

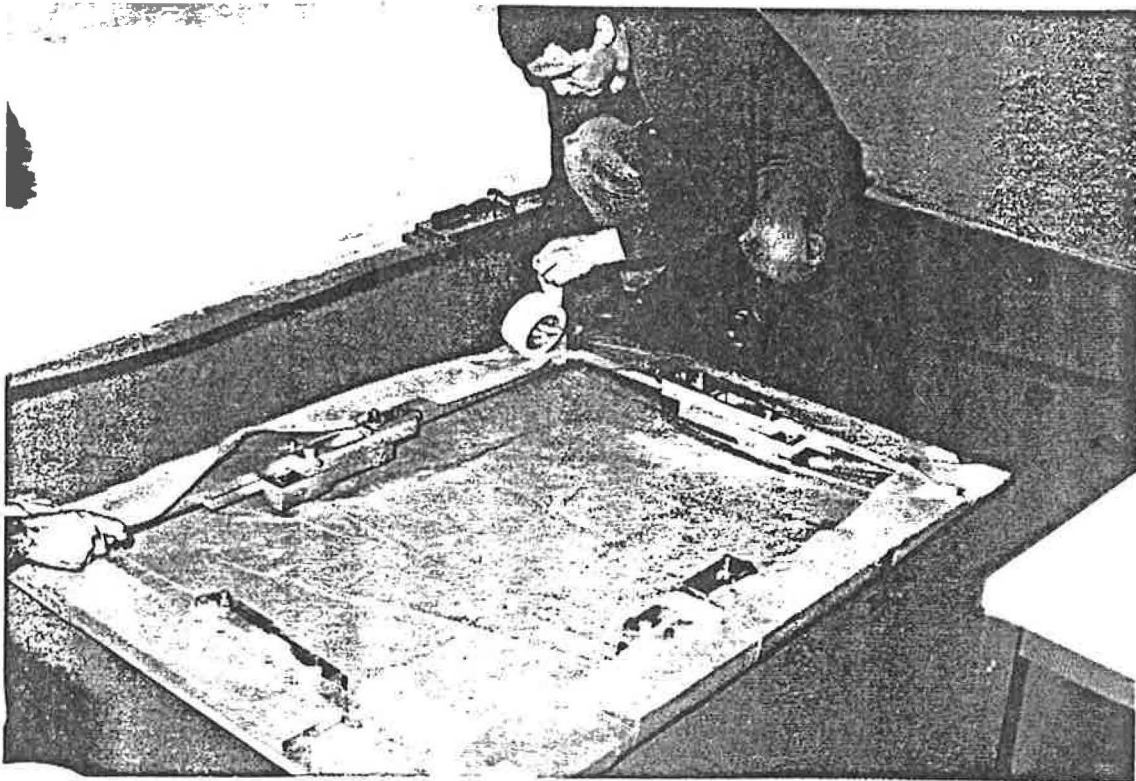


LABORATOIRE SCIENCES DE L'HABITAT

Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat
rue Maurice Audin 69518 Vaulx en Velin Cedex Tél : 72.04.70.70

MESURE DE PERMEABILITE A L'AIR

Mise au point d'un banc de mesure in situ
pour les équipements du bâtiment



**Bernard FLEURY
Agnès GADILHE
Abdelkader BENAYACHI**

JUILLET 1990

Rapport d'avancement à la convention

A.F.M.E. n° 9.04.0071

TITRE Mesure de perméabilité à l'air

FINANCEMENT Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie

REFERENCE

CONTRACTANT Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées
8, rue Bernard Pélissy
63100 CLERMONT-FERRAND

Association FORMEQUIP ENTPE
Rue Maurice Audin
69518 VAULX EN VELIN CEDEX

EXECUTION Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées
Laboratoire des Sciences de l'Habitat (LASH)

ACCESSIBILITE Non Restreinte

07/06/90

Bernard FLEURY, Agnès GADILHE, Abdelkader BENAYACHI, Responsables du projet (DATE)
Jean-Pierre CHAZELAS, Yves LACELLE, Responsables du projet

07/06/90

Gérard GUARRACINO, Responsable du Laboratoire LASH

(DATE)

AVERTISSEMENT

Les opinions et analyses contenues dans ce rapport n'engagent que les auteurs et en aucune manière les organismes concernés.

SOMMAIRE

	Page
I INTRODUCTION	4
II PROCEDURE EXPERIMENTALE	4
III METHODOLOGIE EXPERIMENTALE	4
IV STRATEGIE DES ESSAIS	6
. Calcul du débit de fuite	6
. Procédé de mesure	7
. Dimension de la zone d'homogénéisation	7
. Position du point de soufflage	7
. Position de la prise de pression	7
. Etude du confinement	7
V RESULTATS DES ESSAIS	8
. Calcul du débit de fuite	8
. Procédé de mesure	8
. Dimension de la zone d'homogénéisation	8
. Position du point de soufflage et de la prise de pression	9
. Etude du confinement	9
VI CONCLUSION	11
ANNEXE : ANALYSE D'ERREUR	12
A1 Calcul d'erreur pour deux couples de mesures	12
A2 Intervalle de confiance pour une serie de mesures	15
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	17

I INTRODUCTION

Ce rapport d'avancement a pour objet la mise au point du prototype 02, dispositif expérimental permettant la détermination de la perméabilité à l'air d'un élément. Il renvoie pour une description détaillée de l'évolution du matériel et les choix arrêtés au rapport intermédiaire rédigé par me L.R.P.C.* de Clermont-Ferrand. L'influence de divers paramètres de la mise en oeuvre de ce dispositif est ici étudiée :

- Débit de fuite du prototype
- Débits croissants ou décroissants
- Zone d'homogénéisation
- Position du point de soufflage
- Confinement

Les objectifs sont la formulation de recommandations pour la mise en oeuvre sur site de ce type d'essais et l'amélioration du prototype.

II PROCEDURE EXPERIMENTALE

Le principe de la mesure de perméabilité à l'air retenu ici est classique : il s'agit de mesurer le débit traversant l'élément à tester pour plusieurs différences de pression imposées. Pour maintenir une différence de pression de part et d'autre de l'élément, un caisson étanche est utilisé.

L'originalité consiste à obturer l'encadrement de la fenêtre par un film polyane. Un cadre aux dimensions variables ajustables à celles de l'encadrement permet la réalisation de l'étanchéité du caisson.

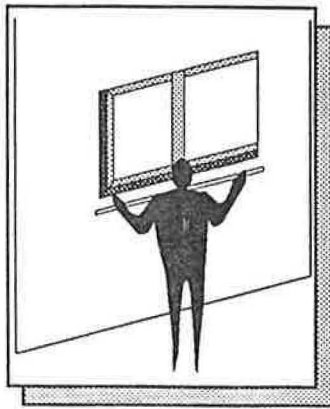
III METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

La détermination de la perméabilité à l'air d'un élément à l'aide du dispositif peut se décomposer selon les étapes suivantes :

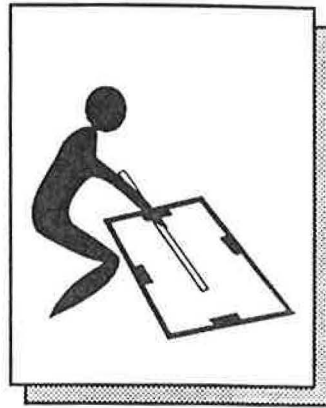
A Réalisation du caisson étanche

- 1 mesure des dimensions de l'encadrement de la fenêtre
- 2 réglage grossier du cadre
- 3 découpe du film plastique
- 4 mise en place des platines pour la prise de pression et le ventilateur
- 5 pose du film sur le cadre
- 6 pose du joint plat sur le pourtour du cadre
- 7 mise en place du cadre dans l'encadrement
- 8 ajustement du cadre
- 9 raccordement au caisson de mesure-ventilateur
- 10 injection de fumée - repérage d'éventuelles fuites
- 11 colmatage des fuites détectées

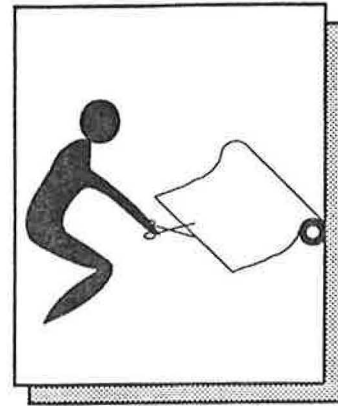
* L.R.P.C. Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées



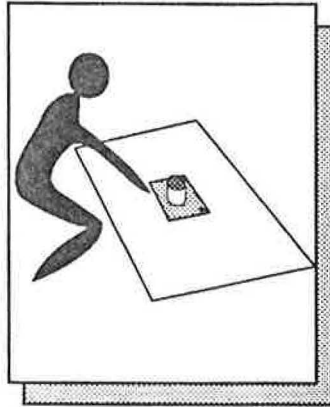
1 Mesure des dimensions



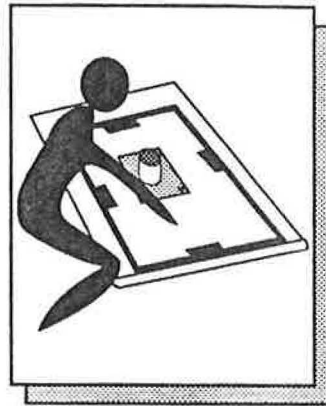
2 Réglage grossier du cadre



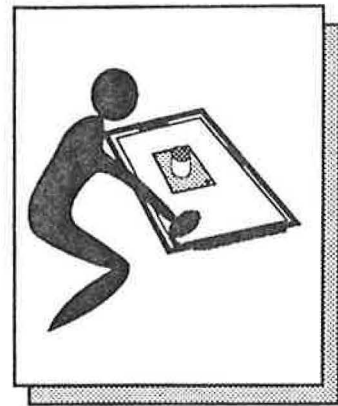
3 Découpe du film plastique



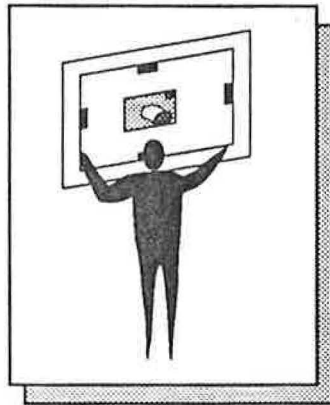
4 Mise en place de la platine



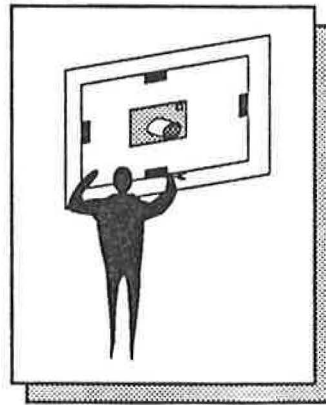
5 Pose du film plastique sur le cadre



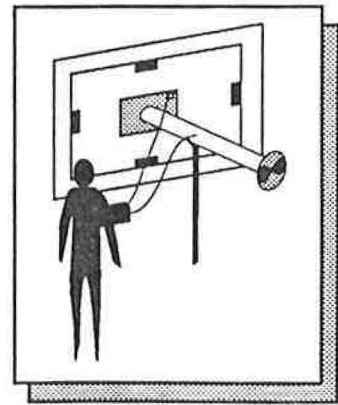
6 Pose du joint plat autour du cadre



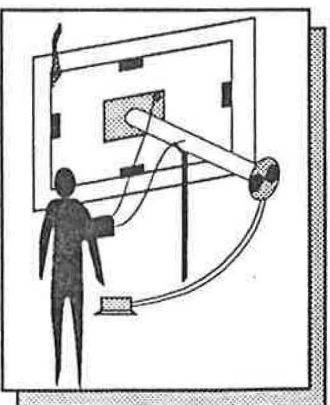
7 Mise en place du cadre



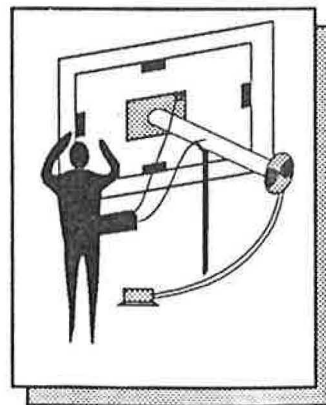
8 Ajustement du cadre



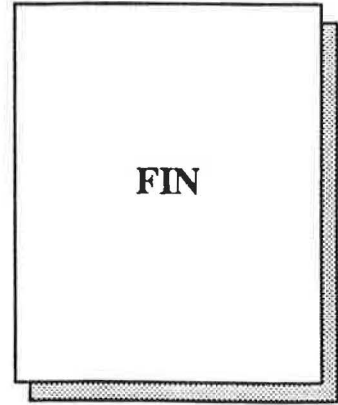
9 Raccordement au caisson de mesure



10 Injection de fumée



11 Colmatage des fuites



FIN

MISE EN PLACE DU PROTOTYPE

B Procédure expérimentale

- 1 ouverture et fermeture de la fenêtre
- 2 montée en pression
- 3 mesure en pression croissante des couples débit - pression
- 4 mesure en pression décroissante des couples débit - pression
- 5 trois mesures aléatoires
- 6 colmatage d'un élément pour identifier sa contribution
- 7 répétition de la procédure expérimentale

C Détermination de la perméabilité

Le temps nécessaire au montage du dispositif est de 25mm pour deux personnes ; la durée de la phase mesure-exploitation dépend du nombre de points souhaités, 25mm pour une dizaine de points pour une personne.

IV STRATEGIE DES ESSAIS

Les essais relatés ont eu lieu en laboratoire dans un encadrement de fenêtre séparant deux salles. Du côté de la première salle a été montée le prototype et la chaîne de mesure du laboratoire constituée d'un débitmètre CETIAT à hélices et d'un micromanomètre Furness FC012. Dans la seconde salle d'essai nous avons successivement placé une plaque percée de plusieurs fentes et une fenêtre à deux vantaux.

Calcul du débit de fuite

L'objet de ces essais est de qualifier l'étanchéité du caisson réalisé avec le prototype. La mesure du débit de fuite est une mesure déductive, car celles-ci étant très faibles, elles ne peuvent être mesurées si l'ouverture pratiquée dans le mur séparant les deux salles est obturée. Nous avons donc obturée l'ouverture au moyen d'une plaque dans laquelle sont pratiquées deux fentes.

Le débit de fuite peut être évalué grâce au test des configurations suivantes :

- fente 1 ($Q_1, \Delta P$)
- fente 2 ($Q_2, \Delta P$)
- fentes 1 et 2 ($Q_{1\&2}, \Delta P$)

$$Q_{\text{fuite}} = Q_{1\&2} - Q_1 - Q_2 \text{ pour une différence de pression fixée}$$

Remarquons que le débit de fuite ainsi déterminé est la somme des fuites liées à la réalisation du caisson étanche et des fuites pouvant éventuellement existées à la liaison entre la plaque fixée dans l'ouverture et le mur.

L'ensemble des essais suivants concernent une fenêtre de classe A3 sans bouche de ventilation.

Procédé de mesure

Pour effectuer une série de mesures, nous pouvons choisir de travailler soit en augmentant le débit soufflé par le ventilateur soit en le diminuant soit en prenant des débits d'une façon aléatoire. Nous nous proposons de voir l'incidence de ces trois stratégies sur la mesure de la perméabilité.

Dimension de la zone d'homogénéisation

La position du cadre et du film plastique par rapport à la fenêtre peut varier entraînant une zone d'homogénéisation plus ou moins grande. Nous avons étudié l'influence de la dimension de cette zone en retenant trois positions du cadre pour une fenêtre placée au nu extérieur :

- nu extérieur soit 35 cm de la fenêtre
- 22 cm de la fenêtre
- 4.5 cm de la fenêtre

Position du point de soufflage

Un défaut d'étanchéité à l'air important a été réalisé d'un côté de la fenêtre alors que la liaison entre la fenêtre et le bâti de l'autre côté est de bonne qualité. Pour cette configuration, nous avons étudié l'influence du point de soufflage, situé tout d'abord du côté du défaut important puis situé de l'autre côté.

Position de la prise de pression

Quatre prises de pression ont été placées dans le caisson afin de vérifier l'homogénéité du champ de pression à l'intérieur du caisson en présence d'un défaut d'étanchéité à l'air localisé.

Etude du confinement

Pour étudier l'impact du confinement lors de l'essai, nous avons successivement fermé les portes de chacune des salles puis fermé les deux portes. Les portes sont très étanches, munies de joints. La différence de pression entre le caisson et chacune des salles a été mesurée. Lors de cet essai, une plaque comportant une fente a été placée dans l'ouverture séparant les deux pièces.

V RESULTATS DES ESSAIS

Calcul du débit de fuite

Fixer a priori la différence de pression à laquelle la mesure du débit est faite étant délicat, onze couples (débit, pression) ont été mesurés pour les trois configurations, entre 0 et 100 Pa. Ceci permet le calcul, par régression aux moindres carrés du coefficient de perméabilité, k et de l'exposant de la loi rendant compte du comportement aéraulique de chaque configuration (Figure 1). Nous pouvons dé-

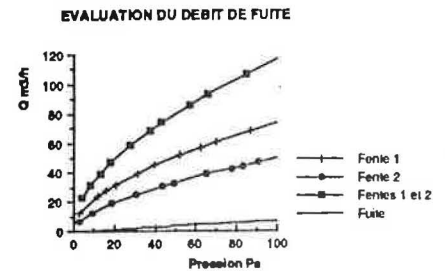


Figure 1 : Etude de fentes

duire de ces lois la valeur du débit de fuite à différentes dépressions. A 10 Pa il vaut $0.21 \text{ m}^3/\text{h}$, à 50 Pa $3.76 \text{ m}^3/\text{h}$ et à 100 Pa $6.94 \text{ m}^3/\text{h}$. Ce débit étant la somme des fuites du dispositif et des fuites existant entre la plaque et le mur, nous pouvons conclure que l'étanchéité du dispositif est satisfaisante.

Procédé de mesure

Nous constatons (Tableau 1) que, quelle que soit la position du dispositif expérimental par rapport à la fenêtre, la valeur du débit traversant la fenêtre à 50 Pa est plus faible lorsque l'essai est effectué en débit croissant que lorsqu'il est effectué en débit décroissant. Trois points pris de façon aléatoire conduisent à une valeur intermédiaire. Il semble donc que l'inertie du débitmètre conduise à sous-estimation du débit lorsque celui-ci augmente, et à sa surestimation lorsqu'il diminue. Les différences sont toutefois faibles puisqu'elles sont de l'ordre de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ pour un débit sous 50 Pa variant de 80 à 95 m^3/h . Il conviendrait de refaire ces tests avec un débitmètre à fil chaud permettant de s'affranchir de l'hystérésis du débitmètre.

D. à fenêtre	Procédé	K'	n	Q'' à 50 Pa
35 cm	croissant	4.06	0.763	80
	décroissant	5.24	0.714	86
	Aléatoire	4.66	0.741	85
22 cm	croissant	4.43	0.747	82
	décroissant	6.12	0.685	89
	aléatoire	5.21	0.724	88
4.5 cm	croissant	5.43	0.717	90
	décroissant	6.54	0.682	94
	aléatoire	5.99	0.700	93

$' \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa

$'' \text{ m}^3/\text{h}$

Tableau 1 : Influence du montage et du procédé sur la perméabilité

Dimension de la zone d'homogénéisation

La profondeur de la zone d'homogénéisation ménagée entre le plan de soufflage et le plan de la fenêtre a une influence sur la valeur de la perméabilité à l'air de la fenêtre. Plus le point de soufflage est proche de la fenêtre est plus la perméabilité à l'air déterminée est grande (Tableau 2). Cependant, la variation entraînée par le passage d'une profondeur de 35 cm à 22 cm est faible, 2 à 3 m³/h à 50 Pa. Remarquons que quelle que soit la position du film plastique par rapport à la fenêtre, la profondeur du caisson est toujours d'au moins 10 cm : du fait de la surpression créée à l'intérieur du caisson le film plastique est gonflé vers l'extérieur du caisson.

Position du point de soufflage et de la prise de pression

La pression à l'intérieur du caisson est homogène quelle que soit la position du point de soufflage par rapport au défaut localisé de la fenêtre (Tableau 2).

Soufflage	Pression	K'	n	Q'' à 50 Pa
Gauche	haut - gauche	7.24	0.574	68
	haut - droit	7.27	0.573	68
	bas - gauche	7.38	0.571	69
	bas - droit	7.31	0.572	68
Droit	haut - gauche	7.32	0.569	68
	haut - droit	7.25	0.570	67
	bas - gauche	7.32	0.568	68
	bas - droit	8.20	0.543	69

m³/h sous 1 Pa

m³/h

Tableau 2 : Influence de la position du point de soufflage et de la prise de pression sur la perméabilité

Confinement

Le dispositif utilisé pour l'étude du confinement est schématisé par la figure 2. L'air extrait de la pièce 1 est soufflé dans la pièce 2. Pour chaque configuration d'ouverture des deux portes, nous avons mesuré la différence de pression existant entre le caisson et les pièces 1 et 2.

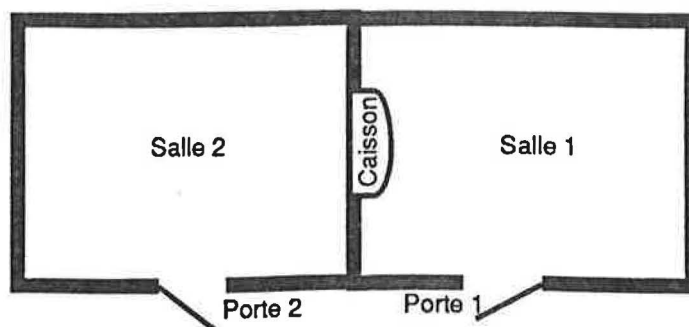


Figure 2 : Schéma de la configuration d'essai

Nous remarquons que lorsqu'une des portes au moins est fermée les pressions régnant dans les deux pièces ne sont pas identiques (figure 3) : pour un débit donné traversant l'élément testé, la différence de pression mesurée entre le caisson et la salle 1 est supérieure à celle existant de part et d'autre de l'élément (salle 2 et caisson). Lorsque la porte de la salle 1 est fermée, la pression dans cette pièce diminue puisque de l'air est extrait de cette pièce, alors que les autres pressions sont constantes. Le phénomène est inverse lorsque la porte de la salle 2 est fermée : la pression augmente dans la pièce où l'air est soufflé. Lorsque les deux portes sont fermées, les deux phénomènes ont lieu simultanément. Il est donc impératif de mesurer la différence de pression de part et d'autre de l'élément à caractériser et non de part et d'autre du film plastique lorsque la pression des locaux où l'air est extrait et soufflé est différente.

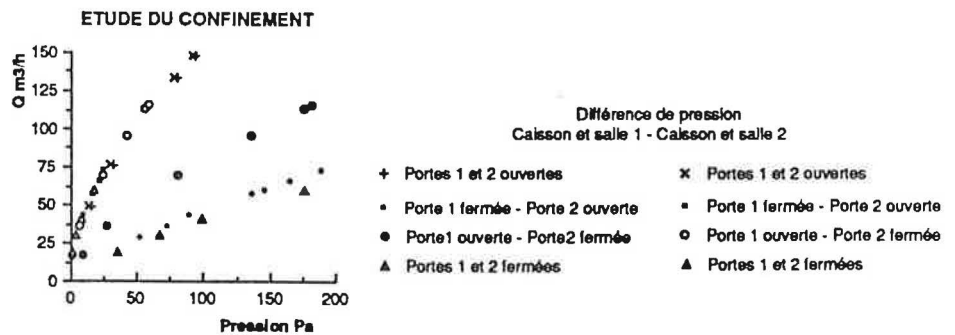


Figure 3 : Influence du confinement

Nous notons que la différence de pression maximale imposée de part et d'autre de l'élément testé dépend de l'ouverture des portes (Tableau 3) : ceci n'a pas eu d'incidence sur la valeur du débit à 50 Pa pour la fente caractérisée ici. Il est cependant préférable de balayer une gamme de pression la plus large possible, incluant la valeur de 50 Pa.

Porte 1	Porte 2	ΔP	K'	n	Q^* à 50 Pa	P max
O	O	1	8.96	0.617	100	93
O	O	2	9.72	0.600	102	92
O	F	1	1.61	0.726	28	190
O	F	2	12.51	0.544	105	25
F	O	1	4.23	0.635	51	182
F	O	2	11.40	0.567	105	59
F	F	1	1.47	0.718	24	176
F	F	2	13.97	0.507	102	18

* m^3/h sous 1 Pa

** m^3/h

Tableau 3 : Influence du confinement sur la perméabilité à l'air

VI CONCLUSION

Pour conduire un essai avec le dispositif expérimental développé, il convient de ne pas placer le cadre à proximité de la fenêtre, la perméabilité à l'air serait alors surestimée. Par ailleurs, la porte du local dans laquelle se trouve l'élément à caractériser et/ou une fenêtre doivent être ouvertes quelle que soit la position du dispositif, intérieur du logement ou extérieur, afin que la pression intérieure soit égale à la pression extérieure. S'il n'est pas possible de réaliser une communication entre la zone où l'air est extrait et celle où il est soufflé, un essai peut cependant être réalisé en mesurant la différence de pression de part et d'autre de l'élément.

Le procédé de mesure, la position du point de soufflage et la position de la prise de pression n'ont aucune influence notable sur la valeur de la perméabilité à l'air.

Pour l'amélioration du prototype, nous formulons les remarques suivantes :

- Protection des vis servant au blocage du cadre afin que, lors de la mise en pression, le plastique ne soit pas déchiré.
- Le joint placé sur le poutour du cadre qui, lors de son écrasement, doit assurer l'étanchéité du caisson n'est pas adapté pour les angles. Un joint complémentaire est nécessaire pour éviter le recours au silicone qui ne sera pas toujours possible sur site (risque de détérioration des revêtements muraux).

ANNEXE : ANALYSE D'ERREUR

Les essais de perméabilité à l'air sont habituellement représentés par une loi puissance :

$$Q = K \Delta P^n$$

La détermination des coefficients K et n de cette loi est généralement obtenue par un calcul de régression aux moindres carrés sur un ensemble de points expérimentaux de mesures. Cependant la connaissance de deux couples (Q, ΔP) suffit à déterminer K et n.

A1 Calcul d'erreur pour deux couples de mesures

Si chaque composant testé suit parfaitement une loi de ce type, deux points de mesure sont suffisants pour calculer le coefficient de perméabilité et l'exposant de la loi :

$$n = \frac{\text{Ln}\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)}{\text{Ln}\left(\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2}\right)}$$

$$K = Q_1 \Delta P_1^{-n} = Q_2 \Delta P_2^{-n}$$

Nous pouvons alors mener un calcul d'erreur et exprimer les écarts types des grandeurs calculées, S(n), S(K), S(Q), en fonction de la précision des mesures réalisées [1] :

$$S^2(n) = \frac{[S(Q_1)/Q_1]^2 + [S(Q_2)/Q_2]^2 + n^2 \{ [S(\Delta P_1)/\Delta P_1]^2 + [S(\Delta P_2)/\Delta P_2]^2 \}}{\text{Ln}\left(\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2}\right)}$$

$$S^2(K) = K^2 \left\{ [S(Q_1)/Q_1]^2 + [n S(\Delta P_1)/\Delta P_1]^2 + (\text{Ln } \Delta P_1)^2 S(n)^2 \right\}$$

ou

$$S^2(K) = K^2 \left\{ [S(Q_2)/Q_2]^2 + [n S(\Delta P_2)/\Delta P_2]^2 + (\text{Ln } \Delta P_2)^2 S(n)^2 \right\}$$

$$S^2(Q) = Q^2 \left\{ [S(K)/K]^2 + [n S(\Delta P_2)/\Delta P_2]^2 + (\text{Ln } \Delta P_2)^2 S(n)^2 \right\}$$

Etudions maintenant la pertinence de la loi obtenue pour différents couples de mesures et type d'instruments. Nous considérons qu'un point de mesure a été réalisé à 50 Pa. Dans un premier temps nous avons à notre disposition un débitmètre dont la précision de la mesure est de 5 m³/h et un capteur de pression différentiel à 5 Pa. Dans un second temps la précision du débitmètre est de 1 m³/h et celle du capteur de pression de 1 Pa.

Pour ces deux types d'instrumentation, nous analysons l'évolution de l'erreur sur les coefficients de la loi de perméabilité en fonction de la différence de pression choisie pour le second point de mesure pour les quatre lois de perméabilité suivantes :

$Q = 10 \Delta P^{0.5}$	$Q_{50} = 70,7 \text{ m}^3/\text{h}$
$Q = 1 \Delta P^{0.5}$	$Q_{50} = 7,07 \text{ m}^3/\text{h}$
$Q = 10 \Delta P^1$	$Q_{50} = 500 \text{ m}^3/\text{h}$
$Q = 1 \Delta P^1$	$Q_{50} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$

Les figures A1 et A2 démontrent le danger de l'utilisation aveugle d'un appareillage quelle que soit l'expérience, les erreurs induites pouvant aller jusqu'à des facteurs multiplicateurs supérieurs à 1. Suivant les résultats à deux différences de pression, nous pouvons déduire la pertinence de l'appareillage pour poursuivre ou non l'expérimentation.

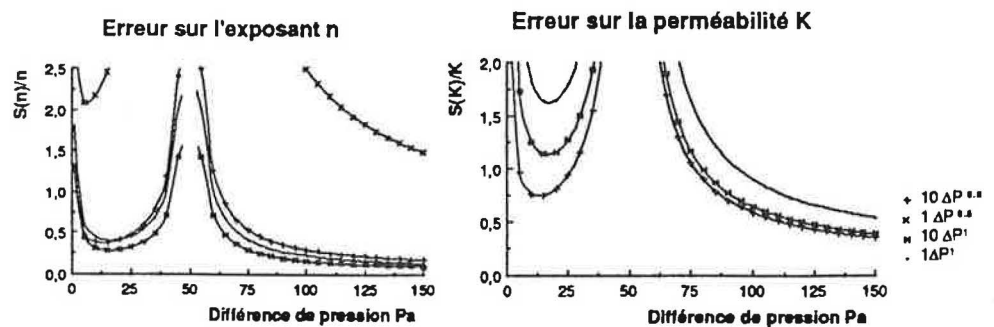


Figure A1 : Evolution des erreurs sur les coefficients de la loi de perméabilité pour des incertitudes sur la mesure du débit de 5 m³/h et sur la mesure de la pression de 5 Pa

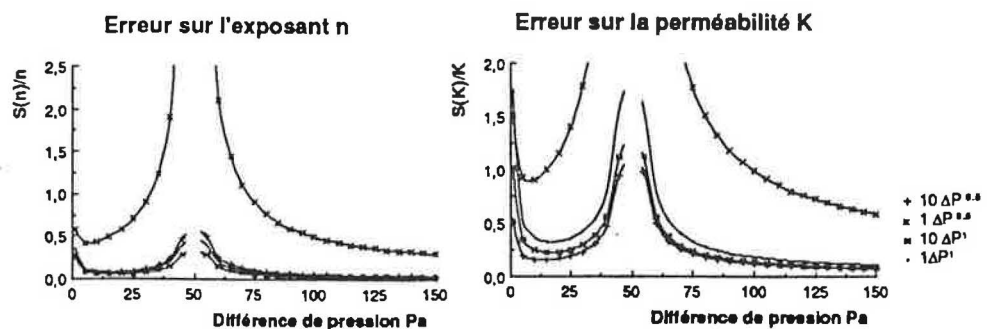


Figure A2 : Evolution des erreurs sur les coefficients de la loi de perméabilité pour des incertitudes sur la mesure du débit de 1 m³/h et sur la mesure de la pression de 1 Pa

Pour les essais réalisés avec la fenêtre, nous avons calculé les erreurs concernant les valeurs de K, n et Q_{50} à partir des deux points de mesures extrêmes.

Nous avons retenu comme hypothèse que l'écart type concernant la mesure du débit est de 1 m³/h et que celui concernant la mesure de la pression est de 0.5 Pa.

Nous obtenons une erreur de l'ordre de 2.5% à 4.5% pour la valeur de l'exposant. L'erreur est de l'ordre de 4.5% à 7.5% pour la valeur de la perméabilité lorsque le calcul est effectué à partir des valeurs maximales. L'erreur concernant la détermination du débit traversant le composant sous 50 Pa est de l'ordre de 7% à 12% dans les mêmes conditions de calcul, soit 5 à 9 m³/h (Tableau A1)

Nous remarquons que plus la valeur minimale atteinte est faible plus les erreurs concernant de la perméabilité à l'air sont grandes. Si deux essais seulement sont réalisés pour connaître la perméabilité à l'air d'un composant, il convient de ne pas atteindre des pressions trop faibles, c'est à dire inférieures à 15 Pa.

D. fenêtre	Procédé	P1 Pa	P2 Pa	Q ₁ m ³ /h	Q ₂ m ³ /h	K m ³ /h	n	S(n)/n ¹	S(K)/K ¹	S(Q ₅₀)/Q ₅₀ ¹		
35 cm	croissant	8,3	158,4	19,9	190,5	3,93	0,766	3,0	8,4*	6,8**	12,4*	11,3**
35 cm	décroissant	8,0	156,4	21,3	189,1	4,63	0,734	3,0	8,0	6,5	11,8	10,9
22 cm	croissant	11,7	164,9	27,1	198,1	4,26	0,752	2,5	6,7	5,6	9,9	9,2
22 cm	décroissant	12,5	163,9	33,1	199,1	5,69	0,697	2,3	5,8	5,0	8,6	8,1
4.5 cm	croissant	10,3	153,6	30,5	199,5	6,03	0,695	2,5	6,2	5,3	9,3	8,7
4.5 cm	décroissant	12,1	150,7	31,9	195,5	5,31	0,719	2,4	6,1	5,3	9,1	8,6
Soufflage	Pression											
Gauche	haut - gauche	19,9	167,6	40,7	136,9	7,42	0,569	2,4	5,0*	4,4**	7,4*	7,0**
Gauche	haut - droit	17,2	169,9	37,6	137,9	7,49	0,567	2,5	5,1	4,4	7,5	7,1
Gauche	bas - gauche	15,0	171,7	35,3	139,6	7,66	0,564	2,5	5,1	4,4	7,6	7,1
Gauche	bas - droit	16,8	170,7	37,2	138,6	7,51	0,567	2,5	5,1	4,4	7,5	7,0
Droit	haut - gauche	14,8	163,7	34,6	133,5	7,61	0,562	2,6	5,3	4,5	7,8	7,3
Droit	haut - droit	17,0	163,2	37,2	133,4	7,50	0,565	2,5	5,2	4,5	7,7	7,2
Droit	bas - gauche	15,8	166,3	36,0	134,9	7,65	0,561	2,6	5,2	4,4	7,6	7,2
Droit	bas - droit	3,9	162,7	18,0	132,8	8,68	0,536	4,4	9,4	7,6	13,2	12,0

¹ en pourcentage

* Calcul avec les valeurs minimales

** Calcul avec les valeurs maximales

Tableau A1 : Calcul d'erreur à partir des couples de mesures extrêmes

A2 Intervalle de confiance pour une série de mesures

Si maintenant nous adoptons un calcul des coefficients de la loi puissance par régression aux moindres carrés, nous pouvons calculer les intervalles de confiance concernant le coefficient de perméabilité, l'exposant et la valeur du débit à 50 Pa en supposant une loi de Student.

De façon courante, le calcul de régression aux moindres carrés est effectué en considérant que les valeurs de la différence de pression, valeurs des abscisses, sont exactement connues. Or, dans notre cas, elles sont mesurées. Nous nous proposons donc de calculer la pente de la droite en minimisant la somme des vraies distances des points à la droite, c'est à dire la distance orthogonale à la droite.

Notons $(Q_i, \Delta P_i)$ les couples de mesures et calculons les quantités suivantes afin de déterminer les deux droites de régression :

$$y_i = \text{Ln } Q_i$$

$$x_i = \text{Ln } \Delta P_i$$

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2$$

$$S_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x)(y_i - y)$$

$$n = \frac{S_{xy}}{S_x^2}$$

$$n_{\perp} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \left(\frac{S_y^2 - S_x^2}{2S_{xy}} \pm \sqrt{\frac{S_y^2 - S_x^2}{2S_{xy}} + 1} \right)$$

$$K = \exp(y - nx)$$

Les valeurs de K et de n calculées par ces deux méthodes sont reportées dans le tableau A2. Nous constatons que les valeurs obtenues sont voisines lorsque la pente de la droite, c'est à dire l'exposant, est proche de 0.5.

Les intervalles de confiance à 0.95% trouvés pour la valeur du débit traversant le composant sous 50 Pa sont larges, de l'ordre de 10 m³/h à 20 m³/h selon la valeur de la perméabilité (Tableau A3). L'augmentation du nombre de points de mesures ne permet pas de les réduire de façon notable.

D. fenêtre	Procédé	K1	K2	n1	n2	Q ₅₀ 1	Q ₅₀ 2
35 cm	croissant	4,06	4,08	0,763	0,761	80	80
35 cm	décroissant	5,24	4,90	0,714	0,729	86	85
22 cm	croissant	4,43	4,45	0,747	0,746	82	82
22 cm	décroissant	6,12	5,90	0,685	0,693	89	89
4.5 cm	croissant	5,43	5,46	0,717	0,716	90	90
4.5	décroissant	6,54	6,28	0,682	0,691	94	94
Soufflage	Pression						
Gauche	haut - gauche	7,24	7,25	0,574	0,574	68	68
Gauche	haut - droit	7,27	7,27	0,573	0,573	68	68
Gauche	bas - gauche	7,38	7,37	0,571	0,571	69	69
Gauche	bas - droit	7,31	7,31	0,572	0,572	68	69
Droit	haut - gauche	7,32	7,30	0,569	0,569	68	69
Droit	haut - droit	7,25	7,29	0,570	0,571	67	68
Droit	bas - gauche	7,32	7,22	0,568	0,569	68	67
Droit	bas - droit	8,20	8,16	0,543	0,545	69	69

Tableau A2 : Perméabilité et exposant pour les régressions classique (1) et orthogonale (2)

D. fenêtre	Procédé	Q ⁻	Q ⁺	Δ
35 cm	croissant	71,9	89,6	17,7
35 cm	décroissant	72,9	99,0	26,1
22 cm	croissant	74,8	90,8	16,0
22 cm	décroissant	81,7	96,5	14,8
4.5 cm	croissant	83,8	96,0	12,2
4.5	décroissant	84,4	104,0	19,6
Soufflage	Pression			
Gauche	haut - gauche	66,5	70,5	4,0
Gauche	haut - droit	65,7	71,3	5,6
Gauche	bas - gauche	65,0	73,1	8,1
Gauche	bas - droit	65,9	71,4	5,5
Droit	haut - gauche	63,0	72,7	9,7
Droit	haut - droit	63,0	72,3	9,3
Droit	bas - gauche	62,4	73,3	10,9
Droit	bas - droit	56,4	83,8	27,4

Tableau A3 : Intervalle de confiance à 0,95% pour le débit sous 50 Pa

L'évolution de l'intervalle de confiance à 0.95% pour le débit est représentée en fonction de la différence de pression choisie par la figure A1 pour les deux montages de la fenêtre. Notons que plus l'exposant de la loi de perméabilité est grand, plus l'intervalle de confiance est large.

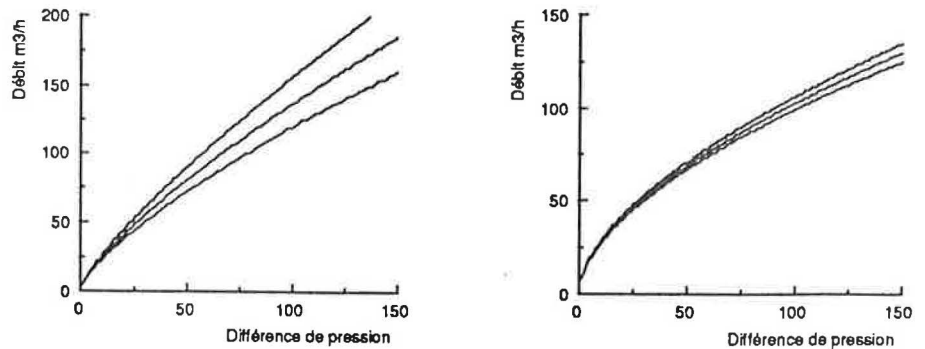


Figure A1 : Intervalle de confiance à 0.95% en fonction de la différence de pression

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] IEA-ECB Annex 20 : Air leakage measurements methods - Air flow rate and air tightness measurement techniques - An application guide.