

# Ventilation et transparence à l'air des habitations

## Deux notions fondamentalement différentes

Les changements de techniques de construction imposés par la crise de l'énergie ne se font pas sans difficulté et, souvent, apparaissent des désordres (condensations, moisissures, consommations très supérieures aux prévisions) qu'il faut bien expliquer. On pourrait incriminer la ventilation. Les vrais responsables sont en réalité les trous, les fentes, les joints, les « A1, les A2 » (1), les feuilles des vitrages, les isolants et leur mise en œuvre ; dans bien des cas aussi la réglementation et ses textes techniques d'application. Tous ces éléments perturbent la ventilation qui n'est pas « coupable », mais « victime ».



Les Quatre Vents. Gravure par Normand fils (XVIII<sup>e</sup>). Borée, le vent du Nord. Bibliothèque Nationale  
Doc. Roger-Viollet

En 1963 et 1966, deux études (2) concernant la ventilation naturelle et les effets du vent sur un bâtiment ont été publiées dans les cahiers du C.S.T.B.

Il n'y a, à notre connaissance, aucun phénomène nouveau qui infirme ce qui a été écrit à l'époque. Nous changerons seulement le mode de présentation en définissant un concept nouveau : « la transparence globale à l'air d'une habitation », qui est en gros la surface globale des ouvertures sur l'extérieur exprimées en cm<sup>2</sup>.

(1) Classes de perméabilité à l'air des menuiseries.

(2) « Comment assurer la ventilation des immeubles collectifs d'habitation » par P. Jardiner, cahier 542, décembre 1963. « Vent, ventilation et bâtiment », cahier 720, décembre 1966.

Tableau 1

3	81,3	20	172,5	175	157	201,5	225	207,5	220	202,5	215	197,5	210
4	81,3	20	172,5	175	157	201,5	225	207,5	220	202,5	215	197,5	210
5	81,3	20	172,5	175	157	201,5	225	207,5	220	202,5	215	197,5	210
6	81,3	20	172,5	175	157	201,5	225	207,5	220	202,5	215	197,5	210
7	81,3	20	172,5	175	157	201,5	225	207,5	220	202,5	215	197,5	210

### Les mouvements de l'air dans les locaux

Une habitation est un ensemble ouvert sur l'extérieur par des entrées d'air, des sorties d'air, des portes, des fenêtres, des jonctions entre murs et planchers, etc. Les ouvertures laissent passer l'air dans un sens ou dans l'autre, selon les états de pression de part et d'autre. On a donc, à chaque instant, une circulation d'air parfaitement déterminée calculable si on connaît :

la courbe caractéristique de chaque orifice ;  
la forme du bâtiment et sa hauteur ;  
la position de chaque orifice sur ce bâtiment ;  
le vent ou vitesse et direction ;  
les températures extérieures et intérieures.

La prise en considération de tous ces paramètres est évidemment compliquée. Aussi est-on le plus souvent recours à la solution qui consiste à dire : « On prendra pour taux de ventilation 1 volume/heure des pièces principales, même si en réalité il n'atteint qu'1/2 ou arrive à dépasser 2 volumes/heure ».

En réalité, on ne cherche plus, ce qui se passe à chaque instant, on veut seulement savoir ce qui se passe en une année ou tout au moins pendant une saison de chauffage, quel que soit le sens dans lequel l'air circule. S'il va d'une façade de chambre à une autre, il a pour notre calcul de thermique le même effet que s'il balaye la logement des pièces principales vers les pièces techniques, et même s'il circule des pièces techniques vers les pièces principales.

On utilisera dans ce qui suit quatre types d'information :

1 — Si on maintient un écart de pression  $\Delta p$  de part et d'autre d'une ouverture, le débit d'air qui la traverse s'écrit :

$$Q = \frac{1}{C} \sqrt{\Delta p}$$

c'est la caractéristique de l'ouverture.

2 — Le vent pousse certaines façades et en aspire d'autres. Il exerce donc des pressions ou des dépressions, qui sont heureusement proportionnelles au carré de la vitesse.

Les coefficients  $k$  dépendent de la géométrie de la maison, mais on peut retenir pour des maisons simples les coefficients indiqués sur la figure 1.

Les débouchés en toiture ont toujours un coefficient égal à  $-0,31$ . On constate sur le tableau 1 qu'au maximum, 2 façades sont en pression et 3 en dépression pour une inci-

On montrera qu'il permet, avec une bonne précision, de prévoir les débits d'air qui traversent les logements, et donc les déperditions pendant la saison de chauffage.

Ce débit d'air n'est pas la ventilation ; laquelle a une fonction précise : faire circuler dans chaque pièce du logement un débit d'air pour couvrir ses besoins. Par exemple, on sait qu'il faut 30 m<sup>3</sup>/h dans une chambre, quelle que soit sa surface, si elle est occupée par deux personnes... etc.

Les termes de ventilation transversale, ventilation sauvage, voire ventilation naturelle pour dénominer ces infiltrations sont des abus de langage, ils n'ont de rapport avec la ventilation que par hasard et coïncidence accidentelle.

Tableau I

Incidence	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5	Moyenne
$\frac{Q}{V T_2}$	0,040	0,041	0,05	0,056	0,06	0,051	0,051	0,053	0,05	0,049	0,054	0,05	0,054	0,051	0,045	0,046	0,0506
Erreur par rapport à la moyenne	0,79	0,80	0,99	1,10	1,19	1,20	1,12	1,05	1	0,96	1,06	0,99	1,07	1	0,89	0,91	

dence à  $45^\circ$ ; sinon il y en a toujours 4 en dépression et 1 seule en pression, ce qui ne veut pas dire qu'il n'y a pas de mouvements entre deux façades en dépression.

La figure 2 montre comment évolue le coefficient  $k$  pour des vents agissant sur une façade suivant une incidence de  $0^\circ$  à  $360^\circ$ .

La pression réelle  $p$  se calcule à partir de la formule :

$$p = k V^2$$

3 — Le tirage thermique exerce une action particulière, schématisée sur la figure 3 lorsque les ouvertures d'infiltration sont réparties comme indiqué.

La pression totale disponible s'écrit :

$$\lambda = 0,044 h \Delta T,$$

dans laquelle :

$h$  est la hauteur en mètres,

$\Delta T$  est l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur,

$p$  est exprimé en pascals.

La zone de pression nulle ( $\alpha$ ) se déplace dans le même sens que l'ensemble des ouvertures.

4 —  $k$  et  $C$  respectivement coefficient de pression due au vent et coefficient caractéristique des ouvertures sur chaque façade, sont liés à  $\pi$  la pression interne du logement et à  $Q$  le débit d'air par la formule (fig. 4) :

$$\lambda V^2 - \pi = C1 (Q1)^2$$

$$\lambda V^2 - \pi = C2 (Q2)^2$$

$$\lambda - k3 V^2 = C3 (Q3)^2$$

$$\lambda - k4 V^2 = C4 (Q4)^2$$

$$Q1 + Q2 = Q3 + Q4$$

①

ce qui permet de calculer  $Q1$ ,  $Q2$ ,  $Q3$  et  $Q4$ .

Il y a un autre passage d'air possible par la bâtiure, il suffit d'ajouter une équation supplémentaire.

$C1$ ,  $C2$ ,  $C3$ ,  $C4$ , et  $C5$  éventuellement, ne sont généralement pas connus, de sorte que la résolution de ces équations n'est pas possible. Par contre on pourrait déjà faire des hypothèses suivant la répartition des ouvertures.

Par exemple, on pourrait dire que les ouvertures sont réparties également sur chaque façade, et on aurait  $C1 = C2 = C3 = C4 = C5$ .

Si il n'y a que deux façades, on peut écrire  $C1 = C2$ . Ce qui nous manque alors c'est la valeur globale  $C1 + C2 + C3 + C4 + C5 = C1 + C2$ , qui permettrait de résoudre le système d'équations dans chaque hypothèse. Il se trouve que ces valeurs globales sont facilement accessibles à la mesure.

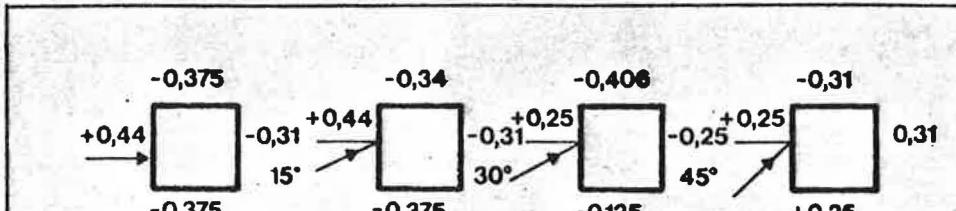


Fig. 1 : valeur du coefficient  $k$  suivant l'angle d'incidence du vent

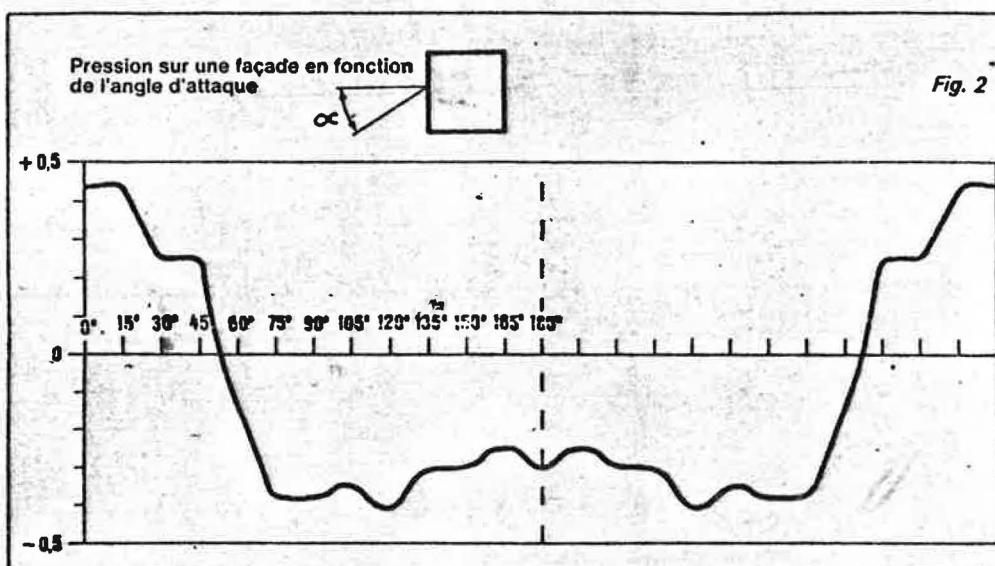


Fig. 2

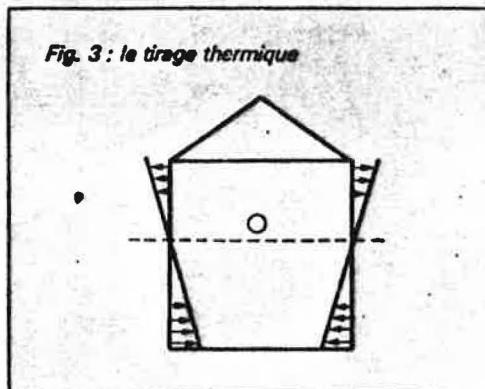


Fig. 3 : le tirage thermique

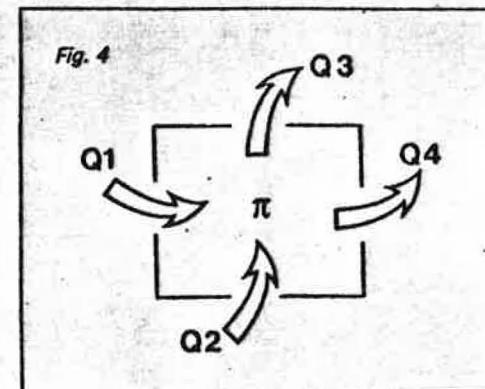


Fig. 4

## La transparence globale à l'air d'un bâtiment

On appelle transparence globale à l'air d'une maison,  $Tr$ , le débit d'air qui la traverse, exprimé en  $m^3/h$  pour une différence de pression de 10 pascals entre l'intérieur et l'extérieur. C'est donc une grandeur mesurable facilement.

On peut noter que la valeur obtenue correspond assez bien à une surface équivalente d'ouverture exprimée en  $cm^2$ , et qui laisse passer le même débit sous la même dépression de 10 pascals.

Ainsi, une transparence de  $750 m^3/h$  est équivalente à ce que laisserait passer  $750 cm^2$  d'ouverture répartis entre fentes et trous divers.

Si on connaît toutes les courbes caractéristiques de chaque élément, il suffirait d'additionner les débits obtenus pour 10 pascals pour trouver  $Tr$ . En général on ne les connaît pas, mais on peut mesurer  $Tr$ .

### Comment mesurer $Tr$ ?

Selon la définition, il suffit de remplacer un élément de la construction, par exemple une fenêtre par un panneau sur lequel sont

disposés un ventilateur et un débitmètre en série, et de régler le ventilateur pour qu'il existe un écart de pression de 10 pascals entre l'intérieur et l'extérieur. Le débit est égal à  $Tr$ .

Il est possible de procéder à la mesure pour des  $\Delta p$  plus importants que 10 pascals. Si alors on lit un débit  $Q$ , on déduit  $Tr$  par la formule :

$$Tr = Q \sqrt{\frac{10}{\Delta p}}$$

Il faut noter que cette façon de procéder n'est pas souhaitable lorsque le logement est équipé d'entrées d'air autoréglables ; mais elle présente l'intérêt de déterminer  $Tr$  avec une meilleure précision, surtout lorsqu'il y a du vent.

Si alors on a un bon degré de confiance dans les entrées d'air autoréglables, on peut les boucher et ajouter ensuite à la valeur  $Tr$  calculée, le débit nominal de ces entrées d'air :

$$Tr = Tr' + nq.$$

Pour analyser les origines de la transparence, il suffit de procéder à des colmatages successifs. Ainsi on peut :

mesurer la transparence globale  $Tr$  ;

puis, en obturant les entrées d'air, mesurer  $Tr'$  ; ( $Tr - Tr'$  correspond à la part contributive des entrées d'air) ;

enfin, en obturant les sorties d'air de ventilation naturelle, mesurer  $Tr''$  ( $Tr' - Tr''$  correspond à la part des sorties d'air)...

Cette façon de procéder est utile pour rechercher les causes de la transparence.

Les mesures de transparence par pièce s'effectuent de la même façon, mais il faut faire attention au passage entre pièces par les cloisons, qui n'existaient pas lors de la mise en dépression globale de l'appartement.

## Les calculs de transparence

Dans l'ensemble des équations 1, par vent nul, la pression  $\pi$  est égale à 10 et le coefficient  $C$  est de la forme :

$$C1 = \frac{10}{(Q1)^2}; \quad Q1 + Q2 + \dots = Tr.$$

On peut donc maintenant résoudre le problème en faisant des hypothèses sur 4 répartitions d'ouverture.

### Cellule ouverte sur 2 faces

En pratique, ce cas se trouve dans les appartements à simple exposition, équipés d'une ventilation naturelle, ou dans des appartements à double exposition.

Nous le traiterons entièrement pour montrer que l'égalité des ouvertures n'est pas très importante soient :

$C1$  et  $C2$  les coefficients caractéristiques des ouvertures.

$k1$  et  $k2$  les coefficients de pression dus au vent de vitesse  $V$ .

$\pi$  la pression interne, on a :

$$k1 V^2 - \pi = C1 Q^2; \quad \pi - k2 V^2 = C2 Q^2$$

d'où on tire :

$$Q = \frac{(k1 - k2)^{1/2} V}{(C1 + C2)}$$

Fig. 5

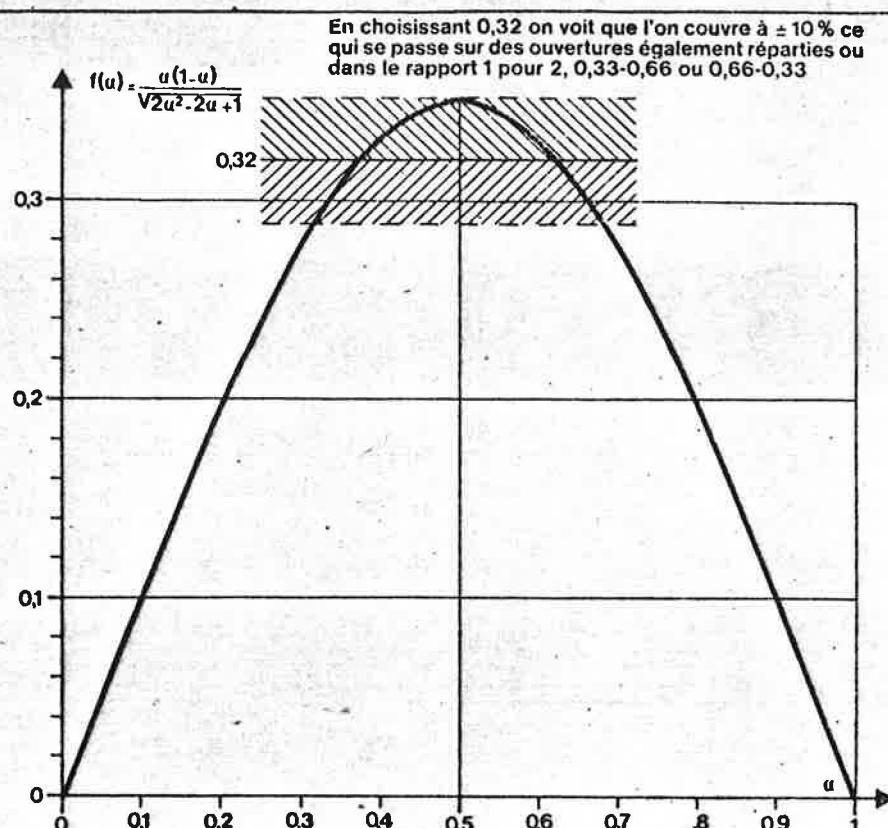


Fig. 6

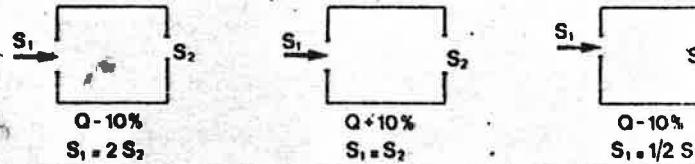
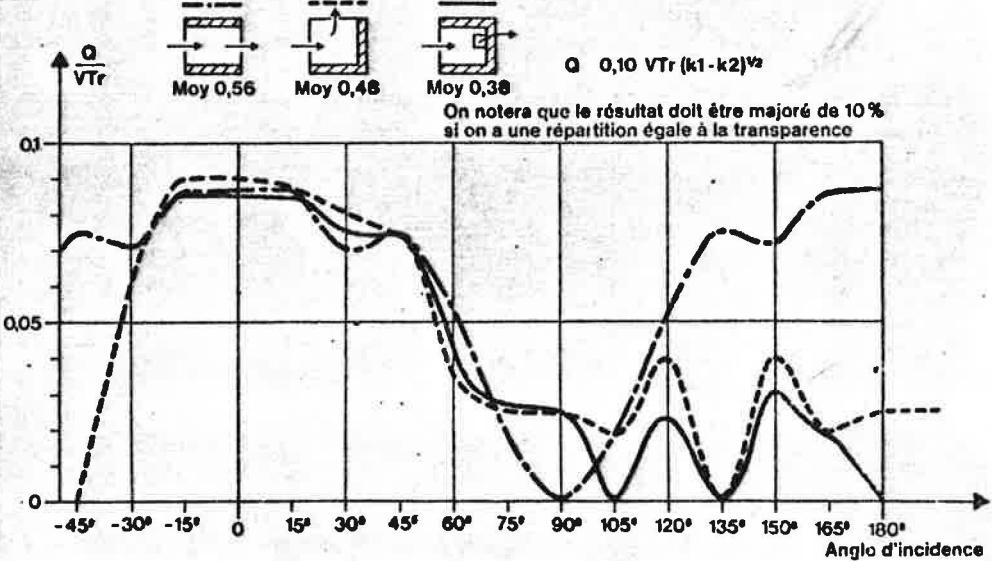


Fig. 7

Répartition de la transparence sur 2 façades  
Coefficient de débit en fonction de l'angle d'incidence



D'autre part, si on appelle  $\alpha$  un nombre compris entre 0 et 1, et qui exprime la part de la transparence de l'ouverture n° 1, on a :

$$10 = C1 (\alpha Tr)^2 \text{ et } 10 = C2 (1 - \alpha)^2 Tr^2$$

d'où on tire :

$$Q = 0,316 V Tr (k1 - k2)^{1/2} \frac{\alpha (1 - \alpha)}{\sqrt{2\alpha^2 - 2\alpha + 1}}$$

La fonction  $f(\alpha)$  est représentée par une courbe relativement plate (fig. 5).

On voit que :  $f(\alpha) = 0,35$ , lorsque les 2 ou-

vertures sont égales ( $\alpha = 0,5$ ) et que  $f(\alpha) = 0,29$ , c'est-à-dire la valeur précédente diminuée de 20 p. 100, lorsqu'une ouverture est double de l'autre, ce qui veut dire qu'en choisissant 0,32 pour répartir les incertitudes à 10 p. 100 entre ces deux cas extrêmes le débit  $Q$  s'écrirait :

$$Q = 0,1 V Tr (k1 - k2)^{1/2}$$

et couvrirait les configurations de la figure 6.

Cette formule a été appliquée sur 3 bâtiments en fonction de l'incidence des vents, donc des différents coefficients  $k$  (fig. 7).

On voit en particulier que le débit varie beaucoup avec l'incidence du vent, puisqu'il peut être égal à 0,9 V Tr ou 0, et on peut penser alors que l'orientation des ouvertures par rapport aux vents dominants donnera des résultats très différents. En réalité ce n'est pas aussi grave qu'il paraît en première analyse.

On peut déjà observer que, si les vents étaient équiprobables, l'écart entre les 2 configurations : façades parallèles (0,56) ou perpendiculaires (0,48) n'est pas grand.

Sur la figure 8 on a porté, en fonction de l'orientation, le pourcentage de chemin parcouru par le vent, à Orly, (c'est-à-dire le produit de la vitesse par le temps) ; on s'aperçoit que les écarts sont importants. Puis on a soumis à ce vent, par le calcul, un appartement à double exposition en angle, choisi car il présente une anisotropie importante.

Les résultats figurent au tableau I.

La moyenne est de 0,0506, avec des écarts généralement inférieurs à 10 p. 100 sauf quatre valeurs sur quinze qui s'éloignent de  $\pm 20$  p. 100.

On remarquera que la valeur fournie par des vents équiprobables est de 0,048.

Il n'est donc pas faux de retenir pour ce cas les résultats égaux à ceux qu'on aurait obtenus avec des vents équiprobables, en remarquant qu'on pourrait trouver des écarts de  $\pm 20$  p. 100 une fois sur quatre, mais il y a généralement des écarts de  $\pm 10$  p. 100.

#### Etude des autres cas

On peut supposer les ouvertures réparties non plus sur 2 faces, mais sur 3, 4 ou 5 faces, en supposant des équpartitions ; on utilisera dans le tableau II suivant le coefficient à appliquer sur chaque ouverture.

Les calculs s'effectuent de la même manière et les résultats sont indiqués sur la figure 9. En supposant les vents équiprobables en direction et en vitesse, on trouve les coefficients C suivants à appliquer dans la formule :

$$I = C V Tr$$

Pour obtenir le débit moyen annuel :

5 ouvertures réparties sur 5 façades : 0,06

4 ouvertures réparties sur 4 façades en double flux : 0,068

3 ouvertures réparties sur 2 façades et une toiture : 0,058

2 ouvertures réparties sur 2 façades parallèles : 0,062

2 ouvertures réparties sur 2 façades perpendiculaires : 0,053

1 ouverture répartie sur 1 façade et une toiture : 0,042

En choisissant 0,06 on recouvre généralement tous les cas à  $\pm 10$  p. 100.

Tous les ouvertures sont réparties, moins l'orientation du vent à d'importance. Mais en fait les vents équiprobables n'existent pas. C'en est-il donc en réalité ?

En titre de contrôle, les coefficients de débits théoriques sur une maison ouverte sur 2 façades et la toiture, située à Orly ont été calculés à partir des données météorologiques relatives au vent. Les résultats obtenus figurent tableau III.

La moyenne  $\bar{Q}$  est 0,06 avec un écart de  $VTr$  de  $\pm 15$  p. 100.

On peut donc conclure que la connaissance de  $Tr$  permet de prévoir avec un risque d'erreur relativement faible le débit moyen annuel qui traversera l'appartement par la formule :

$$Q = 0,06 V Tr$$

Tableau II

Nombre d'ouvertures	2	3	4	5
	$\frac{Q}{Tr} \sqrt{\Delta p}$	0,16	0,105	0,08

Tableau III

Incidence	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180
$\frac{S_2}{V T_2}$	0,059	0,066	0,07	0,054	0,06	0,054	0,051	0,052	0,059
Erreur par rapport à la moyenne	0,99	1,11	1,17	1,11	1	0,90	0,85	0,86	

Fig. 8

% Chemin parcouru par le vent dans une direction  
Chemin parcouru quelle que soit la direction A Orly sur un an

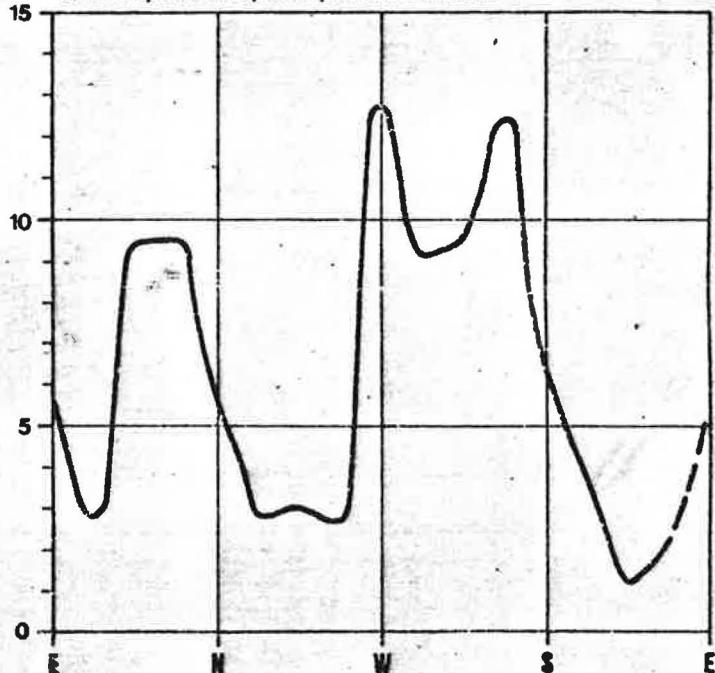
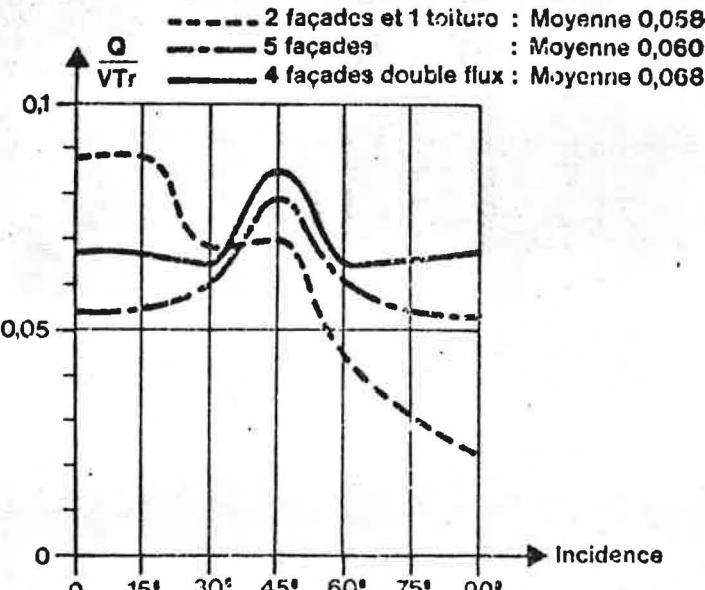


Fig. 9

Coefficient de débit en fonction de l'angle d'incidence



Si on connaît exactement la position des ouvertures par rapport aux vents dominants, on peut adopter des coefficients de correction, en minorant ou en majorant de  $\pm 20$  p. 100. Nous verrons que ces corrections, pour intéressantes qu'elles soient, sont peu de chose par rapport aux Tr que l'on trouve dans la réalité.

Il reste à déterminer V. On a porté sur la figure 10 les vitesses moyennes des vents à Orly, au Bourget et à St-Maur pour les différentes directions. Il en résulte 2 types de moyennes annuelles, selon que l'on inclut ou non les vents dont la vitesse est inférieure à 2 m/seconde. Elles sont consignées dans le tableau IV.

Tableau IV

	Moyenne générale des vents	Moyenne des vents de vitesse supérieure à 2 m/s.
Orly	3,71	4,48
Le Bourget	3,83	4,73
St-Maur	2,87	3,91

On s'aperçoit que le choix de la vitesse des vents introduit un facteur d'erreurs supplémentaires.

### L'influence du tirage thermique

Le tirage thermique est capable de développer une pression

$$\Delta p = 0,044 h \Delta T,$$

dans lequel :

h est la hauteur en mètres,

$\Delta T$  est la différence de température en °C entre l'intérieur et l'extérieur. Il crée donc des jeux de pression schématisés sur la figure 11.

Les entrées sur l'extérieur étant supposées réparties en 2 classes, on sait qu'on peut écrire :

$$Q = 0,16 Tr \sqrt{\delta p}$$

$\delta p$  étant la différence de pression effective sur chaque entrée, soit en valeur moyenne :

$$Q = 0,16 Tr \sqrt{\frac{0,044 h \Delta T}{4}} \text{ ou :}$$

$$Q = 0,017 Tr \sqrt{h \Delta T}$$

Dans le cas d'une maison d'un seul niveau

(h = 3 mètres et  $\Delta T = 15$  °C)

$$Q = 0,11 Tr$$

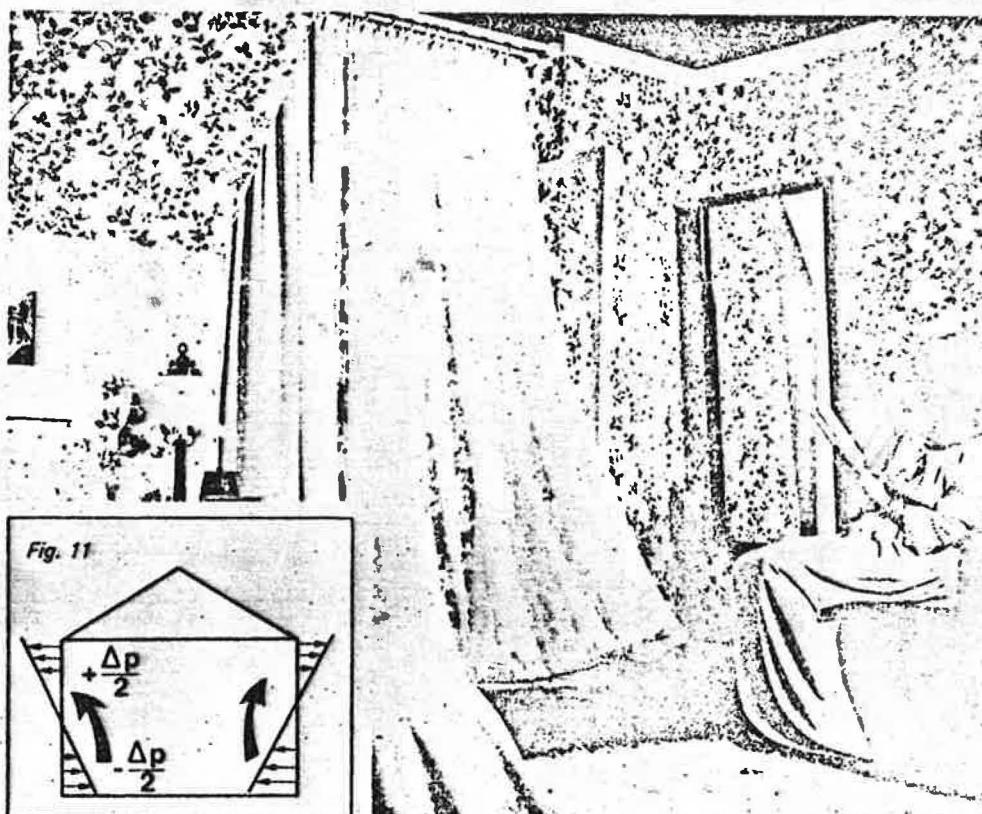
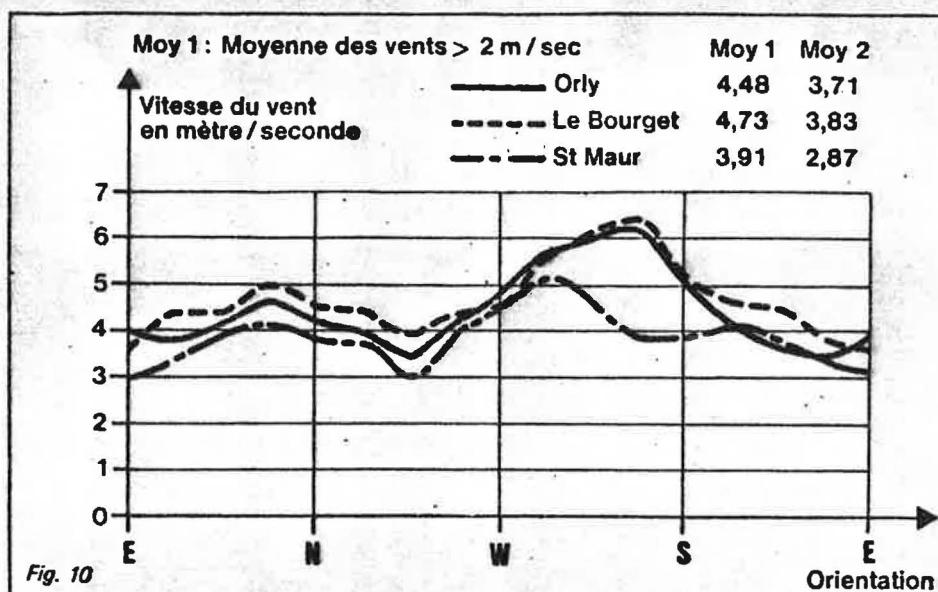
Dans le cas d'une maison de 2 niveaux :

(h = 9 mètres et  $\Delta T = 30$  °C)

$$Q = 0,28 Tr$$

### L'influence combinée du vent et du tirage thermique

Si on veut combiner l'influence du vent et du tirage thermique, les calculs sont les mêmes, mais beaucoup plus longs.



On constate que le débit dû au tirage thermique diminue lorsque le vent augmente pour croître à nouveau. Cela s'explique par le fait que la surpression due au vent compensate la surpression thermique en haut de la maison, alors qu'en même temps de l'autre côté, la dépression due au vent compensate la dépression thermique en bas de la maison.

La moitié des entrées ou sorties d'air est donc sans effet et le débit passe par un minimum qui peut atteindre 70 p. 100 dans les cas extrêmes de bonne orientation. Pour le vent moyen, qui nous intéresse, on peut considérer que cet effet est faible et on peut dire que le débit de transparence est le plus grand de :

$$Q_1 = 0,06 V Tr$$

$$Q_2 = 0,017 \sqrt{h \Delta t}$$

En remarquant que  $Q_1$  est plus grand que  $Q_2$ , lorsque le vent est supérieur à 2 m/s et  $h \Delta T$  inférieur à 50, — ce qui est obtenu sur une maison de plain-pied,  $\Delta T = 15$  °C valeur moyenne en hiver — on pourra ne retenir que :

$$Q = 0,06 V Tr$$

pour effectuer le calcul des prévisions de consommation de chauffage dues à la transparence, en choisissant la moyenne des vents dont la vitesse est supérieure à 2 m/s, soit pour la région parisienne 4,5 m/s (sachant qu'à St-Maur il faudrait prendre 3,90 et 4,75 au Bourget).

Lorsque la maison comporte 2 niveaux, faut majorer le débit de 8 p. 100 ; en effet le débit dû au tirage thermique est supérieur de 4 p. 100 au précédent, lorsque les vents sont inférieurs à 2 m/s, soit pendant 20 p. 100 du temps.

orsque la maison comporte 3 étages, il faut ajouter le débit de 12 p. 100.

sur la figure 12 les vitesses du vent sont mises en abscisses et le renouvellement vaire en fonction du taux de transparence. Il est la transparence  $Tr$  divisée par le volume habitable, est indiqué en ordonnées  $= 0,06 Vr$

on ne dispose pas de données précises sur le vent, on peut choisir  $V = 4 \text{ m/s}$ , jusqu'à ce que chaque  $\text{m}^3/\text{h}$ , qui traverse le logement consomme en moyenne  $25 \text{ kW/h}$  par an ; on peut prévoir les déperditions par transparence, qui sont :

$$E = 6 Tr$$

est évidemment possible d'affiner la prévision compte tenu de ce qui a été dit précédemment.

On remarquera que 1  $\text{cm}^2$  d'ouverture complémentaire coûte 6 kW par an.

## quelques conséquences

La ventilation naturelle est réalisée à partir de diverses ouvertures judicieusement placées, qui seront des éléments de transparence. Une ventilation naturelle est une transparence particulière. Pour atteindre un renouvellement horaire de 0,7 vol/heure, il faut que la transparence soit de 4, parfois 5 si le vent moyen est faible. Ce n'est évidemment pas suffisant, encore faut-il que la partition soit bonne entre chaque chambre et les pièces techniques.

On observera que le sens de circulation reste éatoire ; on notera aussi une grande sensibilité aux vents.

Un vent de 6 m/s entraîne 1,5 renouvellement horaire ; une absence de vent 0,5 vol/heure pour le tirage thermique moyen d'hiver.

Un indicatif, pour ventiler une chambre de 30  $\text{m}^3$ , il faut 120  $\text{m}^2$  de surface équivalente d'ouvertures, soit 60  $\text{cm}^2$  par façade. Si on sait qu'une entrée d'air autoréglable à basse pression (abusivement utilisée en ventilation naturelle) ne représente que 22 à 30  $\text{cm}^2$  de surface équivalente, on entrevoit l'origine des condensations entraînant des fissures.

Avec un taux de transparence de 4, il est intéressant de ventiler mécaniquement, les consommations d'énergie sont plus importantes qu'en ventilation naturelle ; la mise en œuvre de la ventilation mécanique n'est pas le cas de vent nul.

Avec un taux de transparence de 2,5 la ventilation mécanique devient nécessaire, le taux moyen de renouvellement est 0,4 vol/heure, par contre la protection contre les vents n'est pas très bonne ; à partir de 3 à 4 m/s on ajoute une ventilation transversale, donc une surconsommation.

Avec un taux de transparence de 1, il est nécessaire de disposer d'une bonne ventilation mécanique. La stabilité globale des biens est remarquable, il n'y a pas excès de perte par l'air jusqu'à des vents de 5 m/s ; ce qui est très rare. Toutefois, il faut noter que la surconsommation est effective à partir de 5 à 6 m/s pour les orientations méridionales, si l'habitation n'est pas équipée d'entrées d'air autoréglables.

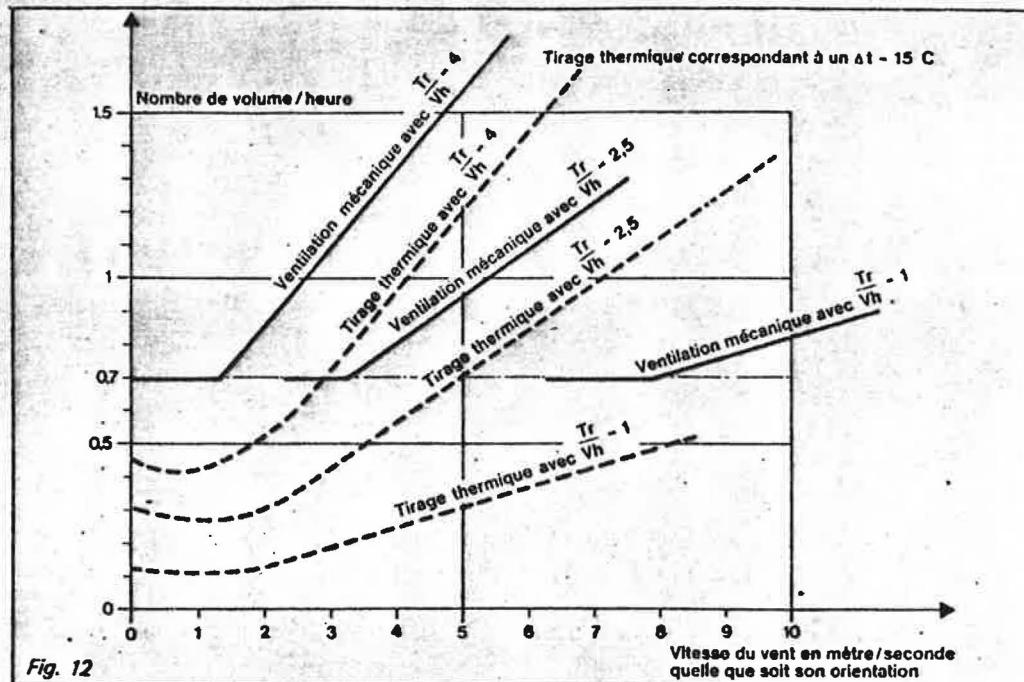


Fig. 12

● Avec un taux de transparence de 1, un appartement ou une maison de 100  $\text{m}^2$  (soit 250  $\text{m}^3$ ) l'ensemble des ouvertures sur l'extérieur doit avoir une surface équivalente de 250  $\text{cm}^2$ . On place en général 6 entrées d'air dont la surface totale est de 150  $\text{cm}^2$ . Il faut que le reste des ouvertures soit de l'ordre de 100  $\text{cm}^2$ , ce qui n'est pas difficile à atteindre avec les menuiseries modernes. Par contre une barre de seuil non en place, laissant un jeu de 15 mm à la base de la porte, représente 100  $\text{cm}^2$ . On observera qu'un tel incident, fréquent, d'une part coûte 600 kW par an et d'autre part diminue la ventilation de chaque chambre de 40 p. 100.

● Quelle est l'influence de la transparence sur les systèmes double flux ? On observera d'abord que le coefficient 0,06 devient dans ce cas 0,066 du fait de la pression moyenne qui est égale à la pression extérieure.

Un taux de transparence de 1 entraîne un débit transversal de :

$$0,066 \times V \times 250 = 66 \text{ m}^3/\text{h}$$

soit une consommation d'énergie de 1 650 kWh. Le débit ne serait pas passé avec une simple extraction, mais il faut noter que la suppression des entrées en façade permet d'atteindre une transparence de 0,5.

Avec un taux de transparence de 2,5 une extraction mécanique simple aurait consommé, avec un taux de 0,7 vol/heure, 175  $\text{m}^3/\text{h}$  moyens, soit 4 400 kWh. Avec un double flux, on aurait consommé :  $2,5 \times 0,066 \times 250 \times 4 = 4 100 \text{ kWh}$ . Il est sans intérêt d'utiliser un double flux avec récupération dans ce cas. On obtient simplement une ventilation sensiblement double.

Pour qu'un système double flux avec récupération de chaleur présente quelque intérêt, il faut que le taux de transparence soit de l'ordre de 0,5. Ce qui est rarement le cas.

● Lors des mesures que nous avons pratiquées, on a trouvé des taux de transparence de 5 en ventilation mécanique avec des surconsommations d'énergie très importantes.

A l'inverse, on a trouvé des taux de transparence de 1 en ventilation naturelle, ce qui est une aberration. Même en ouvrant les fenêtres pendant le jour, ce qui accroît les déperditions, des désordres surviennent rapidement par manque de renouvellement d'air.

● Les facteurs importants en transparence sont :

les cheminées à feu ouvert non fermé ; le passage entre extérieur et intérieur par l'isolant et la plinthe (très important) ; les coffres de volets roulants ; les portes de garage vers le logement ou les portes sur sous-sol ; les portes extérieures ; le jeu entre bâti et dormant des menuiseries ; les communications avec le vide-sanitaire autour des canalisations d'eau, câbles électriques, etc. ;

les menuiseries sont généralement très bonnes, elles sont souvent de type A3, c'est-à-dire qu'elles laissent passer 1  $\text{m}^3/\text{h}$  sous 10 pascals. Elles sont équivalentes à 1  $\text{cm}^2$ , alors qu'une menuiserie de type A1, utilisée auparavant, laissait passer 10 fois plus (entre 4,3 et 13  $\text{m}^3/\text{h}$ ).

Il est facile de mesurer la transparence à l'air d'une maison ou d'un appartement. Le résultat de cette mesure permet d'expliquer très simplement des défauts et mettre en évidence des désordres qui ne doivent pas être imputés à la ventilation, mais qui, au contraire, en perturbent le bon fonctionnement.

Lorsque les bilans de consommation ne sont pas conformes aux prévisions, lorsqu'il y a des condensations, lorsqu'on veut expérimenter des systèmes nouveaux tels que pompes à chaleur, chauffage solaire, récupération par échangeur, surisolation, il paraît nécessaire de procéder à une mesure de transparence, qui pourra mettre en évidence a priori les distorsions si les résultats, ou qui permettra en prenant des mesures appropriées de remédier aux désordres avant la campagne de mesures.

Pierre J.  
Ingénierie