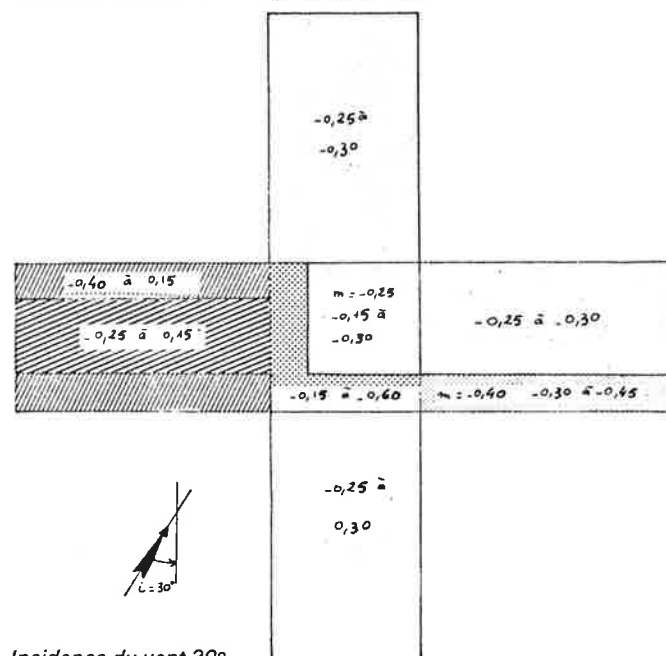
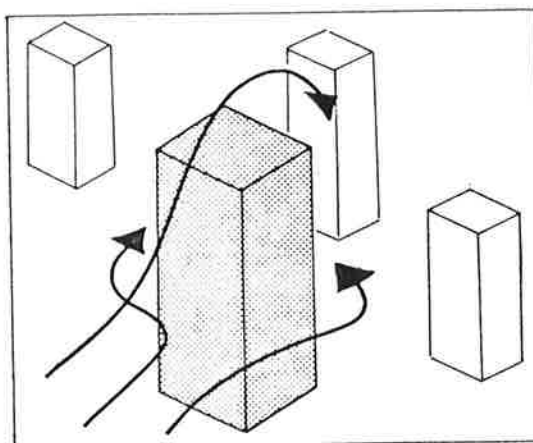
Tour R + 12
Vent de type campagne
Sans environnement



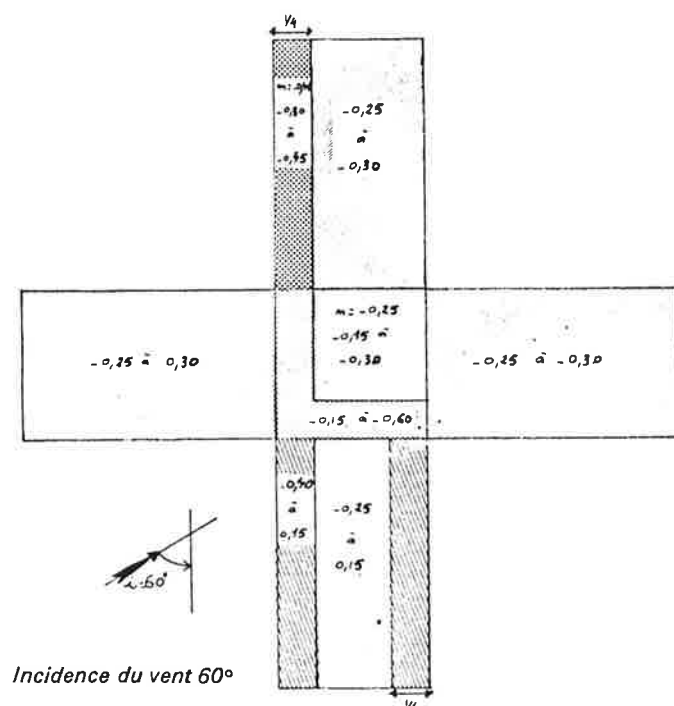
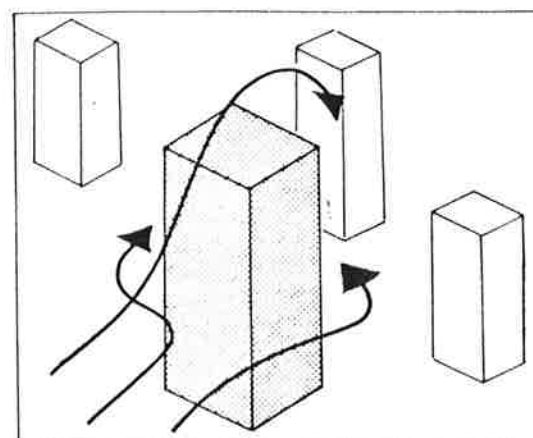
Tour R + 12
Vent du type campagne
Avec environnement



Incidence du vent 0°



Incidence du vent 30°



Incidence du vent 60°

4,26 Tour à décrochement $R + 12$ et ensemble compact en escalier

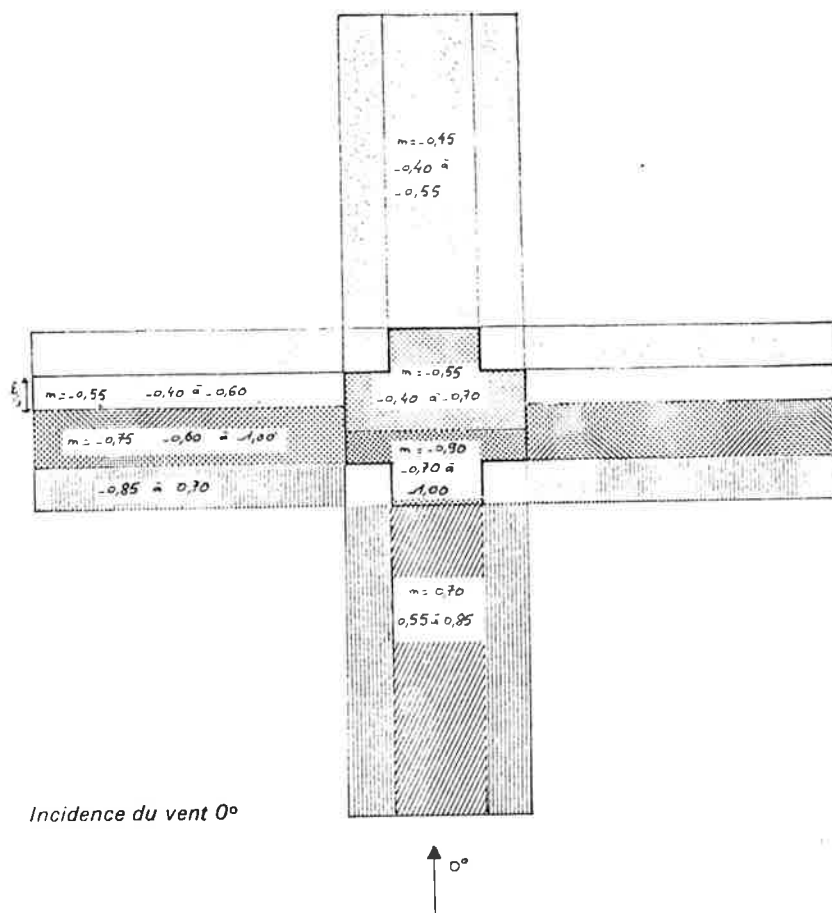
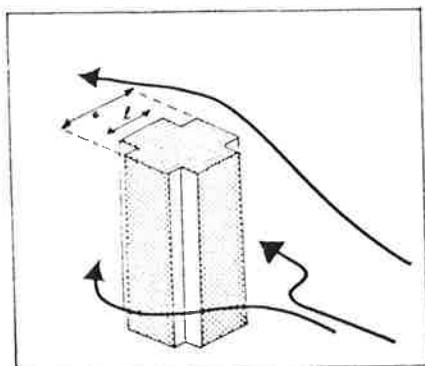
La tour à décrochement utilisée (1) n'est pas tout à fait symétrique (fig. 8) mais ne s'en écarte pas suffisamment pour que les résultats puissent en être changés.

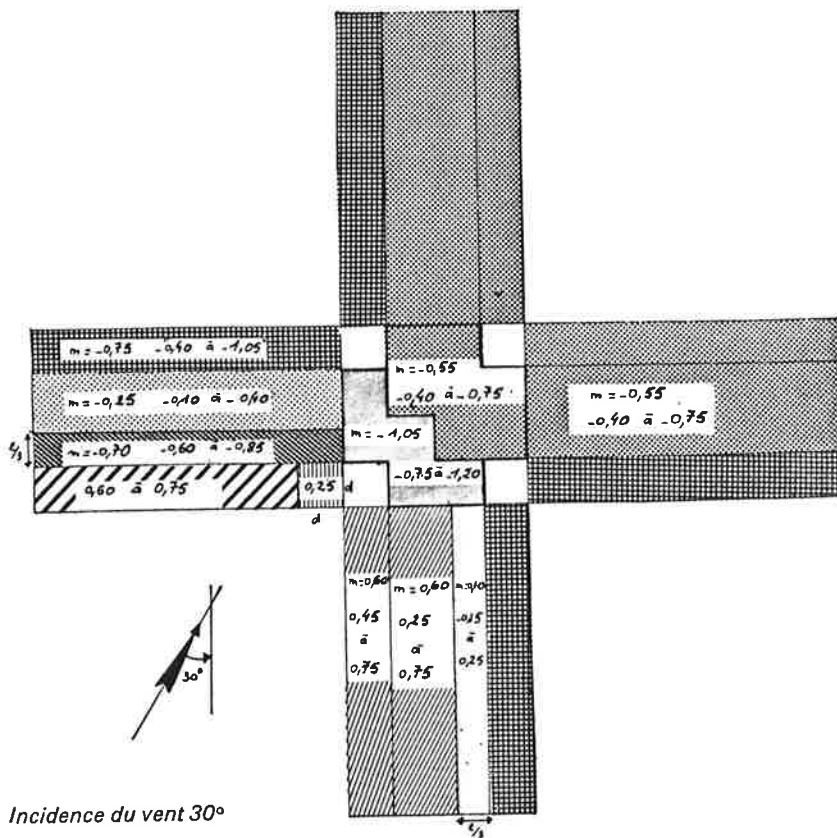
En conséquence, pour faciliter la lecture de nos résultats (fig. 32 et 33) les schémas seront simplifiés (symétrie axiale) et nous déduirons l'incidence 90° de celle de 0° .

1. Conforme à une tour existante.

Figures 32

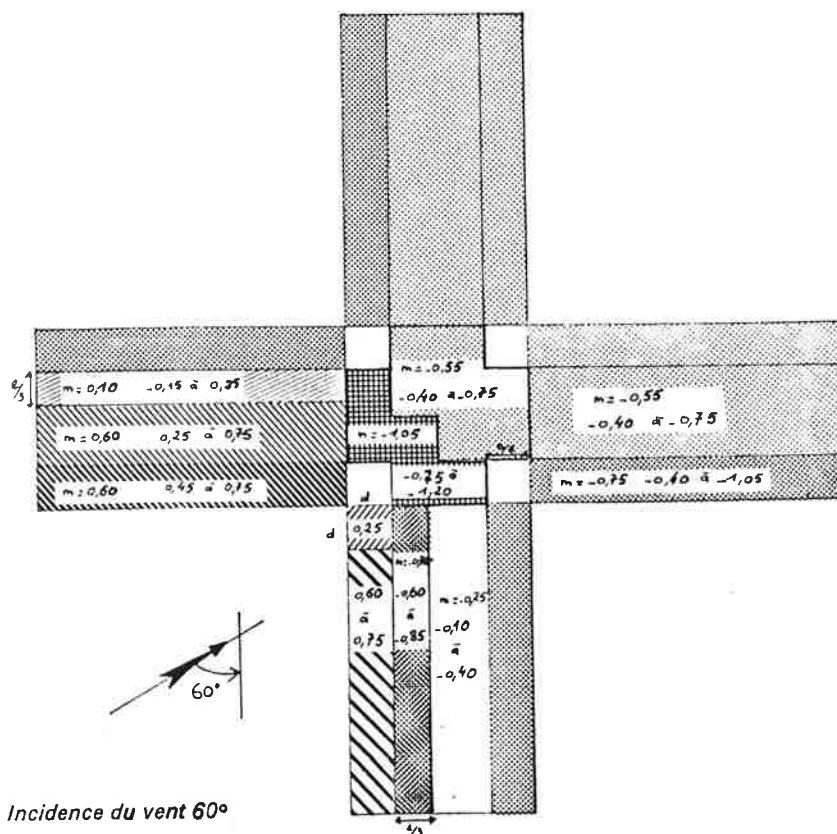
Tour $R + 12$ à décrochement
Vent du type campagne
Sans environnement





Tour R + 12 à décrochement
Vent de type campagne
Sans environnement

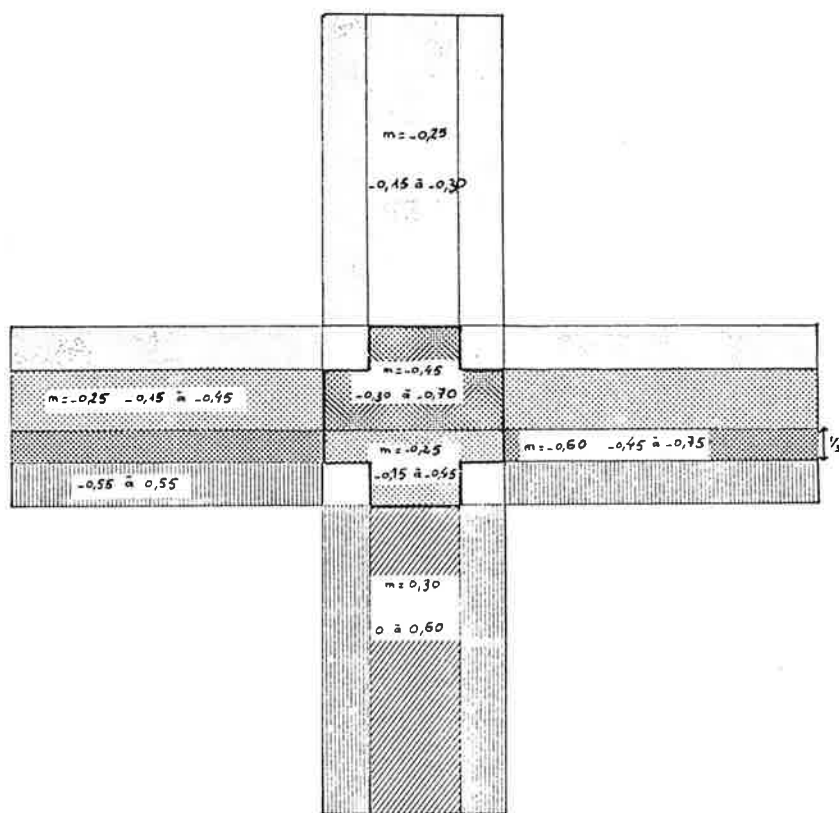
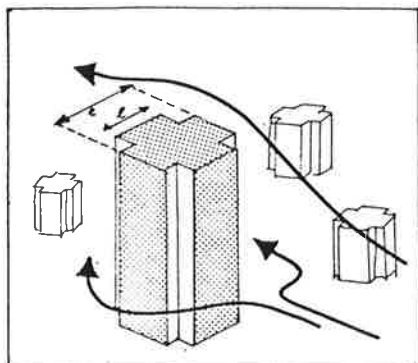
Incidence du vent 30°



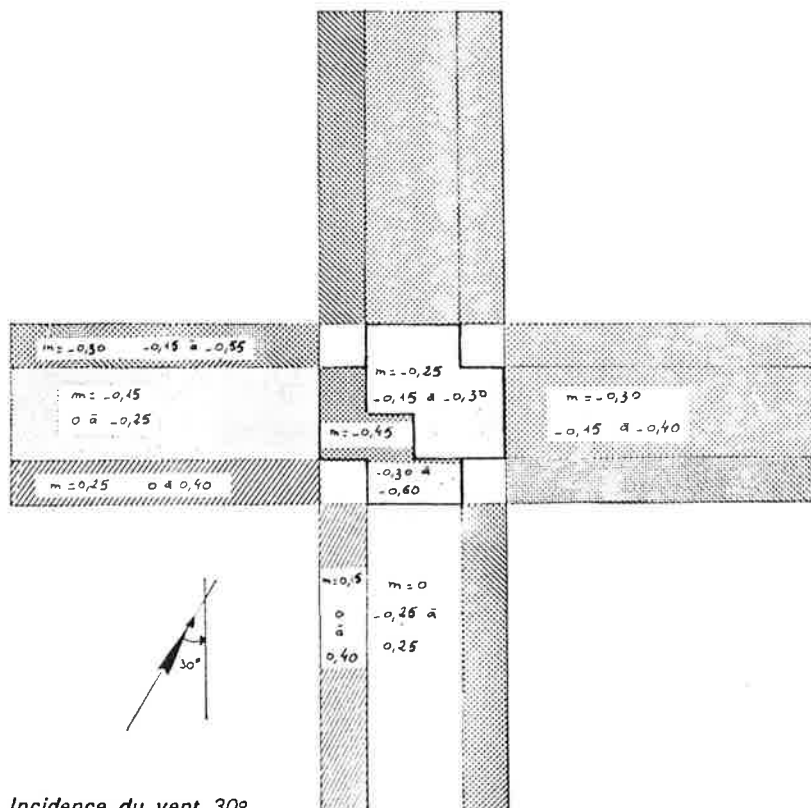
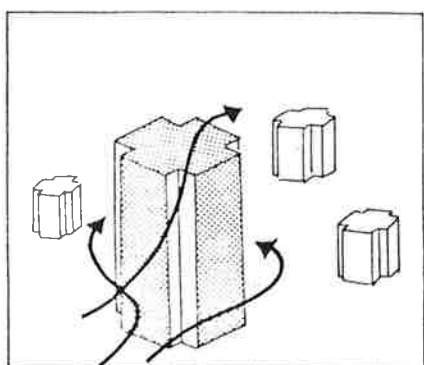
Incidence du vent 60°

Figures 33

Tour R + 12 à décrochement
Vent de type campagne
Avec environnement

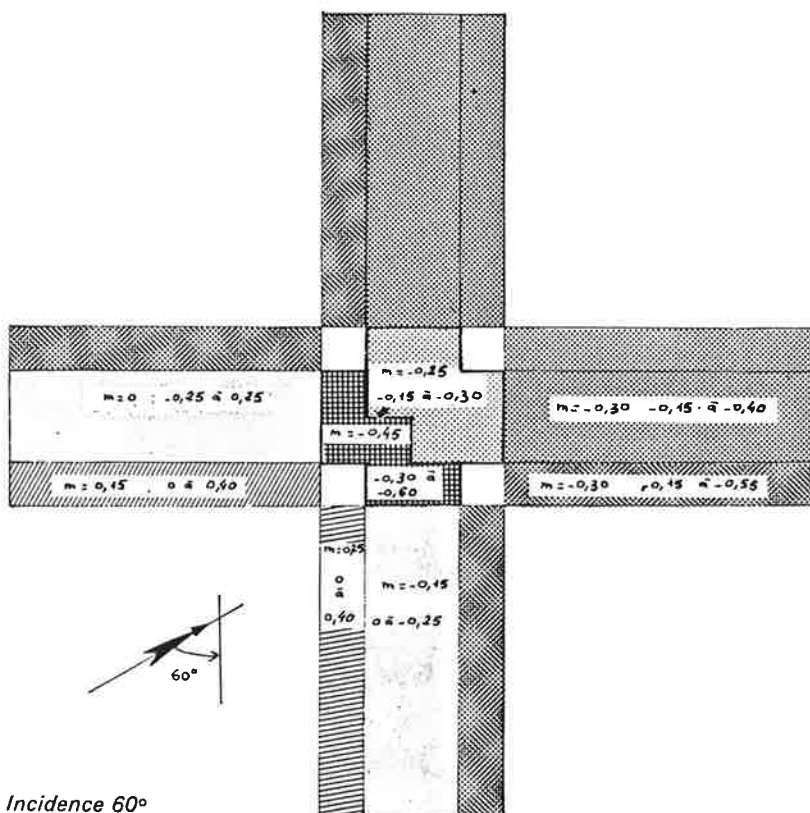
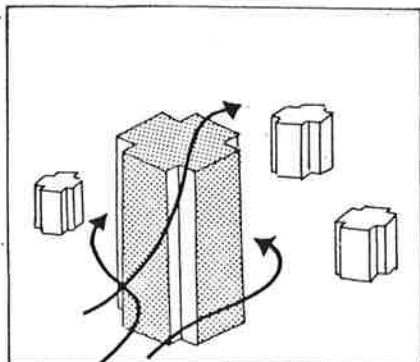


Incidence du vent 0°



Incidence du vent 30°

Tour R + 12 à décrochement
Vent de type campagne
Avec environnement



Deux groupes de position ont été discernés :

- élément « inscrit » au sein de l'ensemble compact (fig. 34 - position 2 et 4),
- élément « étrave » d'une branche de l'ensemble compact (fig. 34 - position 1 et 3).

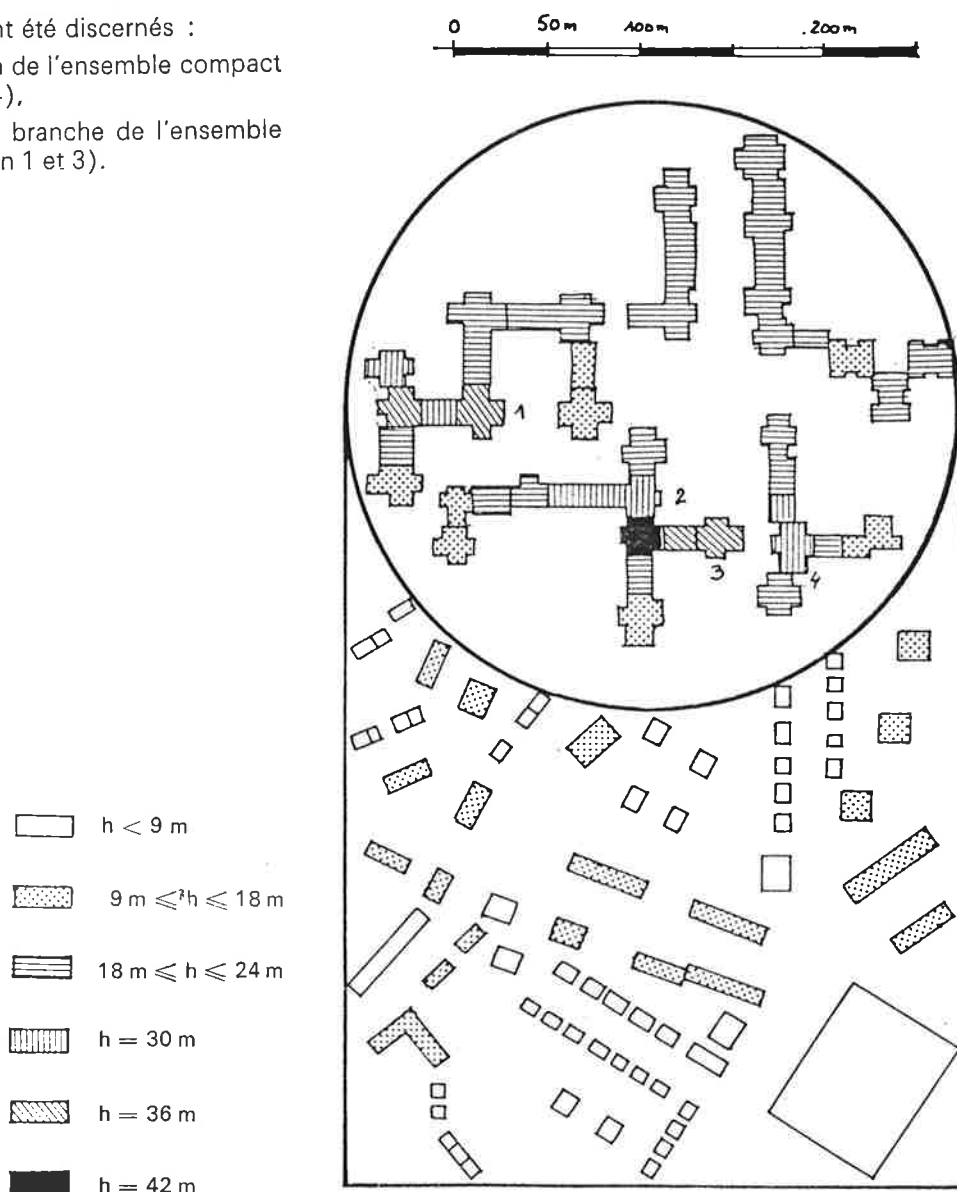
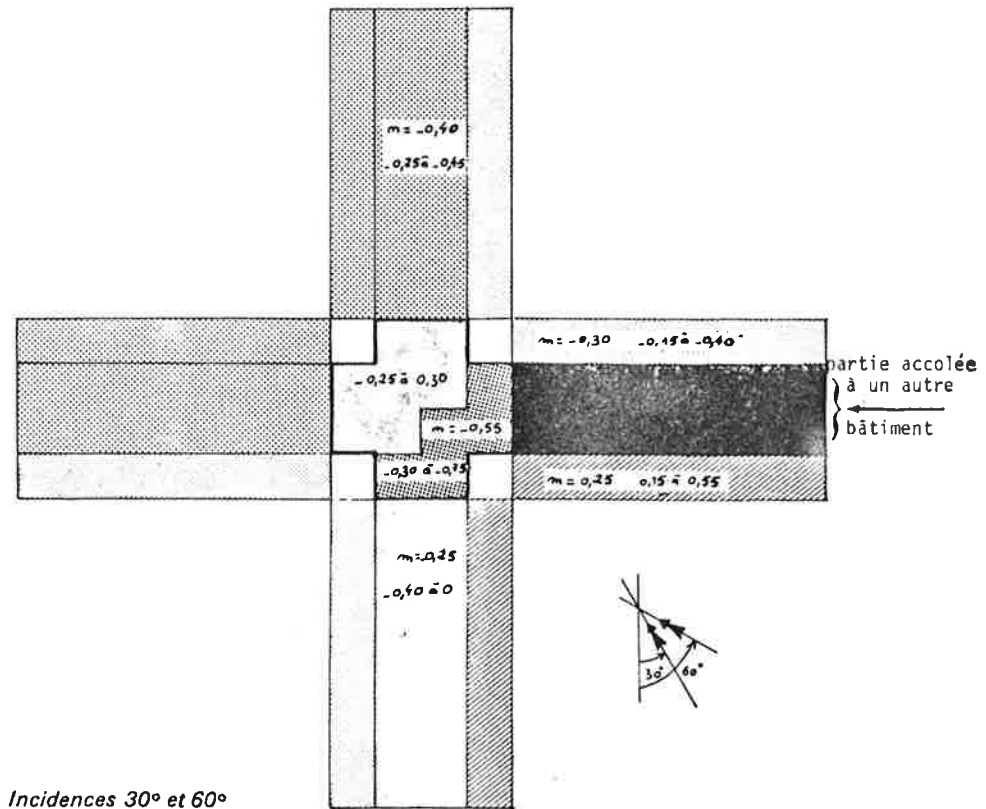
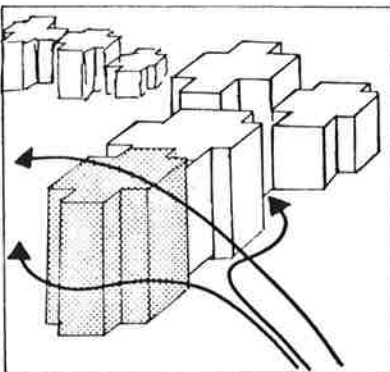
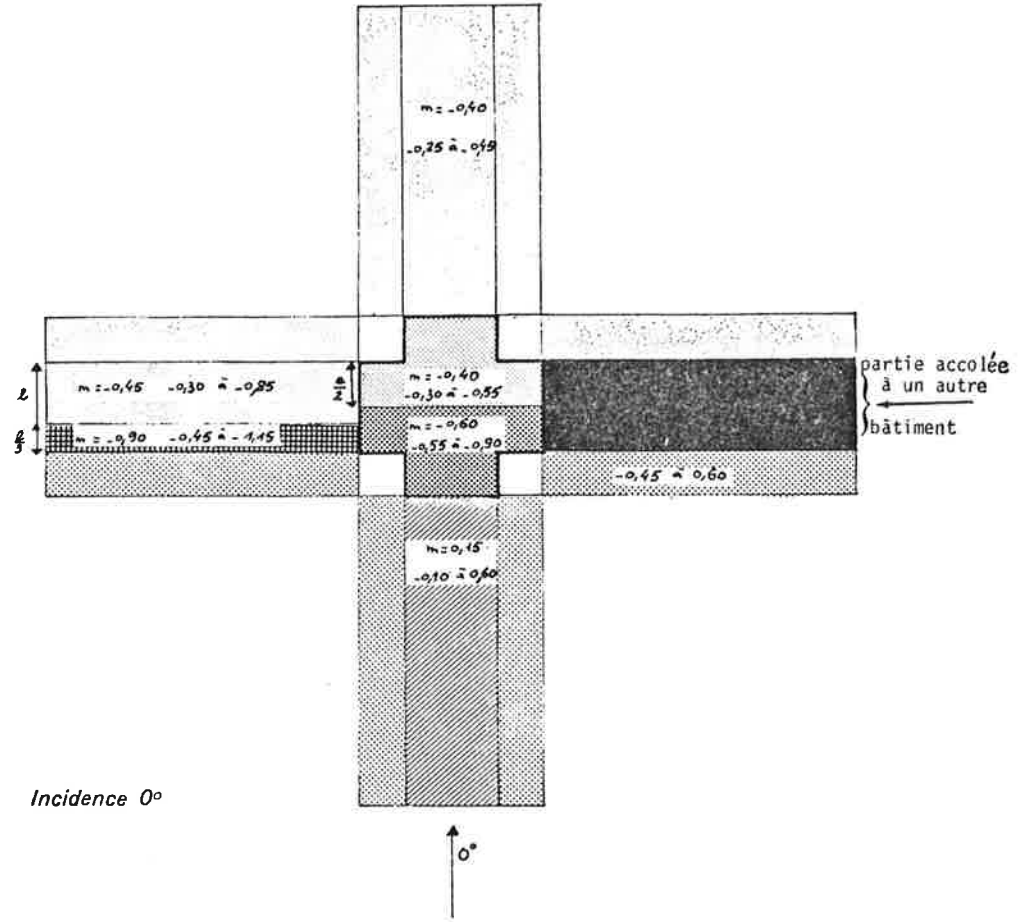
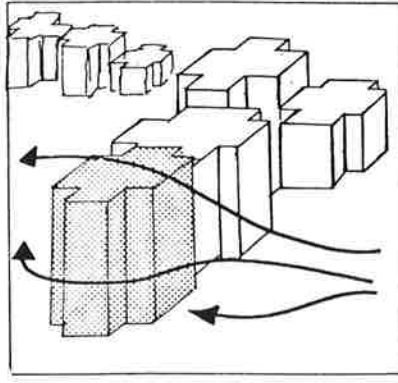


Figure 34 Position de l'élément test dans les ensembles compacts en escalier

De plus, ce type de forme se rencontrent en tant que constituant dans les ensembles en escalier, nous avons présenté dans les figures 35 et 36 le zonage et les valeurs pour un élément « marche » inséré au milieu de l'ensemble compact.

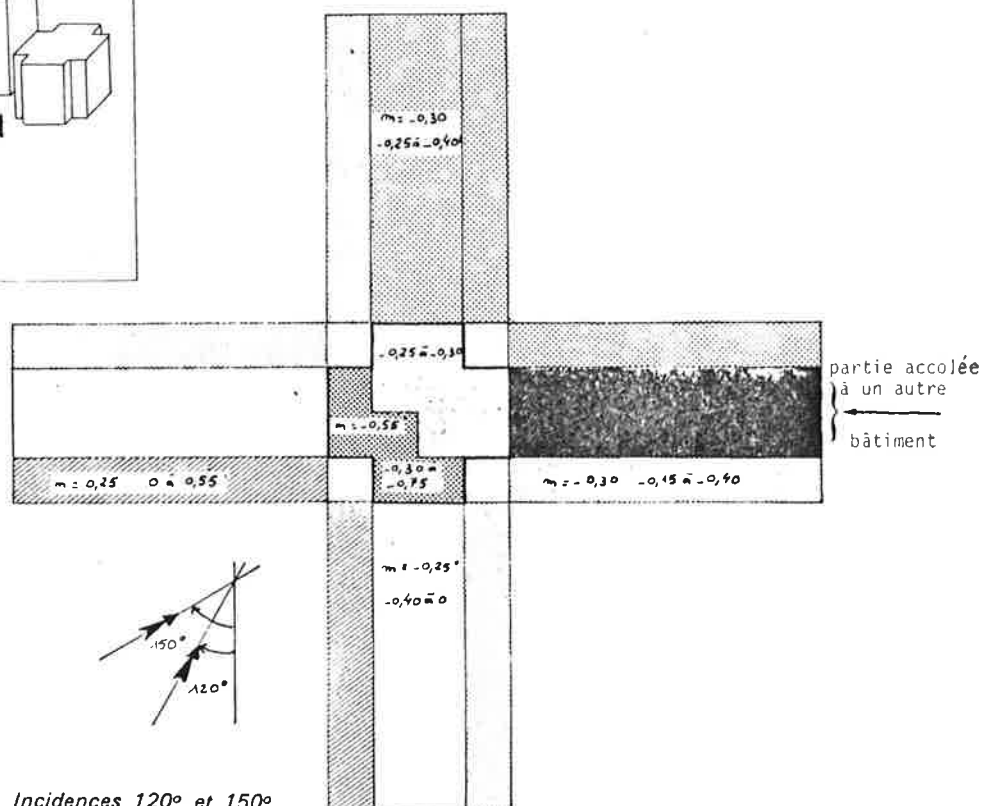
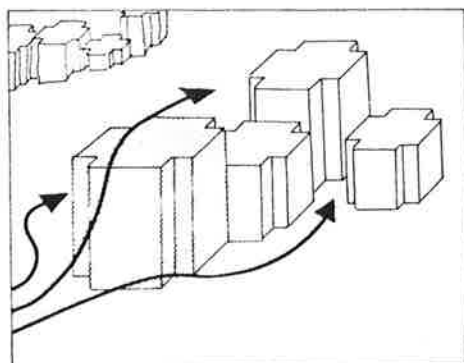
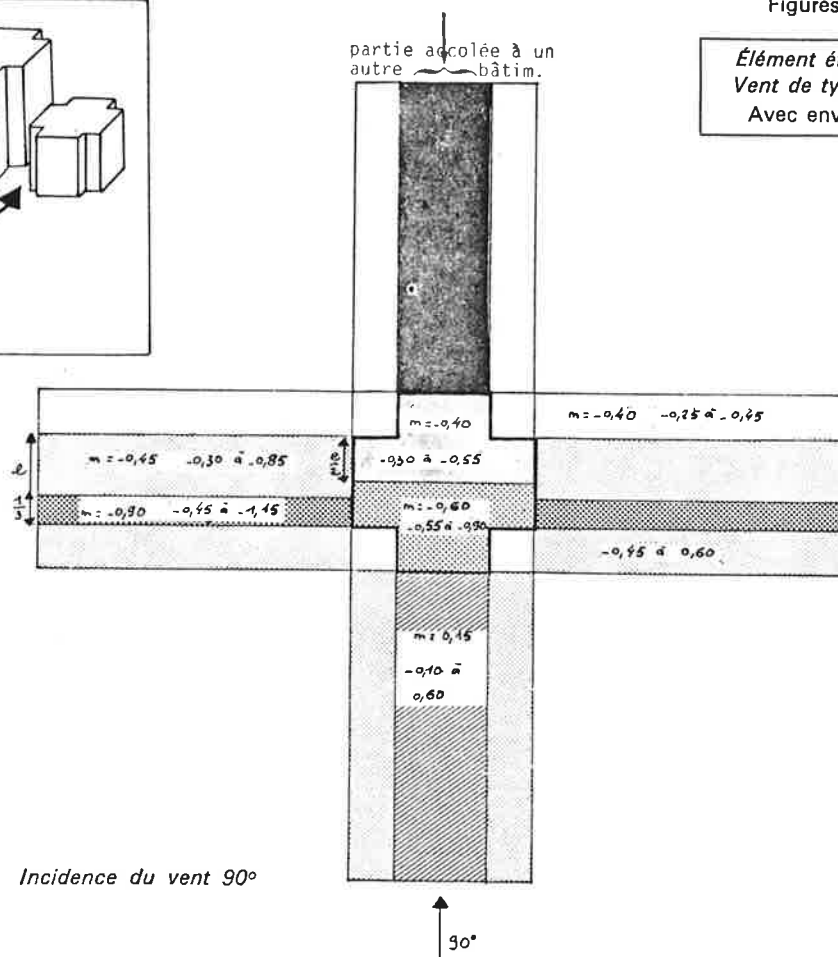
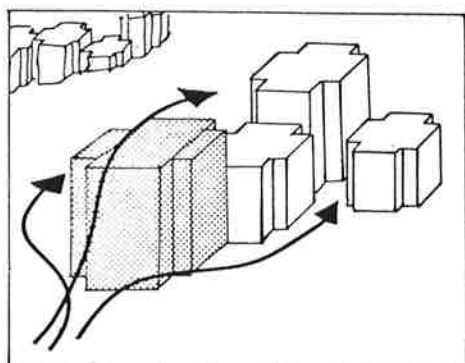
Figures 35

Élément étrave R + 12
Vent du type campagne
Avec environnement¹



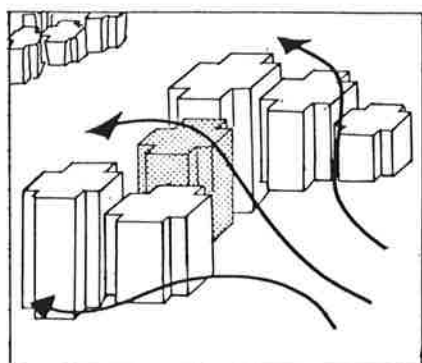
Figures 35 (fin)

Élément étrave R + 12
Vent de type campagne
Avec environnement

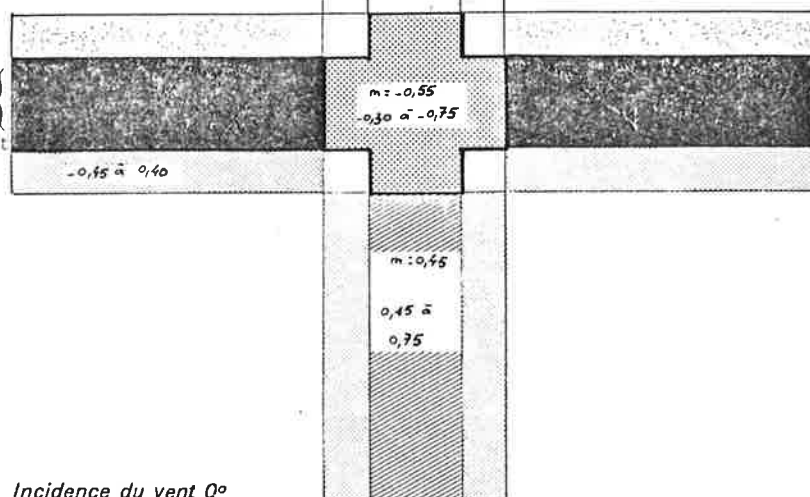


Figures 36

Élément étrave R + 12
Vent de type campagne
Avec environnement

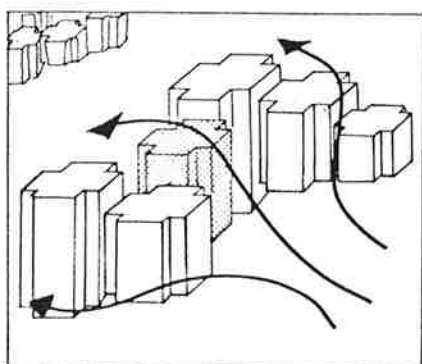
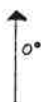


partie
accollée
à un
autre
bâtiment

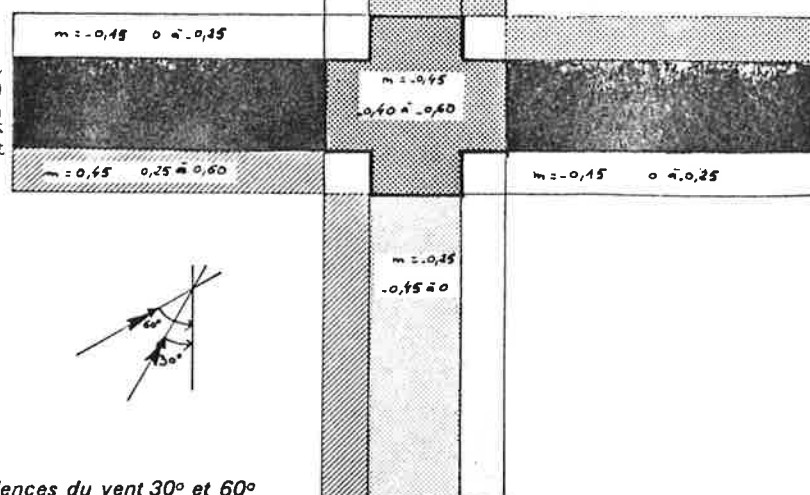


partie accollée
à un autre
bâtiment

Incidence du vent 0°



partie
accollée
à un aut
bâtiment



partie accollée
à un autre
bâtiment

Incidences du vent 30° et 60°

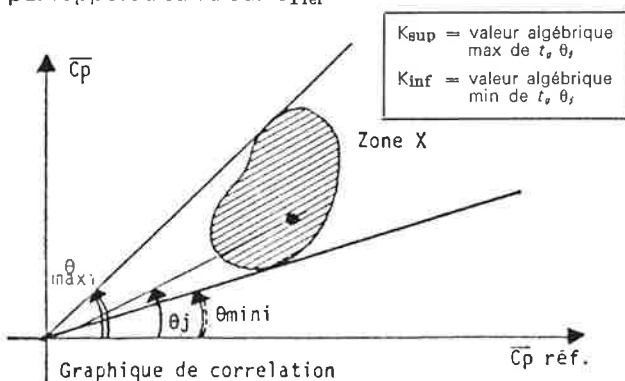


5 Discussion des résultats

5.1 Influence de l'environnement

La présence d'un environnement uniformise plutôt les distributions de pression en comparaison avec le zonage du cas référence, notamment les surfaces des zones de coefficient de pression maximal se voient réduites.

De plus, les niveaux moyens et extrêmes de pression sont atténués de manière quasi systématique (exception dans certains cas au niveau des coins des tours) : on peut définir, pour chaque zone, deux facteurs correctifs K_{sup} et K_{inf} traduisant la fourchette de réduction ou l'augmentation du coefficient $\bar{C}_p$ par rapport à sa valeur $\bar{C}_{p\text{ref}}$

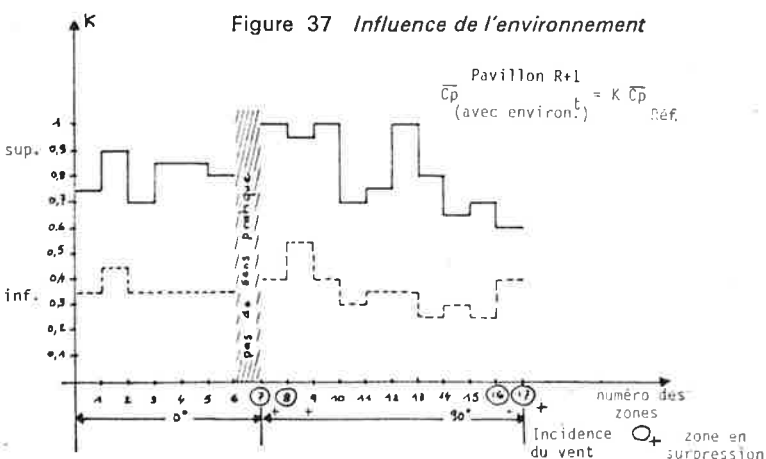


Exemple :

$K_{sup} = 1,3$ signifie une amplification de 30 %

$K_{sup} = 0,7$ signifie une atténuation de 30 %

$K_{sup} = 0,3$ signifie une atténuation de 70 % en module et changement de signe.



Dans la figure 37 les K_{sup} et K_{inf} pour les différentes zones de la maison individuelle en présence d'un environnement sont donnés à titre d'exemple. On constate l'« effet de masque » important qu'introduit l'environnement (partout $K_{sup} \leq 1$).

Si on ne constate pas pour les bâtiments plongés au sein de leur environnement d'influence de la hauteur sur la distribution des coefficients de pression, il faut se rappeler que la hauteur totale du bâtiment joue sur la pression dynamique de référence $\frac{1}{2} \rho U^2(h)_{\text{ref}}$ et, finalement, sur le niveau des pressions.

Remarque : si l'on trace la répartition des pressions moyennes sur deux génératrices au vent d'une tour R + 12, sans environnement fig. 38, on retrouve bien une distribution des $\bar{C}_p$ proportionnelle au carré de la vitesse locale fonction du gradient incident.

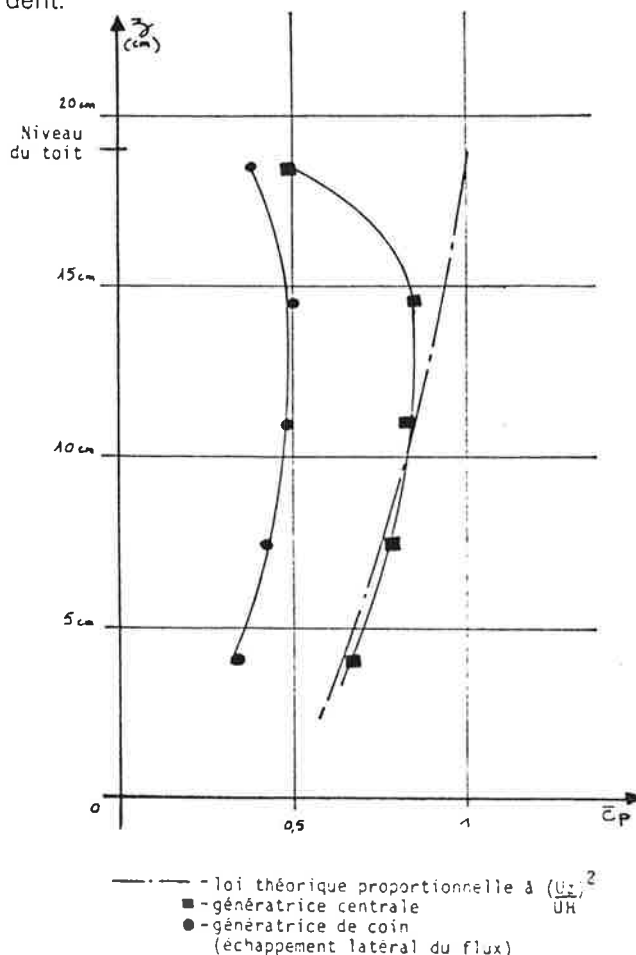


Figure 38 Répartition des pressions moyennes sur deux génératrices d'une tour (centrale et coins) en incidence nulle. Sans environnement

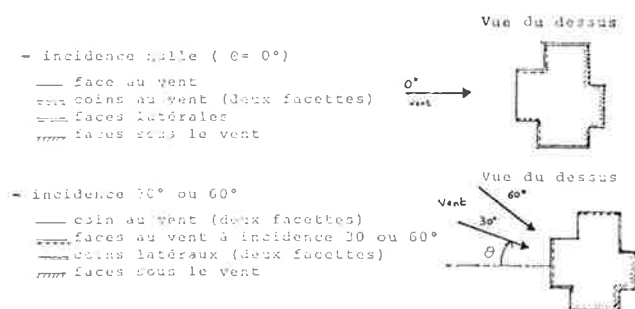
5.2 Influence relative de l'incidence vis-à-vis de l'environnement

L'incidence demeure prépondérante devant l'environnement et conditionne pratiquement le zonage.

Les incidences 30° et 60° semblent critiques pour les faces au vent. Les valeurs ($\bar{C}_P$, $\bar{C}_{Pref}$) sont peu corrélées sous ces incidences et témoignent d'écoulements au voisinage des faces particulièrement instationnaires. Ainsi, la moindre modification dans l'environnement proche peut sous cette incidence transformer une zone en surpression en zone dépressionnaire et inversement.

5.3 Influence de la complexité de la forme : confrontation entre la tour parallélépipédique ($R + 12$) et la tour à décrochement ($R + 12$)

Remarque sur la terminologie : les schémas ci-contre permettent de clarifier les notions de faces et coins au vent ou sous le vent. Un coin est constitué de deux petites faces ou facettes.



Le phénomène « coin » (avec ses facettes) pour la tour à décrochement peut être schématisé comme suit :

- Lorsque la tour est en incidence, les coins se comportent en première approximation comme des faces de la tour simple à incidence nulle, à savoir : les facettes du coin au vent sont assimilables à une face au vent (pour $i = 0^\circ$), et les facettes des coins latéraux à des faces latérales (avec $i = 90^\circ$).

- Lorsque la tour est en incidence nulle, les facettes des deux coins au vent voient leur coefficient de pression compris entre la surpression maximale (1) de la face au vent et la dépression maximale (1) de la face latérale.
- Pour toutes incidences, les facettes du ou des coins sous le vent ont le même comportement que celui des faces sous le vent.

La présence de coins ne bouleverse pas notablement la répartition des pressions sur les faces principales (en comparaison avec celles de la tour simple). On peut noter une légère modification du zonage, due à un nouveau contournement de l'air autour de l'obstacle, mais les niveaux de pression sur les faces principales restent semblable à ceux obtenus sur la tour simple.

5.4 Effet d'échelle : confrontation entre la tour $R + 12$ à décrochement et l'ensemble compact en escalier

La présence d'un écran bâti d'échelle importante vis-à-vis de celle du vent (par exemple front bâti supérieur à 100 m) se traduit, en comparaison avec la tour à décrochement seule, par :

- une amplification des zones les plus fortement dépressionnaires (toiture, faces latérales). Cette amplification est plus forte si l'on se place en extrémité de « branche » de l'ensemble compact (en utilisant un facteur correctif, par rapport à la tour, défini au paragraphe 5.1, on n'obtient $K_{inf} = 1.1$ et $K_{sup} = 2$) que si l'on se place au sein de l'ensemble compact ($K_{inf} = 1.1$ et $K_{sup} = 1.5$).
- une amplification des zones les plus fortement surpressionnaires (face au vent, incidence nulle) lorsque l'on se situe au milieu de l'ensemble compact :

$$0.5 (K_{inf} + K_{sup}) \simeq 1.5$$

- une atténuation des zones les plus fortement surpressionnaires lorsque l'on se situe en extrémité de « branche » de l'ensemble compact :

$$0.5 (K_{inf} + K_{sup}) \simeq 0.5$$

1. En valeur absolue.

5.5 Influence de la nature du vent sur le niveau et la répartition des pressions moyennes

Le zonage, gouverné largement par la forme et l'environnement, reste inchangé en vent de banlieue; seuls les niveaux de pression sont modifiés.

Pour chaque forme, nous avons pris en référence la répartition et le niveau des pressions obtenu pour un vent de campagne.

Nous donnons dans les figures 39 à 43 les coefficients de passage k_v permettant de déduire par zone et pour chaque forme, les nouveaux coefficients de pression obtenus en vent du type banlieue :

$$\bar{C}_{P, \text{ vent de banlieue}} = k_v \bar{C}_{P, \text{ vent de campagne}}$$

L'influence du vent est très nette et pondérée par la zone considérée. D'une façon générale, on observe :

- une amplification systématique des coefficients de pression en toiture et sur les faces sous le vent,
- une amplification moins marquée sur les faces latérales,
- pour les faces au vent, la tendance à l'amplification pour les structures basses (R + 1 et R + 4) peut s'inverser et devenir une légère atténuation dans le cas des tours (R + 12).

Le fait que les C_p obtenus en vent de banlieue sont amplifiés en général n'indique pas pour autant que les niveaux absolus des pressions croissent par rapport à ceux du vent de campagne. Il faut conserver en mémoire que les valeurs de $\bar{C}_p$ sont indexés par rapport à la vitesse de référence $\bar{U}_{ref}$ en toiture qui est (à hauteur égale) d'autant plus petite que la rugosité est forte.

A titre d'exemple, un coefficient d'amplification relativement élevé de 1,6 obtenu dans le cas du plot R + 4 en toiture conduit à la relation :

$$\frac{\bar{P}_b}{\frac{1}{2} \rho \bar{U}_{ref,b}^2} = 1,6 \quad \frac{\bar{P}_c}{\frac{1}{2} \rho \bar{U}_{ref,c}^2} \quad \begin{matrix} b = \text{banlieue} \\ c = \text{campagne} \end{matrix}$$

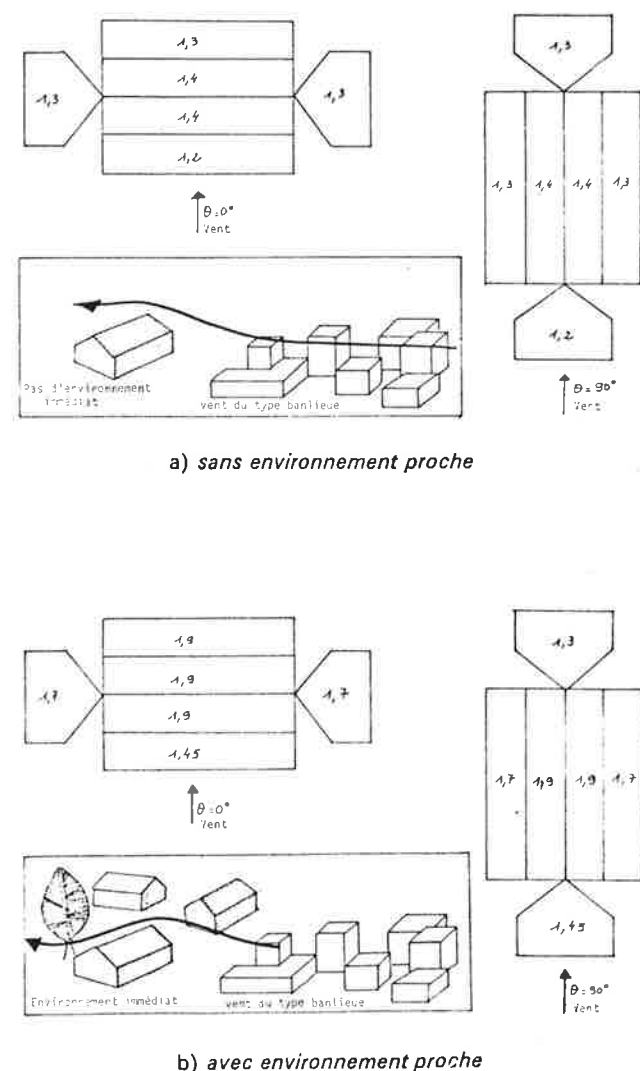
Or, en première approximation, la vitesse de référence en toiture du plot R + 4 pour un vent de banlieue est de l'ordre de (8) : $\bar{U}_{ref,b} \simeq 0,7 \bar{U}_{ref,c}$.

Par suite, $\bar{P}_b \simeq 0,77 \bar{P}_c$.

En conséquence, le niveau absolu a diminué malgré l'augmentation du coefficient de pression.

Remarque : Les coefficients de passage k_v peuvent être généralisés à d'autres types de bâtiment d'échelle et de forme relativement voisines, dans la mesure où la répartition et le niveau des pressions sont connus en vent de campagne.

Figure 39 Coefficient de passage k_v : maison individuelle — vent du type banlieue



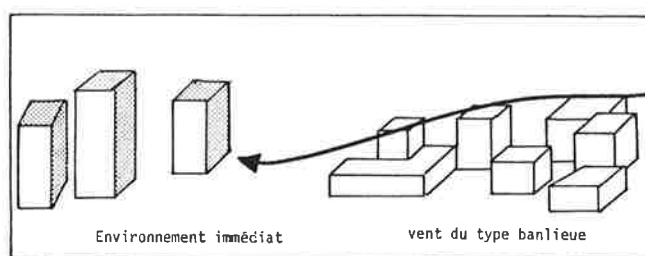
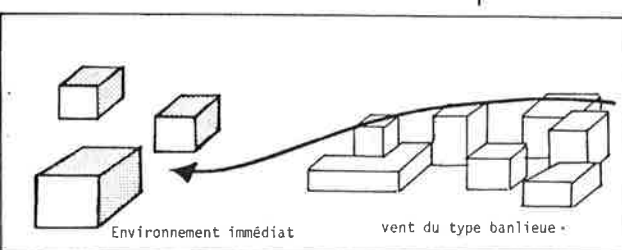
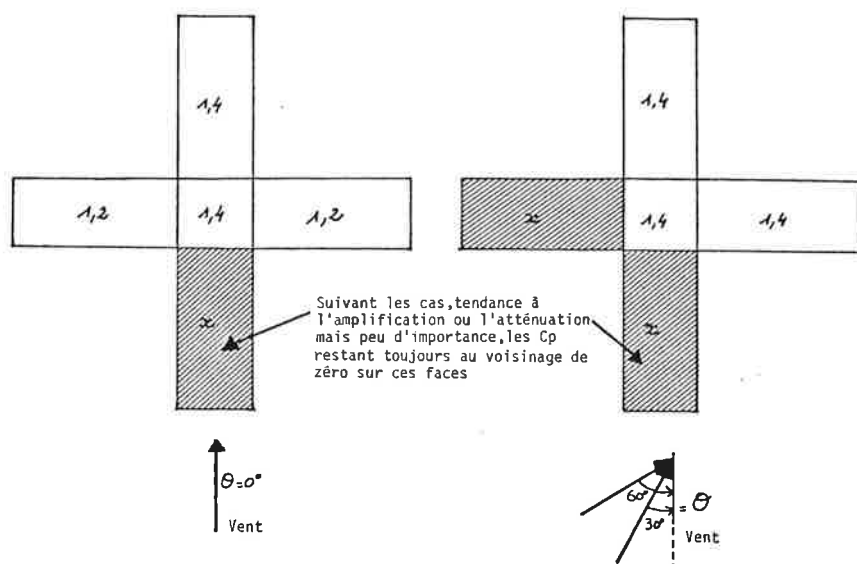
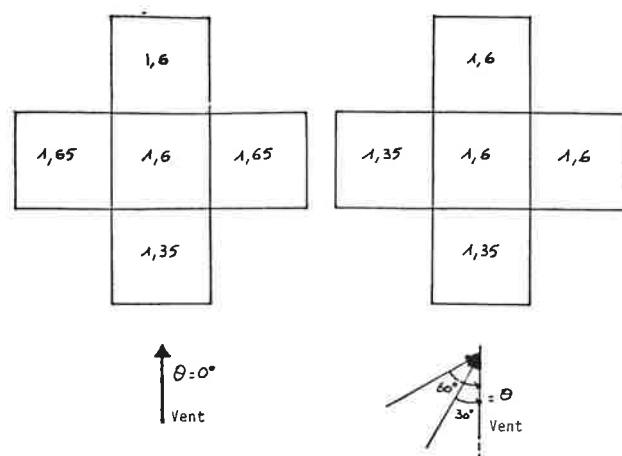


Figure 40 Coefficient de passage k_v : Plot R + 4. Vent du type banlieue

Figure 42 Coefficient de passage k_v : Tour R + 12. Vent du type banlieue

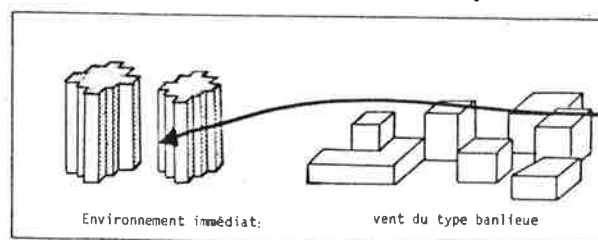
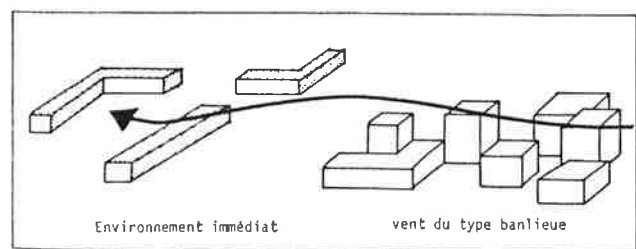
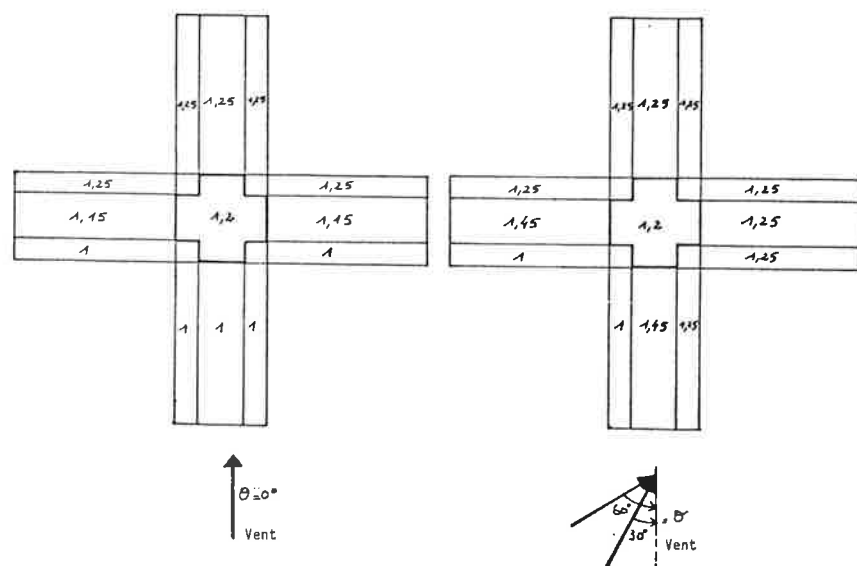
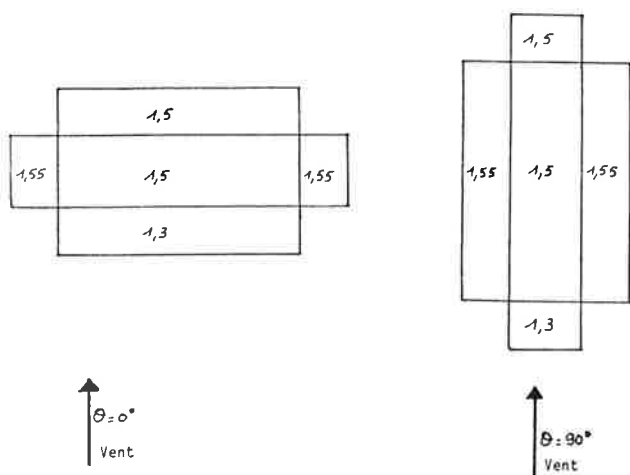


Figure 41 Coefficient de passage k_v : Barre R + 4. Vent du type banlieue

Figure 43 Coefficient de passage k_v : Tour à décrochements R + 12. Vent du type banlieue

5,6 Influence des acrotères et des installations d'extraction d'air sur la répartition et le niveau des pressions en toiture (fig. 44)

Les acrotères (15 ou 40 cm) n'introduisent pratiquement pas, sur l'ensemble du toit, de changement dans le zonage ou dans les niveaux des coefficients de pression par rapport au cas sans acrotères, excepté sur la bande périphérique immédiate (de même dimension que celle des acrotères).

Par contre, au voisinage immédiat des machineries d'ascenseurs, des effets locaux induisent des atténuations (50 %) ou amplifications (100 %) notoires (suivant l'incidence) par rapport au toit-terrasse seul.

Sur les bouches d'extraction d'air (surélevées environ de 1 mètre du niveau du toit), les dépressions locales se trouvent systématiquement amplifiées de l'ordre de 25 % par rapport aux valeurs locales en toit-terrasse.

En conclusion, le concepteur peut utiliser directement les résultats des toitures-terrasses en prenant soin d'éviter de se placer au voisinage des gros

obstacles — tel que machinerie d'ascenseur — et de majorer de 25 % les coefficients de pression locaux sur les bouches d'extraction en surélévation.

6 Conclusion

L'ingénieur thermicien dispose maintenant pour ces calculs d'un catalogue des coefficients de pression réalistes pour les formes d'habitations les plus courantes en milieu construit, dans les cas des vents journaliers.

Cet article a été conçu avec une volonté d'application pratique et doit être associé à d'autres travaux menés parallèlement (1), notamment à ceux traitant de la méthode de passage entre la vitesse de référence au lieu de construction $\bar{U}_{ref}$ et à la vitesse météo $\bar{U}_0$ (utilisation des données statistiques).

1. J. BIETRY, C. SACRE, « Le vent sur le site de construction. Méthodes d'estimation à partir des données des stations météorologiques » (à paraître dans les *Cahiers du CSTB*).

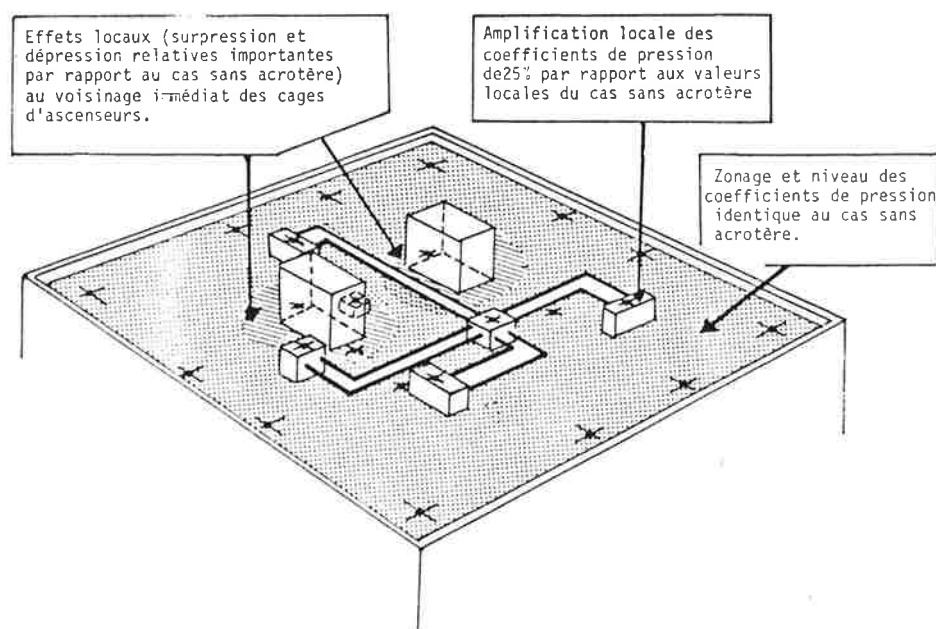


Figure 44 Acrotère et structures de ventilation. Tour R + 12 en présence d'environnement et en vent amont du type campagne

Bibliographie

- (1) M. CROISET, « Hygrothermique et ventilation dans les bâtiments », cours de ventilation CSTB.
- (2) J. BIETRY, « Étude préliminaire des pressions et dépressions du vent journalier en fonction du site, de l'exposition et de la hauteur des bâtiments en vue du calcul des déperditions par renouvellement d'air », CSTB Nantes, note EN.D. 75.1.
- (3) J. GANDEMER-G. BARNAUD, « Champ de pression dans les ensembles bâtis », EN ADYM 75.7.R.
- (4) G. GRILLAUD-J. GANDEMER-G. BARNAUD, « Champ de pression dans les ensembles bâtis : étude complémentaire », EN ADYM 76.4.
- (5) J. GANDEMER, « La soufflerie à couche limite du CSTB », CSTB Nantes, *Cahier du CSTB* n° 1193, livraison 141 (juillet-août 1973).
- (6) C. HAUTOY, « La soufflerie à couche limite du CSTB. Simulation des propriétés dynamiques du vent », CSTB Nantes 12.73.
- (7) J. GANDEMER-G. BARNAUD, « Simulation des propriétés dynamiques du vent en stabilité neutre dans la soufflerie à couche limite du CSTB », CSTB Nantes 9/1974.
- (8) J. GANDEMER-A. GUYOT, « Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti. Guide méthodologique et conseils pratiques », CSTB Nantes 1976.