

#5884

MISE AU POINT DE PROCÉDÉS ET
DE MÉTHODES D'ESSAI VISANT
L'ÉVALUATION DE MEMBRANES PARE-AIR
POUR MURS EN MAÇONNERIE

Also available in English under the title:

The Development of Test Procedures and Methods
to Evaluate Air Barrier Membranes for Masonry
Walls

MISE AU POINT DE PROCÉDÉS ET
DE MÉTHODES D'ESSAI VISANT
L'ÉVALUATION DE MEMBRANES PARE-AIR
POUR MURS EN MAÇONNERIE

Rédigé à l'intention de :

Monsieur Jacques Rousseau
Directeur de projet principal
Division de la mise en oeuvre des projets
Société canadienne d'hypothèques et de logement
682, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

La Société canadienne d'hypothèques et de logement, l'organisme du logement du gouvernement fédéral, a pour mandat d'appliquer la Loi nationale sur l'habitation.

Cette loi a pour objet d'aider à améliorer les conditions d'habitation et de vie au Canada. C'est pourquoi la Société s'intéresse à tout ce qui concerne l'habitation, l'expansion et le développement urbains.

Aux termes de la partie IX de la Loi, le gouvernement du Canada autorise la SCHL à consacrer des fonds à la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et à en publier et à en diffuser les résultats. La SCHL a donc l'obligation légale de veiller à faire largement connaître tout renseignement de nature à améliorer les conditions d'habitation et de vie.

AVERTISSEMENT

Cette étude a été réalisée par Ortech International pour le compte de la Société canadienne d'hypothèques et de logement aux termes de la partie IX de la Loi nationale sur l'habitation. L'analyse, l'interprétation et les recommandations sont celles des consultants et ne reflètent pas nécessairement l'opinion de la Société canadienne d'hypothèques et de logement ou des divisions de la Société ayant participé à l'étude et à sa publication.

MISE AU POINT DE PROCÉDÉS ET DE MÉTHODES D'ESSAI
VISANT L'ÉVALUATION DE MEMBRANES PARE-AIR POUR MURS EN MAÇONNERIE

Rapport final

Rapport n^o 38-11108

2 novembre 1990

Rédigé par
G. Hildebrand
Building Performance Centre
Ortech International

pour
Monsieur Jacques Rousseau
Directeur de projet principal
Division de la mise en oeuvre des projets
Société canadienne d'hypothèques et de logement
682, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

Nous, la société ORTECH, agissant sous le nom de «ORTECH International», stipulons que le présent document est sujet aux conditions suivantes :

1. Toute proposition contenue dans ce document n'a été formulée qu'à l'intention du destinataire. La teneur de ces propositions ne peut être ni utilisée, ni révélée à qui que ce soit d'autre sans notre autorisation écrite.
2. Tout essai, toute inspection ou toute investigation que nous mènerons sera effectué conformément aux normes professionnelles actuelles. Ni ORTECH, ni ses employés ne pourront être tenus responsables d'éventuels dommages ou pertes résultant directement ou indirectement d'un défaut, d'une erreur ou d'une omission quelconque.
3. Nos rapports, nos propositions ou nos soumissions ne touchent que le matériel, l'instrument ou tout autre objet auquel nous faisons expressément référence. Nous n'insinuons nullement que des articles similaires posséderont la même qualité.
4. Aucun de nos rapports ne pourra être publié en tout ou en partie sans notre autorisation écrite préalable.
5. Notre nom ne pourra être utilisé d'aucune façon quant à la vente, à la proposition ou à la publicité de tout article, procédé ou service.
6. Nous nous réservons le droit de ne pas entreprendre ou de ne pas poursuivre tout travail tant que des conditions de paiement nous satisfaisant n'auront pas été établies.

ORTECH International 2395, Speakman Drive Mississauga (Ontario) L5K 1B3
Téléphone : (416) 822-4111
Télécopieur : (416) 823-1446

Table des matières

1.	RÉSUMÉ.....	6
2.	CONTEXTE.....	6
3.	MÉTHODES D'ÉVALUATION ET D'ESSAI.....	12
3.1	MEMBRANES PARE-AIR.....	12
3.2	MÉTHODES D'ESSAI.....	16
3.2.1	Étanchéité à l'air.....	16
3.2.2	Adhérence de la membrane sous l'effet de la surcharge d'une rafale..	17
3.2.3	Adhérence de la membrane sous l'effet d'une surcharge de vent soutenu.....	18
3.2.4	Uniformité de la membrane.....	19
3.2.5	Fluage de la membrane sous l'effet de tirage.....	19
4.	RÉSULTATS DES ESSAIS.....	19
4.1	Étanchéité à l'air.....	20
4.2	Adhérence de la membrane sous l'effet de la surcharge d'une rafale...	22
4.3	Adhérence de la membrane sous l'effet d'une surcharge de vent soutenu.....	24
4.4	Fluage de la membrane sous l'effet de tirage.....	26
4.5	Uniformité de la membrane.....	27
4.6	Résumé des données normatives.....	27
5.	EXPOSÉ.....	31
6.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	35
	Annexe A.....	40
	Annexe B.....	44
	Annexe C.....	57

1. RÉSUMÉ

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) a confié au Building Performance Centre d'Ortech International le mandat d'évaluer la tenue en service d'un certain nombre de pare-air destinés aux murs de maçonnerie en vue de l'élaboration d'une norme de comportement. Ce projet visait essentiellement à :

- o Établir des critères de tenue en service et des méthodes d'essai permettant d'évaluer l'étanchéité à l'air et le comportement structural des pare-air «en service» destinés aux murs en maçonnerie;
- o Évaluer le processus d'évaluation proposé en mettant à l'essai des pare-air conformément aux méthodes établies;
- o Recommander une évaluation normative pour les matériaux constituant les pare-air de murs en maçonnerie fondée sur les résultats d'essais fournis par les fabricants ainsi qu'un examen des méthodes actuelles pouvant être appliquées aux composantes des pare-air.

Aux termes du contrat, Ortech International a évalué dix-huit pare-air mis en oeuvre sur un certain nombre de subjectiles en blocs de béton. Ce rapport livre les résultats de l'évaluation.

2. CONTEXTE

Les murs en maçonnerie seuls ne constituent pas un pare-air efficace. Les éléments de construction comme le mortier, les joints de dilatation, les poutres d'acier, les éléments interfaciaux, etc. augmentent aussi la perméance à l'air des murs en maçonnerie. Récemment, des pare-air commerciaux ont été mis au point spécifiquement pour les ouvrages en maçonnerie. Ces membranes, destinées à augmenter considérablement l'étanchéité à l'air des murs en maçonnerie, visaient surtout à donner

suite à l'exigence du Code national du bâtiment selon laquelle «un ensemble de construction d'un bâtiment [...] doit comporter une étanchéité à l'air». Malheureusement, il n'existe pas de critères de tenue en service, de prescriptions normatives ou de méthodes d'essai officiels pour homologuer ou évaluer ces produits. À ce jour, les ingénieurs d'études, les constructeurs, les architectes ou les maîtres d'ouvrage ne possèdent pas de méthodes pour évaluer la tenue en service d'un pare-air, pas plus qu'il n'existe de procédé bien défini pour comparer les différents pare-air. Si l'on considère la diversité des produits (pare-air appliqués par projection, à la truelle, par collage, au chalumeau ou fixés mécaniquement) que l'on dit «efficaces», on se rend compte de l'urgent besoin de mettre au point une méthode normative d'évaluation du comportement des pare-air «en service».

Plusieurs variables doivent être évaluées, à savoir la perméance à l'air ou le taux d'étanchéité, l'adhérence aux subjectiles de maçonnerie soumis à la surcharge d'un vent soutenu ou d'une rafale, la déformation ou les dommages permanents causés par la surcharge due à un vent soutenu ou à une rafale, la variation de l'épaisseur appliquée (et son effet) ainsi que la résistance mécanique. Idéalement, l'évaluation d'un pare-air en service s'effectue à partir d'un subjectile homogène et d'un mur qui, réalisé de façon caractéristique, comporte des agrafes de liaisonnement, des poteaux d'acier, des vides, etc. Au besoin, la membrane comprendra aussi des joints et d'autres éléments de mise en oeuvre. En plus d'évaluer le comportement de pare-air «en service», la norme devra prescrire certaines exigences pour chacune des composantes. Il existe actuellement de nombreuses méthodes d'essai réglementées et tout indiquées qui portent, par exemple, sur la résistance au déchirement, la stabilité dimensionnelle et à basse température, la perméance à la vapeur d'eau, la résistance à l'écoulement plastique, la tension et l'allongement sous charge maximale, l'infiltration d'eau consécutive à la fatigue, etc. Ce sont toutes d'importantes propriétés

des composantes qui influenceront sur le comportement général du pare-air en service.

Les méthodes d'évaluation utilisées pour cette étude ont servi à tester quinze pare-air en service en fonction des caractéristiques décrites ci-dessous plutôt que selon des méthodes normatives touchant les composantes des pare-air.

Étanchéité à l'air initiale : L'étanchéité à l'air de chaque membrane a été déterminée selon une plage de différences de pression. La classification de chaque membrane s'est faite conformément aux niveaux proposés par le Conseil national de recherches, soit les types I, II et III, tel qu'ils paraissent dans le compte rendu de *Regard 86 sur la science du bâtiment*, «Un pare-air pour l'enveloppe du bâtiment». À l'aide du système recommandé, les pare-air ont été classifiés d'après les critères suivants :

Type	Taux maximal de fuites d'air	Humidité intérieure du bâtiment
I	0,15 L/s/m ²	faible
II	0,10 L/s/m ²	moyenne
III	0,05 L/s/m ²	haute

Adhérence de la membrane sous l'effet d'une rafale : La membrane a été évaluée par rapport au décollement, à la déformation et aux dommages permanents susceptibles de compromettre sa fonction première d'étanchéité à l'air lorsque soumise à une différence de pression de -3 000 pascals pendant environ 10 secondes (comportement structural sous l'effet de rafales). Cette pression d'essai a été choisie en tenant compte d'essais antérieurs menés sur des pare-air pour murs en maçonnerie. Elle a été considérée comme une estimation juste

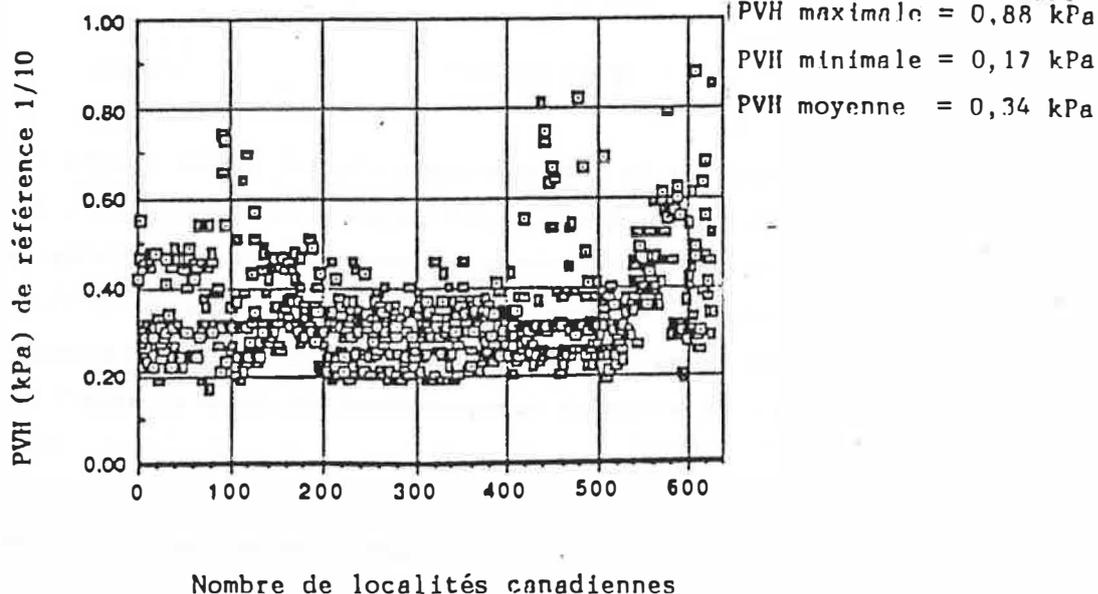
Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

des risques de surcharges exercées par des rafales obtenues à l'aide de la méthode de calcul simplifiée du Code national du bâtiment du Canada (CNB) selon une probabilité de 1 sur 10 que des pressions de vent horaires (PVH) de référence se manifestent sur le parement extérieur, et en supposant que :

- . le coefficient de sécurité = 1,5
- . q = la PVH de référence de 0,34 kPa
- . C_g = le coefficient de rafale = 2,5
- . C_p = le coefficient de pression = 1,5
- . C_e = le coefficient d'exposition = 1,58

Ces valeurs sont semblables à celles figurant dans le guide de l'utilisateur de la norme CAN/CSA-A440-M90 concernant le calcul, pour les fenêtres, des surcharges dues au vent. Dans ce cas, la PVH de référence représente la moyenne des pressions indiquées au Chapitre 1 du Supplément du CNB pour les bâtiments d'au plus 100 m de hauteur.

PVH de référence "1/10" au Canada

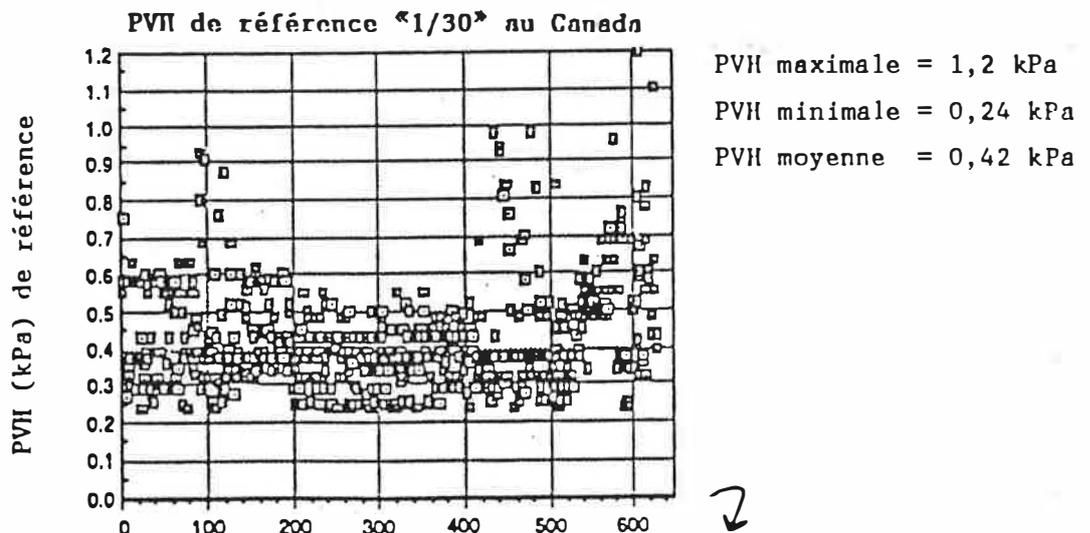


Après l'évaluation, l'étanchéité de la membrane a été vérifiée de nouveau et, le cas échéant, le pourcentage de décollement de la membrane par rapport au subjectile en blocs de béton a été calculé. La défaillance était considérée comme évidente si les fuites d'air relevées à 75 Pa étaient supérieures à $0,15 \text{ L.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ou si le pourcentage de décollement excédait 15 p. 100 de la surface totale. Cette valeur de 15 p. 100 comme critère de décollement a été choisie de façon arbitraire à partir de données relatives à la régression du comportement de pare-air évalués antérieurement en laboratoire. Comme telle, cette valeur mérite une analyse plus poussée.

Adhérence de la membrane soumise à une surcharge de vent soutenu :

La membrane a été soumise à une pression différentielle statique de 1 000 pascals pendant une heure en vue d'en évaluer le décollement, la déformation et les dommages permanents qui compromettraient sa fonction première d'étanchéité (comportement structural sous l'effet d'une surcharge de vent soutenu).

Dans ce cas-ci, la pression d'essai et la durée ont été tirées du CNB, suivant la probabilité de manifestation de 1 sur 30 des PVH de référence sans y affecter d'autre facteur. Bien que les surcharges réelles dues au vent soutenu varient selon la hauteur des bâtiments, leur forme et le terrain avoisinant, le graphique ci-dessous montre que la majorité des localités présentent des PVH beaucoup moins importantes que celles qui ont été retenues pour la présente évaluation.



Il est intéressant de noter que ces conditions sont les mêmes que celles qui figurent dans la version provisoire de la norme ASTM, portant sur les pare-air, intitulée «Standard Practice for Selection of an Air Infiltration Barrier (AIB) for Low-Rise Buildings» (norme portant sur le choix d'un pare-air destiné aux bâtiments de faible hauteur).

Encore une fois, après l'évaluation, l'étanchéité de la membrane a fait l'objet d'une nouvelle vérification et, le cas échéant, le pourcentage de décollement de la membrane par rapport au subjectile a été calculé. La défaillance était considérée comme évidente si les fuites d'air relevées à 75 Pa étaient supérieures à $0,15 \text{ L.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ou si le pourcentage de décollement excédait 15 p. 100 de la surface totale.

Comportement de la membrane sous l'effet de tirage (fluage) :

Le fluage, déformation progressive d'un matériau se manifestant naturellement sous l'action d'une contrainte constante, a été évalué sur des échantillons représentatifs de membranes conçues pour combler les vides des ouvrages de maçonnerie, après les avoir soumises d'un côté à l'autre, pendant 24 heures, à une différence de pression négative constante de 250 Pa.

Pour cette évaluation, la différence de pression était, selon nous, suffisante pour simuler l'effet de tirage qui peut survenir pendant une période assez prolongée dans les bâtiments. Elle a été choisie à partir des renseignements contenus dans une publication du Conseil national de recherches du Canada intitulée «Digeste de la construction au Canada» (CBD 104).

La flèche progressive de la membrane et ses changements d'uniformité observables ont été contrôlés et utilisés pour évaluer le comportement des échantillons choisis.

- . **Uniformité de la membrane:** L'épaisseur de chaque membrane d'essai en service a été mesurée à un certain nombre d'endroits afin d'en connaître la variabilité et l'épaisseur totale.
- . **Données normatives:** On a dressé une liste de données d'essai normatives pour chaque produit fourni par les fabricants participants. Cette liste a servi d'indicateur pour : le type de données normatives connues pour les pare-air, la variabilité des données et la pertinence de l'information quant à l'utilisation prévue du produit comme pare-air.

3. MÉTHODES D'ÉVALUATION ET D'ESSAI

Ce projet a été réalisé en deux phases. La Phase I consistait à évaluer neuf membranes pare-air (sur vingt-trois subjectiles en blocs de béton) et la Phase II visait l'évaluation de six membranes pare-air (sur quinze subjectiles en blocs de béton) de même qu'un mur en blocs de béton nu (sans membrane) tel que le décrit la section 3.1. Les subjectiles ont été construits par des membres de la section ontarienne de l'Association canadienne des entrepreneurs en maçonnerie selon une technique jugée conforme aux règles de l'art, puis les membranes ont été mises en oeuvre par leur fabricant.

3.1 MEMBRANES PARE-AIR

Pour les besoins du programme d'essais, dix-sept membranes pare-air ont été évaluées, dont quatre fixées au chalumeau, quatre par collage, quatre à la truelle, deux fixées mécaniquement et trois réalisées par projection. Chaque membrane échantillon a été mise en oeuvre par le fabricant sur trois subjectiles de 1,2 m sur 1,2 m x 0,140 m, soit sur un subjectile uni en blocs de béton, sur un mur en blocs de béton comportant des agrafes de liaisonnement et, pour recevoir les membranes fixées par collage et au chalumeau, sur un mur en blocs de béton comprenant au centre un creux de 50 mm sur 910 mm ménagé pour simuler le pontage. Les membranes sous forme de feuilles comportaient au moins un joint à

recouvrement. Pour la Phase I, tous les subjectiles ont fait l'objet d'une cure complète d'au moins deux mois à la température et à l'humidité ambiantes avant l'application de la membrane. Après la pose, les membranes ont été soumises aux mêmes conditions pendant deux autres mois. Lors de la Phase II, les dix-huit subjectiles en blocs de béton n'ont subi qu'une cure de deux à trois semaines à la température et à l'humidité ambiantes avant la mise en oeuvre de leur membrane respective. Celles-ci ont été évaluées dans les trois à quarante jours suivant leur application. Chaque mur a subi un essai d'étanchéité à l'air et un essai d'adhérence sous l'effet d'une surcharge (de rafale et de vent soutenu). Toutes les membranes appliquées sur un mur présentant un creux ont été l'objet d'une évaluation de 24 heures du fluage. Tous les essais se sont déroulés conformément aux méthodes décrites à la section 3.2. Les données normatives pour chaque échantillon fourni par le fabricant de membrane ont également été recueillies pour fins d'examen. Les numéros d'échantillon et de mur ainsi que le type et la description des produits figurent au tableau ci-après. En plus des échantillons indiqués, nous avons évalué trois pare-air isolants en mousse de polyuréthane projetée. L'essai de ces membranes s'est fait aux frais des fabricants conformément au protocole d'évaluation décrit précédemment. Avant l'essai, nous avons attribué à chaque échantillon un numéro d'identification ainsi qu'une série de numéros de mur.

Échantillons de membranes pare-air

Phase d'essai	Échantillon numéro	Murs n ^{OS}	Type	Description
II	0	37	Sans objet	Pas de pare-air
I	1	1,2,3	Fixée au chalumeau Couche d'impression sur mur	Bitume-SBS renforcé de polyester avec films de plastique thermocollés
I	2	4,5,6	Fixée au chalumeau Couche d'impression sur mur	Bitume-SBS renforcé d'une nappe de verre avec films de plastique thermocollés
II	3	7,8,9	Fixée au chalumeau Couche d'impression sur mur	Bitume-SBS renforcé de fibre de verre non tissée
II	4	10,11,12	Fixée au chalumeau Couche d'impression sur mur	Bitume-SBS renforcé de fibre de verre non tissée
I	5	13,14,15	Fixée par collage Couche d'impression	Bitume autocollant avec polymères thermoplastiques modifiés
I	6	16,17,18	Fixée par collage Couche d'impression	Membrane autocollante en bituthane
II	7	19,20,21	Fixée par collage Couche d'impression	Bitume-SBS renforcé de polyester
II	8	22,23,24	Fixée par collage Couche d'impression	Polyéthylène multicouche avec asphalte modifié au polyester
I	9	25,26	Fixée à la truelle	Composé de caoutchouc liquide à deux composants (polybutadiène bifonctionnel)
I	10	27,28	Fixée à la truelle	Bitume-élastomère à une composante
I II	11	29,30,40	Fixée à la truelle avec membrane en feuille	Adhésif isolant en caoutchouc synthétique de type solvant
I	12	31,32	Fixée à la truelle	Adhésif à froid à base de bitume

Membranes pare-air mises à l'essai (suite)

Phase d'essai	Échantillon numéro	Murs n ^{OS}	Type	Description
I	13	33,34, 35	Fixée mécaniquement	Renfort tissé en polyester recouvert de PVC en feuilles de trois plis
II	14	36,38	Fixée mécaniquement	Panneau(x) de polystyrène extrudé armé(s) et recouvert(s)
II	15	41	Projetée	Pare-air isolant en polyuréthane, à mettre en oeuvre l'été
II	16	42	Projetée	Pare-air isolant en polyuréthane, à mettre en oeuvre l'hiver
II	17	43	Projetée	Membrane d'isolation et d'étanchéité en polyuréthane à faible pouvoir propagateur de flamme

3.2 MÉTHODES D'ESSAI

Les essais ont été menés selon les méthodes décrites ci-dessous au moyen de l'appareil illustré à la figure 1. Comme on peut le voir, l'échantillon est maintenu, avec un serre-flan, entre le caisson d'essai et le périmètre d'acier, la membrane faisant face au côté ouvert du caisson. Pour les besoins de l'évaluation, le joint de néoprène à alvéole fermé a été comprimé sur le pare-air pour bien en sceller les rives. Au joint de néoprène s'est ajoutée une graisse pour vide poussé permettant d'assurer l'intégrité du joint et de prévenir toute fuite latérale. Les essais d'étanchéité et de surcharge due au vent ont alors été effectués à des différences de pression négatives. Pour les essais d'étanchéité, l'air pénètre la membrane de l'intérieur, c'est-à-dire du côté du mur, vers l'extérieur, soit du côté du caisson d'essai. Les fuites d'air à travers le mur d'appui en blocs de béton ne constituent pas une variable. Ainsi ne sont mesurées que les fuites d'air traversant la membrane délimitée par les joints comprimés. Dans le cas du mur nu en blocs de béton, la méthode a été modifiée de façon à éviter les fuites latérales. Pour ce faire, nous avons appliqué une membrane imperméable à l'air continue sur tout le mur, à l'exception d'une surface de 1 m² à l'avant et à l'arrière. Pour déterminer la perméabilité à l'air du mur, nous avons d'abord masqué la zone à découvert de l'arrière du mur avec une double couche de polyéthylène, puis avons mesuré la perméabilité de la membrane ajoutée selon une plage de pression de 0 à 100 Pa. Nous avons ensuite retiré le polyéthylène et mesuré la perméabilité globale selon la même plage de pression. Nous avons alors pu déterminer l'étanchéité du mur en soustrayant de la valeur globale la valeur obtenue pour la membrane ajoutée.

3.2.1 Étanchéité à l'air

L'essai d'étanchéité à l'air a été effectué conformément au mode opératoire de la norme ASTM E283, «Standard Test Method for Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls and Doors».

L'étanchéité à l'air de chaque membrane a été mesurée selon une gamme de différences de pressions variant de 25 à 500 Pa à l'aide d'un

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

transducteur de débit massique (modèle HFM200-H de Hastings, n° de série 351, échelle de débit de 0 à 0,08 L/s, ou le modèle 1205 de Datametrics, n° de série 3590, échelle de débit de 0 à 2,50 L/s) et d'un ordinateur assorti d'un système d'acquisition de données. Les deux débitmètres font périodiquement l'objet d'un étalonnage à l'aide d'un calibrateur Buck. Les différences de pression ont été mesurées avec un micromanomètre électronique (Air Instrument Resources Limited, modèle MP3KDS, n° de série 3260, résolution de 0,1 Pa). Cet instrument est régulièrement étalonné par le fabricant. Pour établir l'équilibre à chaque essai de différence de pression, l'étanchéité à l'air a été mesurée pendant cinq minutes à chaque point de pression. Les taux de fuite d'air ainsi obtenus ont alors été reproduits graphiquement et l'analyse de régression linéaire des données a permis de déterminer les variables se présentant dans l'équation de la courbe de débit suivante :

$$Q/A = C * \Delta P^n$$

où :

Q = débit volumétrique de l'air

A = surface de fuite

C = coefficient de débit, débit volumétrique par unité de surface et par unité de différence de pression

n = exposant de débit caractéristique d'un débit laminaire (~1,0) ou turbulent (~0,5)

À partir de l'analyse de régression linéaire des données, les fuites d'air calculées ont été considérées comme non détectables lorsque le coefficient de corrélation entre les données mesurées et les données calculées était inférieur à 0,98. En l'absence d'une série de critères établis, chaque pare-air a ensuite été classifié en type I, II ou III pour fins de comparaison.

3.2.2 Adhérence de la membrane sous l'effet de la surcharge d'une rafale

Nous avons procédé aux essais d'adhérence en suivant le mode opératoire général de la norme ASTM E330, «Standard Test Method for Structural Performance of Exterior Windows, Curtain Walls and Doors by Uniform Static Pressure Difference». Pour la simulation des rafales, chaque

échantillon a été soumis à une différence de pression de -3 000 Pa pendant environ dix (10) secondes.

Durant l'essai, le mouvement différentiel de la membrane et du subjectile a été vérifié visuellement. Après chaque essai, la vérification visait à déceler si la membrane n'avait pas subi de décollement ou de fissuration. En cas de décollement, la surface touchée était délimitée, retirée du subjectile, pesée et la surface de décollement déterminée par intégration¹. Le pourcentage de décollement a ensuite été calculé grâce à l'équation suivante :

$$\% \text{ de décollement} = \frac{\text{surface de décollement} \times 100}{\text{surface totale de la membrane}}$$

Les dommages non apparents causés à la membrane ont pu être détectés en répétant l'essai d'étanchéité à l'air à une différence de pression de 75 Pa.

Comme nous l'avons déjà mentionné, la membrane était considérée comme inefficace si les fuites d'air relevées à 75 Pa étaient supérieures à $0,15 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ou si le décollement survenait sur plus de 15 p. 100 de la surface totale.

3.2.3 Adhérence de la membrane sous l'effet d'une surcharge de vent soutenu

L'essai de surcharge due à un vent soutenu a été effectué de la même façon, à une différence de pression de -1 000 Pa, pendant une (1) heure.

Encore une fois, nous avons inspecté visuellement chaque membrane après l'essai, à la recherche de signes de décollement ou de fissuration, et l'essai d'étanchéité à l'air à 75 Pa a été répété. La membrane a été jugée inefficace si les fuites d'air relevées à 75 Pa étaient supérieures à $0,15 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ou si le décollement survenait sur plus de 15 p. 100 de la surface totale.

1. Une fois la section décollée enlevée, de la peinture blanche a été appliquée sur le mur dénudé pour accentuer le contraste entre le subjectile et la membrane en prévision de photographies.

3.2.4 Uniformité de la membrane

L'épaisseur à l'application des membranes d'essai a été mesurée (selon le cas) à l'aide d'une jauge de profondeur ou d'un compas d'épaisseur numérique, suivant le type de membrane. Ces valeurs ont ensuite été comparées aux épaisseurs mentionnées dans les devis des fabricants. Les épaisseurs mesurées permettaient ainsi de comparer les échantillons d'essai avec les épaisseurs spécifiées pour la mise en oeuvre des membranes.

3.2.5 Fluage de la membrane sous l'effet de tirage

L'essai de fluage des échantillons de membrane appliqués sur les murs ménagés avec un creux s'est effectué comme les essais de surcharge due à une rafale et à un vent soutenu, soit à une différence de pression de 250 Pa pendant 24 heures. Durant cette période, la flèche a été mesurée périodiquement à mi-portée de la membrane et, à la fin de l'essai, nous avons examiné celle-ci dans le but de déceler tout signe de décollement, de dommages ou de déformation non détectés au cours de l'essai.

4. RÉSULTATS DES ESSAIS

Les résultats des essais d'étanchéité et de surcharge due au vent figurent dans les sections suivantes ainsi qu'aux tableaux A-1 de l'Annexe A. La figure 2 illustre sous forme graphique des données d'étanchéité à l'air selon différentes valeurs de pression pour un subjectile en blocs de béton dépourvu de membrane pare-air. Des photographies d'un certain nombre d'échantillons représentatifs, prises après les essais, sont également reproduites à l'Annexe B. À noter que l'échantillon n^o 5, appliqué sur les murs 14 et 15, s'est complètement décollé avant même le premier essai d'étanchéité à l'air, de sorte qu'il n'a pas été évalué.

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

4.1 Étanchéité à l'air

Résumé des résultats d'étanchéité à l'air

Échantillon numéro	Mur Description et n°	Application de la membrane	Coefficient de débit C	Exposant de débit n	Étanchéité initiale $\Delta P=75$ Pa	Type de de pare-air
			(L/s/m ²) Calculé	adimensionnel Calculé	(L/s/m ²) Calculé	
0	A.D.L.*-37	Pas de membrane	2,22E-02	0,9233	11956,3E-04	S.O.
1	Mur nu-1	Thermofus.	2,80E-05	0,6053	3,82E-04	III
	A.D.L.-2	Thermofus.	56,5E-05	0,8216	196,0E-04	III
	Avec creux-3	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	III
2	Mur nu-4	Thermofus.	0,11E-05	1,0800	1,16E-04	III
	A.D.L.-5	Thermofus.	1,80E-05	0,8969	8,65E-04	III
	Avec creux-6	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	III
3	Mur nu-7	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	III
	A.D.L.-8	Thermofus.	40,1E-05	0,7898	121,4E-04	III
	Avec creux-9	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	III
4	Mur nu-10	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	III
	A.D.L.-11	Thermofus.	89,0E-05	0,7372	214,6E-04	III
	Avec creux-12	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	III
5	Mur nu-13	Collage	4,51E-05	0,9353	25,5E-04	III
	A.D.L.-14	Collage	D.A.E.**	D.A.E.	D.A.E.	S.O.
	Avec creux-15	Collage	D.A.E.	D.A.E.	D.A.E.	S.O.
6	Mur nu-16	Collage	1,55E-05	0,7714	4,33E-04	III
	A.D.L.-17	Collage	130,0E-05	0,8504	489,5E-04	III
	Avec creux-18	Collage	2,64E-05	0,6219	3,87E-04	III
7	Mur nu-19	Collage	1,41E-05	0,7017	2,92E-04	III
	A.D.L.-20	Collage	130,0E-05	0,6610	225,6E-04	III
	Avec creux-21	Collage	2,18E-05	0,6574	3,72E-04	III
8	Mur nu-22	Collage	Non détect.	Non détect.	Non détect.	III
	A.D.L.-23	Collage	200,0E-05	0,6034	270,6E-04	III
	Avec creux-24	Collage	Non détect.	Non détect.	Non détect.	III

S.O. : Sans objet

* Mur avec agrafes de liaisonnement

** Décollement avant essai

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

Résumé des résultats d'étanchéité à l'air (suite)

Échantillon numéro	Mur Description et n°	Application de la membrane	Coefficient de débit C	Exposant de débit n	Étanchéité initiale $\Delta P=75$ Pa	Type de de pare-air
			(L/s/m ²) Calculé	adimensionnel Calculé	(L/s/m ²) Calculée	Proposé
9	Mur nu-25 A.D.L.*-26	Truelle Truelle	76,1E-05	0,5595	85,2E-04	III
			9,41E-05	0,7864	28,1E-04	III
10	Mur nu-27 A.D.L.-28	Truelle Truelle	1,77E-05	0,9697	11,6E-04	III
			230,0E-05	0,6896	451,6E-04	III
11	Mur nu-29 A.D.L.-30	Truelle Truelle	430,0E-05	0,5340	431,3E-04	III
			2,64E-05	0,9545	16,3E-04	III
11	Avec creux-40	Truelle et feuille	4,36E-05	0,7922	13,3E-04	III
12	Mur nu-31 A.D.L.-32	Truelle Truelle	47,1E-05	0,8302	169,7E-04	III
			1160,0E-05	0,6518	1934,7E-04	Défaillance
13	Mur nu-33 A.D.L.-34 Avec creux-35	Fix. méc.	6,62E-05	0,8352	24,4E-04	III
		Fix. méc.	14,5E-05	0,8972	69,8E-04	III
		Fix. méc.	0,75E-05	0,9411	4,38E-04	III
14	Mur nu-36 Avec creux-38	Fix. méc.	14,4E-05	0,9001	70,2E-04	III
		Fix. méc.	11,2E-05	0,9141	58,0E-04	III
15	Mur nu-41	Projection	Non détect.	Non détect.	Non détect.	III
16	Mur nu-42	Projection	0,97E-05	0,8291	3,46E-04	III
17	Mur nu-43	Projection	Non détect.	Non détect.	Non détect.	III

S.O. : Sans objet

* Agrafes de liaisonnement

Étanchéité à l'air de type III à 75 Pascals $\leq 500,0E-04$ L/s/m²

Les numéros d'échantillon en caractères gras indiquent les essais de Phase II.

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

4.2 Adhérence de la membrane sous l'effet de la surcharge d'une rafale

Résumé des résultats - surcharge exercée par une rafale

Échantillon numéro	Mur en blocs de béton	Application de la membrane	Étanchéité initiale $\Delta P=75$ Pa (L/s/m ²)	Étanchéité après rafale $\Delta P=75$ Pa (L/s/m ²)	Décollement de la membrane $\Delta P=3000$ Pa (%)	Résultat des essais Type de pare-air
			Calculée	Mesurée	Mesuré	Proposé
1	Mur nu-1	Thermofus.	3,82E-04	2,50E-04	6,57	Résiste/III
	A.D.L.*-2	Thermofus.	196,0E-04	200,2E-04	7,43	Résiste/III
	Avec creux-3	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	2,11	Résiste/III
2	Mur nu-4	Thermofus.	1,16E-04	Non détect.	0,00	Résiste/III
	A.D.L.-5	Thermofus.	8,65E-04	12,3E-04	0,00	Résiste/III
	Avec creux-6	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	0,00	Résiste/III
3	Mur nu-7	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	0,00	Résiste/III
	A.D.L.-8	Thermofus.	121,4E-04	125,1E-04	0,00	Résiste/III
	Avec creux-9	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	0,00	Résiste/III
4	Mur nu-10	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	5,90	Résiste/III
	A.D.L.-11	Thermofus.	214,6E-04	254,0E-04	0,00	Résiste/III
	Avec creux-12	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	3,06	Résiste/III
5	Mur nu-13	Collage	25,50E-04	50,8E-04	-40,00	Défaillance
	A.D.L.-14	Collage	D.A.E.**	D.A.E.	100,00	S.O.
	Avec creux-15	Collage	D.A.E.	D.A.E.	100,00	S.O.
6	Mur nu-16	Collage	4,33E-04	5,80E-04	-0,5	Résiste/III
	A.D.L.-17	Collage	489,5E-04	507,2E-04	0,00	Résiste/II
	Avec creux-18	Collage	3,87E-04	4,40E-04	0,00	Résiste/III
7	Mur nu-19	Collage	2,92E-04	Non détect.	0,00	Résiste/III
Note	Mur nu-19	Collage	2,92E-04	Non détect.	0,00	Résiste/III
	A.D.L.-20	Collage	225,6E-04	237,0E-04	0,00	Résiste/II
	Avec creux-21	Collage	3,72E-04	3,40E-04	0,00	Résiste/III

* Agrafes de liaisonnement

** Décollement avant essai

Note : Température de la surface de la membrane portée à 30 °C.

Résumé des résultats - surcharge exercée par une rafale (suite)

Échantillon numéro	Mur en blocs de béton	Application de la membrane	Étanchéité initiale $\Delta P=75$ Pa (L/s/m ²)	Étanchéité après rafale $\Delta P=75$ Pa (L/s/m ²)	Décollement de la membrane $\Delta P=3000$ Pa (%)	Résultat des essais
			Calculée	Mesurée	Mesuré	Type de pare-air Proposé
8	Mur nu-22 A.D.L. -23 Avec creux-24	Collage Collage Collage	Non détect. 270,6E-04 Non détect.	Non détect. 285,2E-04 4,8E-04	2,15 17,14 9,10	Résiste/III Défaillance/III Résiste/III
9	Mur nu-25 A.D.L. -26	Truelle Truelle	85,2E-04 28,1E-04	26,3E-04 19,9E-04	0,00 0,00	Résiste/III Résiste/III
10	Mur nu-27 A.D.L. -28	Truelle Truelle	11,6E-04 451,6E-04	7,70E-04 329,7E-04	0,00 0,00	Résiste/III Résiste/III
11	Mur nu-29 A.D.L. -30	Truelle Truelle	431,3E-04 16,3E-04	438,0E-04 23,7E-04	0,00 <1,0	Résiste/III Résiste/III
11	Avec creux-40	Truelle et feuille	13,3E-04	23,2E-04	16,0	Défaillance/III
12	Mur nu-31 A.D.L. -32	Truelle Truelle	169,7E-04 1934,7E-04	211,3E-04 1823,0E-04	0,00 <0,5	Résiste/III Résistance/ défaillance
13	Mur nu-33 A.D.L. -34 Avec creux-35	Fix. méc. Fix. méc. Fix. méc.	24,4E-04 69,8E-04 4,38E-04	20,0E-04 77,0E-04 10,1E-04	0,00 0,00 0,00	Résiste/III Résiste/III Résiste/III
14	Mur nu-36 Avec creux-38	Fix. méc. Fix. méc.	70,2E-04 58,0E-04	71,0E-04 50,9E-04	0,00 0,00	Résiste/III Résiste/III
15	Mur nu-41	Projection	Non détect.	Non détect.	0,00	Résiste/III
16	Mur nu-42	Projection	3,5E-04	5,8E-04	0,00	Résiste/III
17	Mur nu-43	Projection	Non détect.	Non détect.	0,00	Résiste/III

Les numéros d'échantillon en caractères gras indiquent les essais de Phase II.

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

4.3 Adhérence de la membrane sous l'effet d'une surcharge de vent soutenu

Résumé des résultats - surcharge exercée par un vent soutenu

Échantillon numéro	Description et numéro du mur	Application de la membrane	Étanchéité initiale $\Delta P=75$ Pa (L/s/m ²)	Étanchéité après vent $\Delta P=75$ Pa (L/s/m ²)	Décollement du pare-air sout./total (%)	Résultat des essais Type de pare-air
			Calculée	Mesurée	Mesuré	Proposé
1	Mur nu-1	Thermofus.	3,82E-04	3,50E-04	7,42/(13,99)	Résiste/III
	A.D.L.*-2	Thermofus.	196,0E-04	202,2E-04	0,00/(7,43)	Résiste/III
	Avec creux-3	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	0,00/(2,11)	Résiste/III
2	Mur nu-4	Thermofus.	1,16E-04	0,8E-04	0,00/(0,00)	Résiste/III
	A.D.L.-5	Thermofus.	8,65E-04	8,4E-04	8,32/(8,32)	Résiste/III
	Avec creux-6	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	0,00/(0,00)	Résiste/III
3	Mur nu-7	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	0,00/(0,00)	Résiste/III
	A.D.L.-8	Thermofus.	121,4E-04	126,1E-04	0,00/(0,00)	Résiste/III
	Avec creux-9	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	2,00/(2,00)	Résiste/III
4	Mur nu-10	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	35,86/(41,76)	Défaillance
	A.D.L.-11	Thermofus.	214,6E-04	230,0E-04	3,80/(3,80)	Résiste/III
	Avec creux-12	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	29,67/(32,73)	Défaillance/III
5	Mur nu-13	Collage	25,50E-04	266,0E-04	-60,00/(100)	Défaillance/III
	A.D.L.-14	Collage	D.A.E.	D.A.E.	100,00	Défaillance
	Avec creux-15	Collage	D.A.E.	D.A.E.	100,00	Défaillance
6	Mur nu-16	Collage	4,33E-04	2,70E-04	- 0,5/(<1)	Résiste/III
	A.D.L.-17	Collage	489,5E-04	541,1E-04	0,00/(0,00)	Résiste/II
	Avec creux-18	Collage	3,87E-04	5,40E-04	0,00/(0,00)	Résiste/III
7	Mur nu-19	Collage	2,92E-04	Non détect.	0,00/(0,00)	Résiste/III
	A.D.L.-20	Collage	225,6E-04	237,0E-04	0,00/(0,00)	Résiste/III
	Avec creux-21	Collage	3,72E-04	71,0-138E-04	0,00/(0,00)	Résiste/III

* Mur avec agrafes de liaisonnement

Résumé des résultats - surcharge de vent soutenu (suite)

Échantillon numéro	Description et numéro du mur	Application de la membrane	Étanchéité initiale $\Delta P=75$ Pa (L/s/m ²)	Étanchéité après vent $\Delta P=75$ Pa (L/s/m ²)	Décollement du pare-air sout./ (total (%))	Résultat des essais Type de pare-air
			Calculée	Mesurée	Mesuré	Proposé
8	Mur nu-22 A.D.L.*-23	Collage Collage	Non détect. 270,6E-04	Non détect. 2488,3E-04	19,50/(21,65) 40,99/(58,13)	Défaillance/III Défaillance/ défaillance
	Avec creux-24	Collage	Non détect.	5,1E-04	27,36/(36,46)	Défaillance/III
9	Mur nu-25 A.D.L.-26	Truelle Truelle	85,2E-04 28,1E-04	Non détect. 11,8E-04	0,00/(0,00) 0,00/(0,00)	Résiste/III Résiste/III
	Mur nu-27 A.D.L.-28	Truelle Truelle	11,6E-04 451,6E-04	9,1E-04 267,6E-04	0,00/(0,00) 0,00/(0,00)	Résiste/III Résiste/III
11	Mur nu-29 A.D.L.-30	Truelle Truelle	431,3E-04 16,3E-04	448,0E-04 23,8E-04	0,00/(0,00) <1,0/(<1,0)	Résiste/III Résiste/III
	Avec creux-40	Truelle et feuille	13,3E-04	5151,7E-04	29,70/(45,70)	Défaillance/ défaillance
12	Mur nu-31 A.D.L.-32	Truelle Truelle	169,7E-04 1934,7E-04	258,2E-04 1908,0E-04	0,57/(0,57) <0,5/(0,5)	Résiste/III Résistance/ défaillance
	13	Mur nu-33 A.D.L.-34	Fix. méc. Fix. méc.	24,4E-04 69,8E-04	19,0E-04 77,0E-04	0,00/(0,00) 0,00/(0,00)
Avec creux-35		Fix. méc.	4,38E-04	96,0E-04	0,00/(0,00)	Résiste/III
14	Mur nu-36 Avec creux-38	Fix. méc. Fix. méc.	70,2E-04 58,0E-04	70,3E-04 50,1E-04	0,00/(0,00) 0,00/(0,00)	Résiste/III Résiste/III
	15	Mur nu-41	Projection	Non détect.	Non détect.	0,00/(0,00)
16	Mur nu-42	Projection	3,5E-04	3,5E-04	0,00/(0,00)	Résiste/III
17	Mur nu-43	Projection	Non détect.	Non détect.	0,00/(0,00)	Résiste/III

Les numéros d'échantillon en caractères gras indiquent les essais de Phase II.

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

4.4 Fluage de la membrane sous l'effet de tirage

Résumé des résultats - fluage de la membrane sous l'effet de tirage

Échantillon numéro	Mur en blocs de béton	Application de la membrane	Flèche maximale de la membrane (mm)	Dommmages visibles	Résultat des essais Type de de pare-air
1	Avec creux-3	Thermofus.	0,38	Aucun	Résiste/III
2	Avec creux-6	Thermofus.	0,60	Aucun	Résiste/III
3	Avec creux-9	Thermofus.	1,52	Aucun	Résiste/III
4	Avec creux-12	Thermofus.	2,53	Aucun	D.A.E./III
5	Avec creux-15	Collage	D.A.E.*	S.O.	D.A.E.
6	Avec creux-18	Collage	0,43	Aucun	Résiste/III
7	Avec creux-21	Collage	2,47	Aucun	Résiste/III
8	Avec creux-24	Collage	Omise	S.O.	S.O.
11	Avec creux-30	Truelle et feuille	D.A.E.	S.O.	S.O.
13	Avec creux-35	Fix. méc.	0,10	Aucun	Résiste/III
14	Avec creux-38	Fix. méc.	0,03	Aucun	Résiste/III

* Décollement avant essai

Les contrôles d'étanchéité à l'air n'ont permis de déceler aucune augmentation appréciable des fuites d'air.

Les **numéros d'échantillon en caractères gras** indiquent les essais de Phase II.

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

4.5 Uniformité de la membrane

Échantillon numéro	Application de la membrane	Épaisseur indiquée par le fabricant (mm)	Épaisseur de l'échantillon (mm)	Flèche maximale (mm)
1	Thermofus.	3,00 ± 0,200	3,34 ± 0,396	+ 0,536
2	Thermofus.	3,00 ± 0,200	3,07 ± 0,029	0,00
3	Thermofus.	2,50	2,75 ± 0,119	+ 0,369
4	Thermofus.	2,50	2,49 ± 0,023	- 0,233
5	Collage	1,00	1,08 ± 0,025	+ 0,105
6	Collage	Inconnue	1,21 ± 0,118	S.O.
7	Collage	1,00	1,41 ± 0,045	+ 0,455
8	Collage	1,00	1,29 ± 0,052	+ 0,342
9	Truelle	1,50	1,98 ± 0,25	+ 0,730
10	Truelle	1,0 (minimum)	3,25 ± 0,95	+ 3,200
11	Truelle feuille	0,90 (minimum) 1,50	7,37 ± 6,40 1,10 ± 0,099	+12,87 - 0,490
12	Truelle	Inconnue	7,00 ± 5,00	S.O.
13	Fix. méc.	0,457	0,390 ± 0,010	- 0,077
14	Fix. méc.	76,2	74,5 ± 2,96	- 4,96
15	Projection	50,8	51,4 ± 6,72	+ 7,30
16	Projection	50,8	54,3 ± 8,32	+11,82
17	Projection	50,8	53,2 ± 11,21	+13,61

4.6 Résumé des données normatives

Les données normatives provenant de chaque fabricant paraissent au tableau suivant. À noter que seules les normes d'essai (fournies) ont été incluses. Puisque l'objet de cette étude est de déterminer le degré de continuité de l'information fournie par les fabricants des membranes, les résultats des essais normatifs n'ont pas été indiqués.

Tableau sommaire des données normatives

Description de l'essai	Norme applicable	Numéro de l'échantillon														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 16 17
Résistance à la rupture	ONGC 37-GP-56M (ASTM D412/D751)	*	*			*								*		
Allongement ultime	ONGC 37-GP-56M (ASTM D412/D751)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*		
Cintrage à froid	ONGC 37-GP-56M (ASTM D146)	*	*	*	*	*	*	*	*							
Point de ramollissement	ASTM D3686	*	*			*										
Perforation sous charge statique	ONGC 37-GP-56M	*	*			*	*									
Résistance à la traction	ASTM D412 ASTM C1623			*	*	*	*	*	*	*	*				*	*
Fissure soumise à des cycles (-26 °C)	ASTM C836 modifiée par le fabricant						*	*								
Fissure de 25 mm soumise à des cycles (-26 °C)	ASTM C836 modifiée par le fabricant						*	*								
Adhérence mesurée par pelage	Méthode du fabricant	*	*		*	*	*	*					*			*
Résistance au percement - objet non pointu	ASTM E154					*	*	*								
Résistance au percement - objet pointu	ASTM D781						*	*								
Module - 100 %	ASTM D412									*						
Dureté	ASTM D2240									*						
Résistance à la déchirure	ASTM D624 DIN 53859									*						

5. EXPOSÉ

L'évaluation des pare-air avant et après avoir été soumis à des surcharges exercées par une rafale et un vent soutenu démontre que les fuites d'air de ces membranes sont très faibles à la gamme des différences de pression employées. En fait, nous avons eu beaucoup de difficulté, pour certaines membranes, à obtenir des débits stables à cause des variations de la pression atmosphérique au cours de l'évaluation. Les instruments et les méthodes de calcul utilisés entraînent inévitablement des erreurs déterminées et indéterminées. C'est pourquoi les taux de fuite d'air relevés pour les membranes dont les taux sont inférieurs $0,001 \text{ L/s/m}^2$ doivent être considérés uniquement comme des estimations raisonnables représentant un ordre de grandeur de l'étanchéité plutôt que des valeurs absolues.

Les résultats des évaluations initiales de l'étanchéité à l'air mettent en évidence que, pour la majorité des quarante et un échantillons mis à l'essai, les fuites d'air relevées à une différence de pression de 75 Pa sont beaucoup moins élevées que le taux maximal de $0,05 \text{ L/s/m}^2$ proposé pour les pare-air de type III. En effet, 26 p. 100 des membranes n'affichaient aucune fuite détectable aux différences de pressions exercées lors de cette évaluation. Au départ, à une différence de pression de 75 Pa, les fuites d'air des membranes variaient :

- . de non détectables (50 p. 100) à $0,02 \text{ L/s/m}^2$ pour les membranes appliquées au chalumeau;
- . de non détectables (17 p. 100) à $0,05 \text{ L/s/m}^2$ pour les membranes collées;
- . de $0,0012$ à $0,05 \text{ L/s/m}^2$ (dont un échantillon à $0,190 \text{ L/s/m}^2$) pour les membranes appliquées à la truelle;
- . de $0,0002 \text{ L/s/m}^2$ à $0,007 \text{ L/s/m}^2$ pour les pare-air fixés mécaniquement; et
- . de non détectables (67 p. 100) à $0,0004 \text{ L/s/m}^2$ en ce qui concerne les échantillons de polyuréthane projeté.

Il est aussi intéressant de noter que les différences, quant aux périodes de cure des subjectiles et des membranes (chalumeau, collage et fixation mécanique) durant la première et la seconde phase de l'essai, n'ont pas semblé influencer sur les taux d'étanchéité initiaux enregistrés.

Pour toutes les membranes évaluées (à l'exception des pare-air en polyuréthane fixés mécaniquement et projetés), l'emploi d'agrafes de liaisonnement a eu un effet sur l'étanchéité à l'air des murs. Dans 82 p. 100 des cas, le taux de fuite d'air des membranes appliquées sur des murs comportant des agrafes de liaisonnement a été plus élevé que celui obtenu à l'égard des membranes fixées à des subjectiles nus. Le taux de fuite d'air des membranes restantes appliquées à la truelle a été réduit lorsqu'elles ont été appliquées sur un mur muni d'agrafes de liaisonnement.

Pour caractériser le type de débit des membranes pare-air destinées à des murs de maçonnerie, l'exposant de débit moyen global n , calculé pour tous les murs, indique que le débit d'air à travers les membranes allie un mouvement laminaire ($n \leq 1$) et turbulent ($n \geq 0,5$), soit $n_{\text{moy}} = 0,79$. Une analyse plus poussée des données révèle que :

- . pour 67 p. 100 des membranes appliquées au chalumeau, $n > 0,75$, et que pour 33 p. 100 d'entre elles, $n < 0,75$, soit une moyenne de 0,82;
- . pour 22 p. 100 des membranes collées, $n > 0,75$, et que pour 78 p. 100 d'entre elles, $n < 0,75$, soit une moyenne de 0,71;
- . pour 56 p. 100 des membranes appliquées à la truelle, $n > 0,75$, et que pour 44 p. 100 d'entre elles, $n < 0,75$, soit une moyenne de 0,82;
- . pour 100 p. 100 des membranes fixées mécaniquement, $n > 0,75$, soit une moyenne de 0,85;
- . pour l'échantillon de polyuréthane projeté, $n = 0,85$.

Les taux de fuite d'air mesurés après les essais de surcharge due à une rafale révèlent clairement que les membranes n'ont pratiquement pas été altérées. Une seule membrane n'a pu satisfaire aux exigences de type III lors de cet essai, tandis que les autres n'ont démontré aucun changement (19 p. 100 des murs), ont présenté une augmentation minime (47 p. 100 des

murs) ou une diminution (31 p. 100 des murs) du taux de fuite d'air mesuré. Ces données revêtent un intérêt particulier pour les membranes appliquées à la truelle, car les évaluations antérieures ont démontré que chez certaines membranes, le taux de fuite d'air augmente considérablement après avoir été soumises à une surcharge de rafale. Bien que nous ne puissions l'affirmer avec certitude, nous croyons que la période de cure de deux mois à laquelle ont été soumises les membranes avant l'essai explique que le taux de fuite d'air de ces membranes soit resté le même après l'essai sous l'effet d'une surcharge de rafale. Nous n'avons évalué aucune membrane appliquée à la truelle lors de la seconde phase des essais.

En ce qui concerne les taux de fuite d'air mesurés après les essais de surcharge de vent soutenu, encore une fois la majorité des murs n'ont pas été touchés. Une seule membrane n'a pu répondre aux exigences d'étanchéité à l'air (à 75 Pa, le taux de fuite d'air était supérieur à $0,15 \text{ L.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$). Les autres n'ont subi aucun changement (23 p. 100 des murs), ont accusé une augmentation minime (44 p. 100 des murs) ou une diminution (33 p. 100 des murs) des fuites d'air mesurées.

Les résultats des essais de surcharge due au vent indiquent que les vitesses choisies pour les vents soutenus et les rafales étaient suffisantes pour illustrer les effets des surcharges du vent sur l'adhérence des pare-air appliqués sur des murs de maçonnerie. Soumises à une différence de pression de - 3 000 Pa pendant environ 10 secondes, 28 p. 100 des membranes mises à l'essai ont montré des signes de décollement variant entre <0,5 p. 100 et 7,5 p. 100. De plus, trois membranes (8 p. 100) ont affiché un décollement appréciable (>15 p. 100). Encore une fois, les différences de résultats entre les Phases I (une défaillance) et II (deux défaillances) ont été difficiles à évaluer.

Les résultats des essais de surcharge due au vent soutenu ont été beaucoup plus spectaculaires que pour les essais de surcharge exercée par une rafale. Ainsi, 55 p. 100 des membranes ont présenté des signes de décollement pendant l'heure qu'a duré l'essai de surcharge causée par un vent soutenu à une différence de pression de 1 000 Pa. Quarante-quatre

pour cent de ces membranes ont présenté un décollement se situant entre 0,5 p. 100 et 8 p. 100, et 11 p. 100 de ces membranes ont échoué à l'essai puisqu'elles présentaient un décollement s'échelonnant entre 27 et 60 p. 100. Si l'on compare les différences de résultat entre la Phase I et la Phase II, le fait que les quatre défaillances soient survenues à la Phase II peut sans doute être significatif. Cela peut indiquer que les périodes de cure des murs et des membranes revêtent une grande importance, bien que cette supposition ne soit pas étayée par les résultats d'étanchéité, sous les effets de rafale et de tirage. Il est intéressant de noter que, dans le cas d'une membrane (membrane n° 6, mur 16) ayant subi un décollement total, le taux de fuite d'air n'a pas augmenté beaucoup. Les autres membranes n'ont pas été touchées par la surcharge de vent soutenu.

Les essais de fluage de la membrane en surcharge, menés sur les membranes fixées aux murs comportant un creux de 50 mm sur 910 mm (murs 3, 6, 18, 35), ont révélé que toutes les membranes éprouvées sont restées intactes. Nous n'avons observé aucun signe de déformation, de dommages ou de décollement à la suite d'une différence de pression de 250 Pa maintenue pendant 24 heures. Les flèches maximales mesurées à mi-portée des membranes se situaient entre 0,03 mm et 2,53 mm. Les mesures d'étanchéité à l'air prises au cours de l'essai ont révélé que les conditions de fluage n'influaient pas sur l'étanchéité à l'air des membranes. Pour l'échantillon n° 8, les sections décollées de la membrane ont accidentellement été enlevées après l'essai de surcharge due au vent soutenu. Il n'est donc pas entré en ligne de compte au moment de l'évaluation de l'effet de tirage.

En comparant l'épaisseur mesurée des membranes appliquées avec les données fournies par les fabricants, une seule membrane (sur un total de 16) était conforme à la tolérance spécifiée. Parmi les membranes restantes, onze avaient une épaisseur supérieure et quatre avaient une épaisseur inférieure aux devis du fabricant.

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

L'examen que nous avons fait des données normatives fournies par les fabricants n'est que superficiel et demande une analyse plus poussée. Nous avons néanmoins constaté, en prenant connaissance des données normatives compilées pour toutes les membranes, que parmi les 28 essais énumérés, la résistance des membranes est de loin la caractéristique la plus fréquemment mentionnée. En outre, un fort pourcentage (71 p. 100) des fabricants ont fourni des données de transmission de la vapeur d'eau puisqu'un grand nombre de ces membranes sont commercialisées en tant que pare-vapeur. Quant aux autres essais mentionnés, il n'y a pas de constance dans les renseignements fournis. Dans bien des cas, les données normatives citées pour bon nombre des pare-air mis à l'essai concernent spécifiquement des membranes de couverture. Par ailleurs, les méthodes d'évaluation d'une même caractéristique varient d'un fabricant à l'autre. Il est donc difficile d'établir des comparaisons entre les produits. Qui plus est, les méthodes d'évaluation mentionnées ont parfois été modifiées, rendant encore plus difficile la comparaison des différents produits. L'examen des données fournies révèle en fin de compte que les données normatives fournies par les fabricants de pare-air ne permettent pas d'évaluer convenablement les propriétés normatives d'un pare-air. Il s'agit là d'un fait important à prendre en ligne de compte puisque des propriétés comme la transmission de la vapeur d'eau, l'imperméabilité à l'eau, le vieillissement, etc. sont des données de première importance qui doivent être prises en considération uniformément.

6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Après avoir passé en revue les données contenues dans ce rapport et avoir consulté les fabricants et les constructeurs participants, nous croyons tout indiqué de formuler les observations et les recommandations suivantes :

- . La méthode dont fait état la norme ASTM E283, «Standard Test Method for Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls and Doors» servant à l'évaluation et à la détermination de l'étanchéité à l'air des pare-air pour murs de maçonnerie est considérée comme acceptable. On juge tout à fait indiqué de recourir à cette méthode pour déterminer, selon une plage de différences de pression, le coefficient de débit et l'exposant de débit compte tenu du faible taux de fuite d'air qui caractérise ces matériaux.
- . En l'absence d'un autre système de classification pour l'étanchéité des pare-air, nous estimons que le système proposé par le Conseil national de recherches (types I, II et III) catégorise correctement les pare-air selon leur taux d'étanchéité à l'air. Bien que les valeurs attribuées à ces catégories soient plus élevées que celles obtenues pour la majorité des membranes évaluées, on doit se rappeler que les essais menés dans le cadre de notre évaluation ont été réalisés dans des conditions de température et d'humidité de laboratoire. Des conditions réelles pourraient avoir une influence importante sur l'étanchéité des membranes, lesquelles pourraient alors donner des valeurs se rapprochant davantage des valeurs proposées. Il faudra toutefois procéder à de plus amples évaluations, soit en laboratoire, soit en service.
- . Nous considérons que la norme ASTM E330, «Standard Test Method for Structural Performance of Exterior Windows, Curtain Walls and Doors by Uniform Static Pressure Difference» constitue une méthode valable d'évaluation des propriétés structurales et adhésives de membranes «en service» soumises à des surcharges de rafale, de vent soutenu et de tirage. D'autres travaux sont indiqués en vue de déterminer l'effet des périodes de cure sur les murs et les membranes avant les essais.
- . Les conditions de surcharge due à une rafale ou au vent soutenu employées ici ont permis d'évaluer correctement différents pare-air pour murs de maçonnerie et de comparer leur tenue en service. Pour mieux connaître la tenue en service réelle de ces matériaux, il faudra porter une attention particulière aux niveaux de surcharge due au vent ainsi qu'aux périodes d'application choisies.

- . Les conditions de surcharge due au tirage devront faire l'objet d'une analyse plus approfondie afin de déterminer si la période de surcharge est appropriée. Selon les résultats de notre évaluation, l'effet de tirage ne semble pas influencer sur le comportement des pare-air destinés aux murs de maçonnerie.
- . L'examen des données normatives fournies par les fabricants des membranes révèle qu'il existe dans l'industrie un degré inacceptable de variabilité dans l'information. Il faudra examiner l'applicabilité des méthodes décrites.
- . Des consultations avec les participants au projet ont permis de dégager un consensus selon lequel il faudra élaborer une norme de comportement pour les pare-air destinés aux murs de maçonnerie. Cette norme devra inclure à la fois des exigences normatives et de comportement pour ce type de pare-air et pourra être rédigée à l'aide des données de recherche que rassemble actuellement la SCHL. De plus, nous recommandons que les données contenues dans ce rapport soient passées en revue par un éventail représentatif de membres de l'industrie des pare-air destinés aux murs de maçonnerie afin d'en évaluer l'utilité et de déterminer les secteurs qui nécessiteraient de plus amples recherches.

G. Hildebrand
Superviseur de laboratoire
Comportement du bâtiment, systèmes

D.W. Bailey, ing.
Directeur de section
Comportement du bâtiment

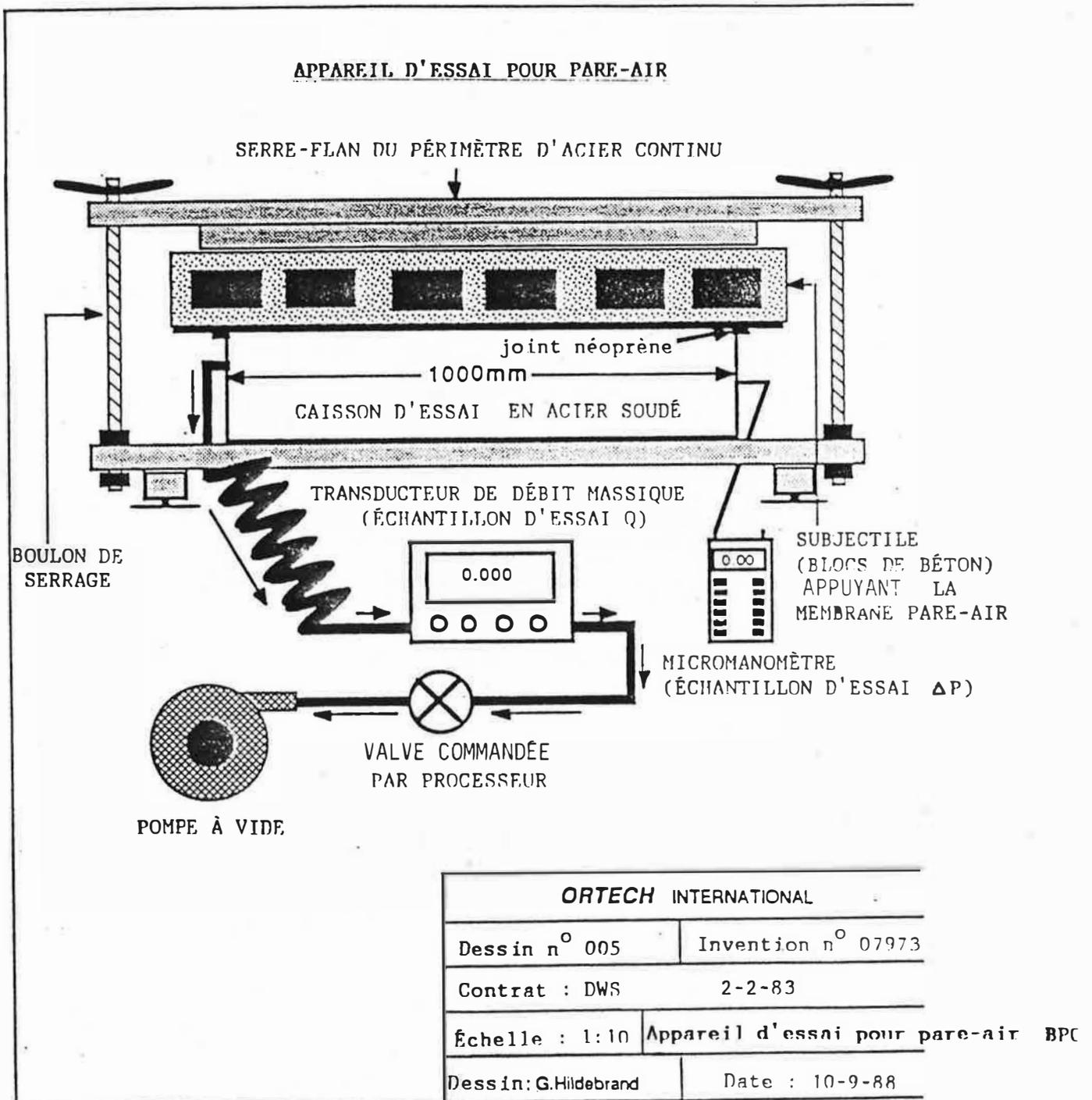


Figure 1

Appareil d'essai pour pare-air

Mur n° 37 - mur nu avec agrafes de liaisonnement

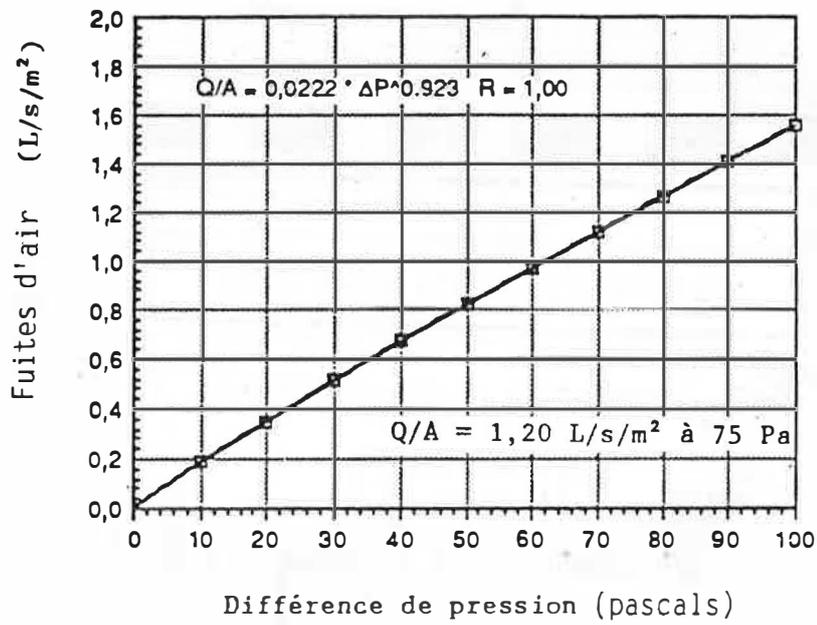


Figure 2

70

Annexe A
Résumé des résultats

TABLEAU RÉCAPITULATIF DE L'ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DES PARE-AIR

Échant. numéro	Mur - Description et n°	Application de la membrane	Données de comportement							
			Coefficient de débit C (L/s/m²)	Exposant de débit n (adimensionnel)	Étanchéité initiale ΔP=75 Pa (L/s/m²)	Étanchéité après rafale ΔP=75 Pa (L/s/m²)	Étanchéité après vent sout. ΔP=75 Pa (L/s/m²)	Décollement du pare-air (%)	Flèche - fluage (mm)	Épaisseur de la membrane (mm)
0	A.D.L. -37	Sans membrane	2,22-E02	0,9233	1,19563	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
1	Mur nu -1	Thermofus.	2,80E-05	0,6053	0,00038	0,00025	0,00035	13,99	S.O.	3,34 ± 0,396
	A.D.L. -2	Thermofus.	5,65E-04	0,8216	0,01961	0,02002	0,0202	7,43	S.O.	3,34 ± 0,396
	Avec creux-3	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	2,11	0,36	3,34 ± 0,396
2	Mur nu-4	Thermofus.	1,09E-06	0,0600	0,00012	Non détect.	7,97E-05	0,00	S.O.	3,07 ± 0,029
	A.D.L. -5	Thermofus.	1,80E-05	0,8969	0,00087	0,00123	0,00084	8,32	S.O.	3,07 ± 0,029
	Avec creux-6	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	0,00	0,60	3,07 ± 0,029
3	Mur nu-7	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	3,74	S.O.	2,75 ± 0,119
	A.D.L. -8	Thermofus.	4,01E-04	0,7898	0,01214	0,01251	0,01261	0,00	S.O.	2,75 ± 0,119
	Avec creux-9	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	2,00	1,52	2,75 ± 0,119
4	Mur nu-10	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	41,76	S.O.	2,49 ± 0,023
	A.D.L. -11	Thermofus.	8,90E-04	0,7372	0,02147	0,02540	0,02301	3,80	S.O.	2,49 ± 0,023
	Avec creux-12	Thermofus.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	32,73	2,53	2,47 ± 0,040
5	Mur nu-13	Collage	4,51E-05	0,9353	0,00256	0,00508	0,02660	100,00	S.O.	1,08 ± 0,025
	A.D.L. -14	Collage	D.A.E.	D.A.E.	D.A.E.	D.A.E.	D.A.E.	100,00	S.O.	1,08 ± 0,025
	Avec creux-15	Collage	D.A.E.	D.A.E.	D.A.E.	D.A.E.	D.A.E.	100,00	S.O.	1,08 ± 0,025
6	Mur nu-16	Collage	1,55E-05	0,7714	0,00043	0,00058	0,00027	< 1,00	S.O.	1,21 ± 0,118
	A.D.L. -17	Collage	1,30E-03	0,8404	0,04895	0,05072	0,05411	0,00	S.O.	1,21 ± 0,118
	Avec creux-18	Collage	2,64E-05	0,6219	0,00039	0,00044	0,00054	0,00	0,43	1,21 ± 0,118

TABLEAU RÉCAPITULATIF DE L'ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DES PARE-AIR

Échant. numéro	Mur - Description et n°	Application de la membrane	Données de comportement							
			Coefficient de débit C (L/s/m ²)	Exposant de débit n (adimensionnel)	Étanchéité initiale ΔP=75 Pa (L/s/m ²)	Étanchéité après rafale ΔP=75 Pa (L/s/m ²)	Étanchéité après vent sout. ΔP=75 Pa (L/s/m ²)	Décollement du pare-air (%)	Flèche - fluage (mm)	Épaisseur de la membrane (mm)
7	Mur nu-19	Collage	1,41E-05	0,7017	0,00029	Non détect.	Non détect.	0,00	S.O.	1,41 ± 0,045
	Mur nu-19-2	Collage	2,33E-05	0,6262	Non détect.	Non détect.	0,00	S.O.	1,41 ± 0,045	
	A.D.L.-20	Collage	1,30E-03	0,6610	0,02256	0,0237	0,0237	0,00	S.O.	1,41 ± 0,045
	Avec creux-21	Collage	2,18E-05	0,6574	0,00037	0,0003	0,0071-0,0138	0,00	2,47	1,41 ± 0,045
8	Mur nu-22	Collage	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	21,65	S.O.	1,29 ± 0,052
	A.D.L.-23	Collage	2,00E-03	0,6034	0,02707	0,02852	0,24883	58,13	S.O.	1,29 ± 0,052
	Avec creux-24	Collage	Non détect.	Non détect.	Non détect.	0,00048	0,00051	36,46	S.O.	1,29 ± 0,052
9	Mur nu-25	Truelle	7,61E-04	0,5595	0,00852	0,00263	Non détect.	0,00	S.O.	1,98 ± 0,25
	A.D.L.-26	Truelle	9,41E-05	0,7864	0,00281	0,00199	0,00118	0,00	S.O.	1,98 ± 0,25
10	Mur nu-27	Truelle	1,77E-05	0,9697	0,00117	0,00077	0,00091	0,00	S.O.	3,25 ± 0,95
	A.D.L.-28	Truelle	2,30E-03	0,6896	0,04516	0,03297	0,02676	0,00	S.O.	3,25 ± 0,95
11 et feuille	Mur nu-29	Truelle	4,30E-03	0,534	0,04313	0,04380	0,04480	0,00	S.O.	3,18 ± 1,0
	A.D.L.-30	Truelle	2,64E-05	0,9545	0,00162	0,00237	0,00228	< 1,00	S.O.	~3 à ~12
	Avec creux-40	Truelle/feuille adhés.	4,36E-05	0,7922	0,00133	0,00232	0,51517	45,70	Défaill.	7,37 ± 6,40
									Résist.	1,10 ± 0,099
12	Mur nu-31	Truelle	4,71E-04	0,8302	0,01698	0,02113	0,02582	0,57	S.O.	7,00 ± 5,00
	A.D.L.-32	Truelle	1,16E-02	0,6518	0,19347	0,18230	0,19080	< 0,5	S.O.	7,00 ± 5,00

TABLEAU RÉCAPITULATIF DE L'ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DES PARE-AIR

Échant. numéro	Mur - Description et n	Application de la membrane	Données de comportement							
			Coefficient de débit C (L/s/m ²)	Exposant de débit n (adimensionnel)	Étanchéité initiale ΔP=75 Pa (L/s/m ²)	Étanchéité après rafale ΔP=75 Pa (L/s/m ²)	Étanchéité après vent sout. ΔP=75 Pa (L/s/m ²)	Décollement du pare-air (%)	Flèche - fluage (mm)	Épaisseur de la membrane (mm)
13	Mur nu-33	Fix. méc.	6,62E-05	0,8352	0,00244	0,00200	0,00190	0,00	S.O.	0,390 ± 0,01
	A.D.L.-34	Fix. méc.	1,45E-04	0,8972	0,00696	0,00770	0,00770	0,00	S.O.	0,390 ± 0,01
	Avec creux-35	Fix. méc.	7,54E-06	0,9411	0,00044	0,00101	0,00960	0,00	0,10	0,390 ± 0,01
14	Mur nu-36	Fix. méc. avec joint	1,44E-04	0,9001	0,00700	0,00710	0,007703	0,00	S.O.	74,50 ± 2,96
	Avec creux-38	Fix. méc.	1,12E-04	0,9141	0,00579	0,00509	0,00501	0,00	0,03	74,50 ± 2,96
15	Mur nu-41	Projection	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	0,00	S.O.	51,38 ± 6,72
16	Mur nu-42	Projection	9,66E-06	0,8291	0,00035	0,00058	0,00035	0,00	S.O.	54,27 ± 8,32
17	Mur nu-43	Projection	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	Non détect.	0,00	S.O.	53,21 ± 11,21

Les numéros d'échantillon en caractères ordinaires indiquent les essais de Phase I.

Les numéros d'échantillon en caractères gras indiquent les essais de Phase II.

Annexe B

Photographies

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

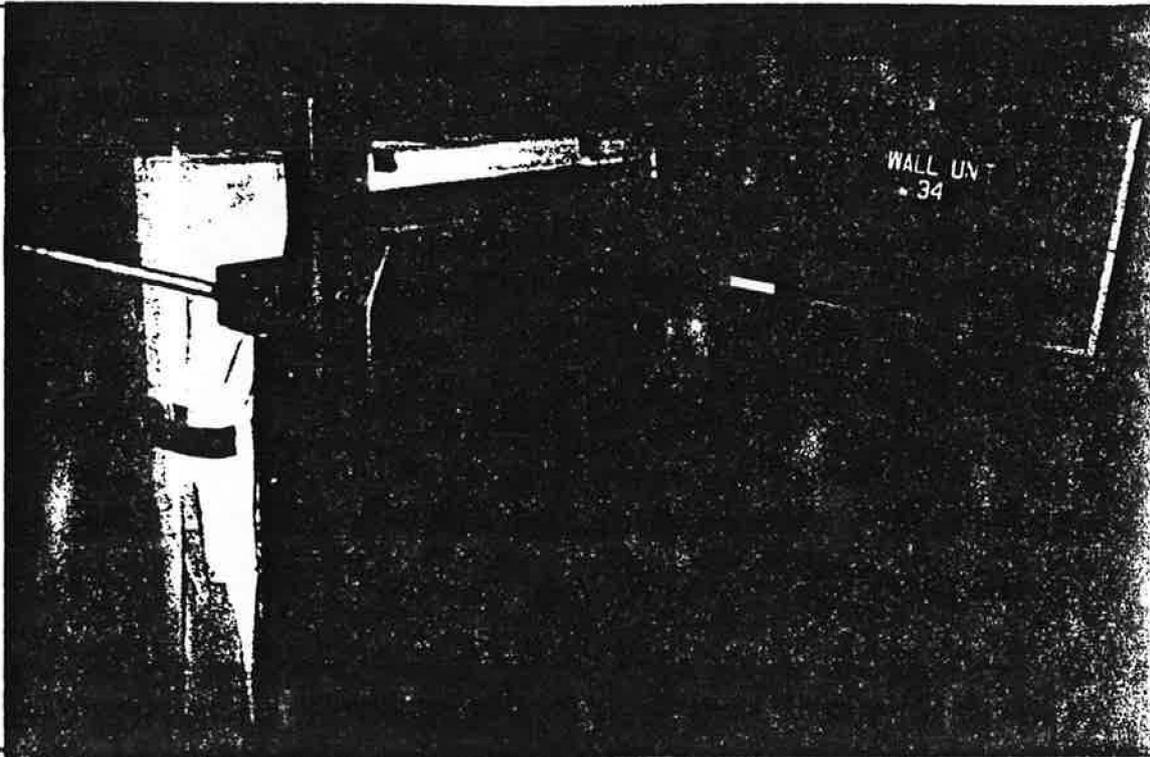


Figure B-1 - Appareil d'essai installé sur un pare-air

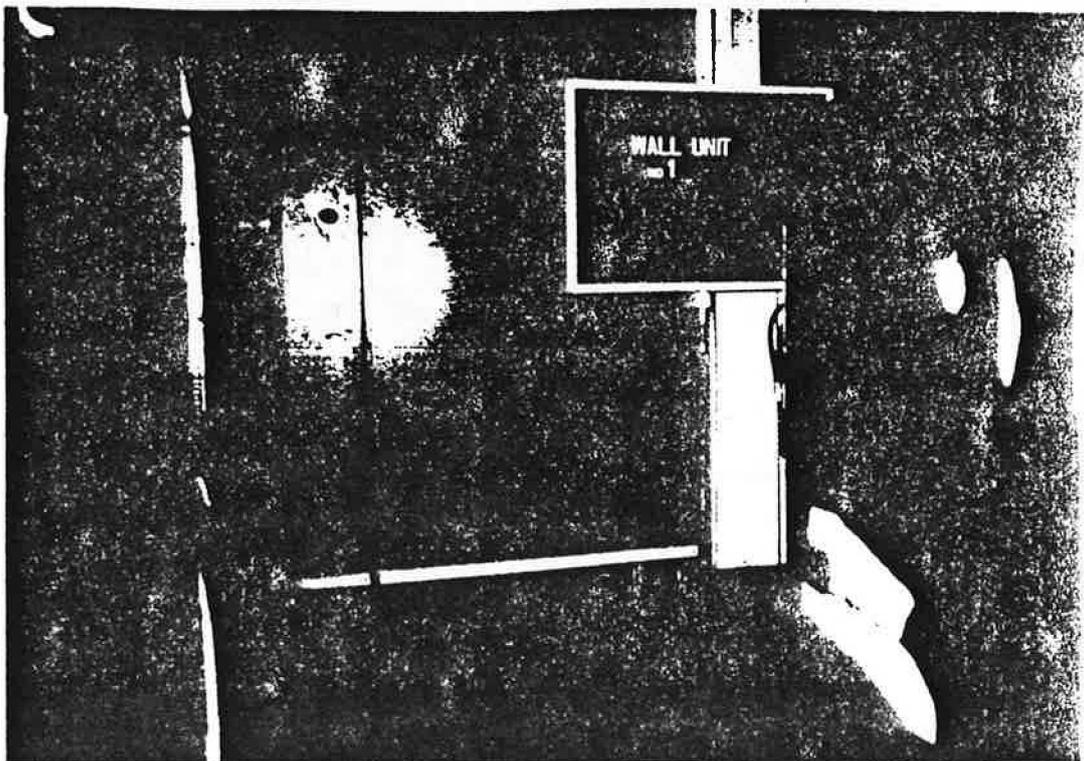


Figure B-2

Échantillon n° 1 après essai - pare-air thermofusible

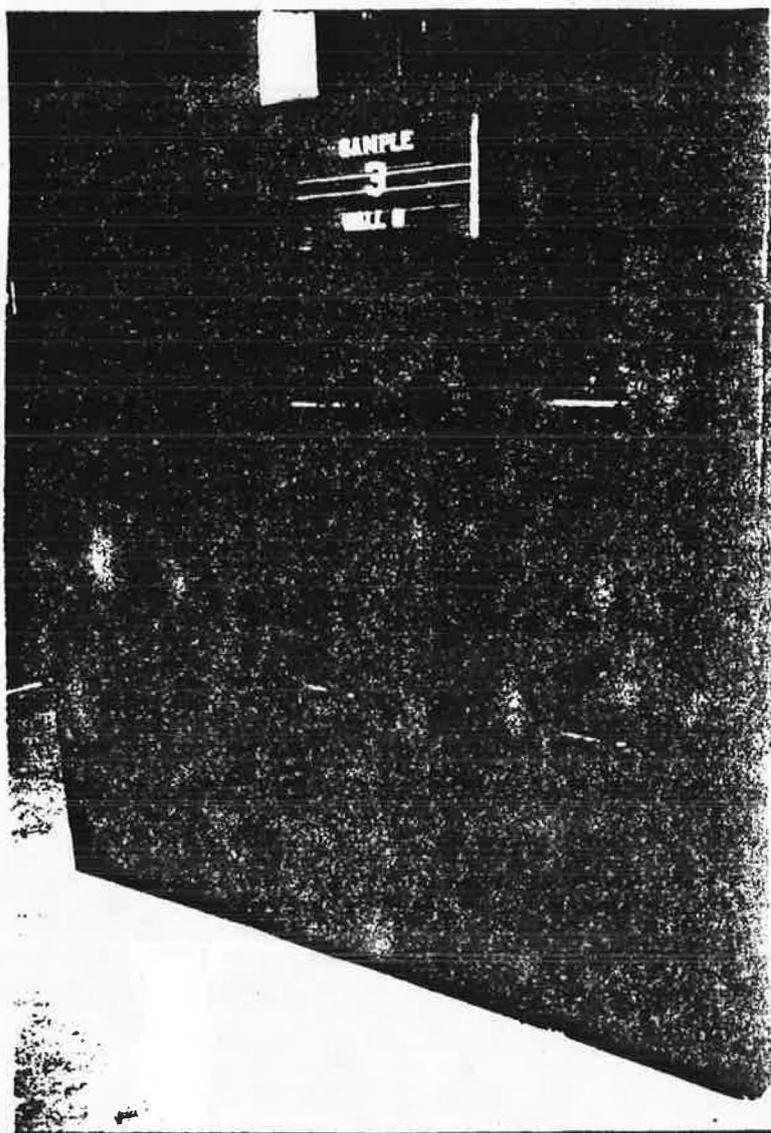


Figure B-3

Échantillon n° 3 après essai sur un mur avec agrafes de liaisonnement -
pare-air thermofusible

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

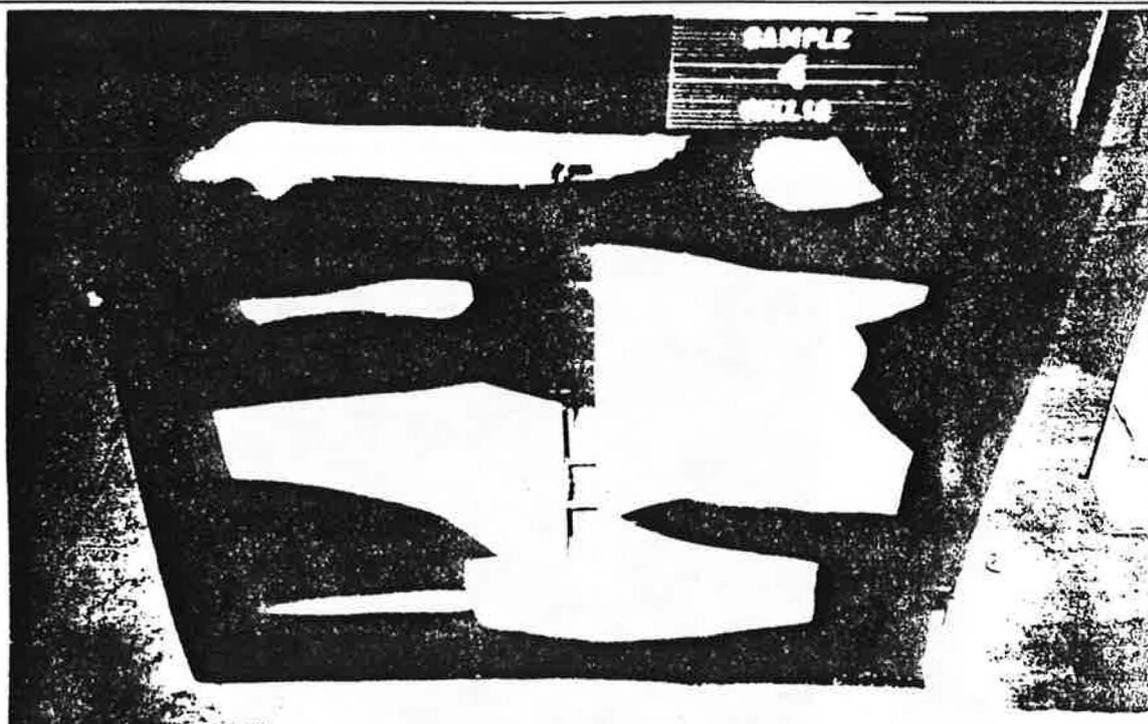


Figure B-4 - Échantillon n° 4 après essai sur un mur avec creux -
pare-air thermofusible

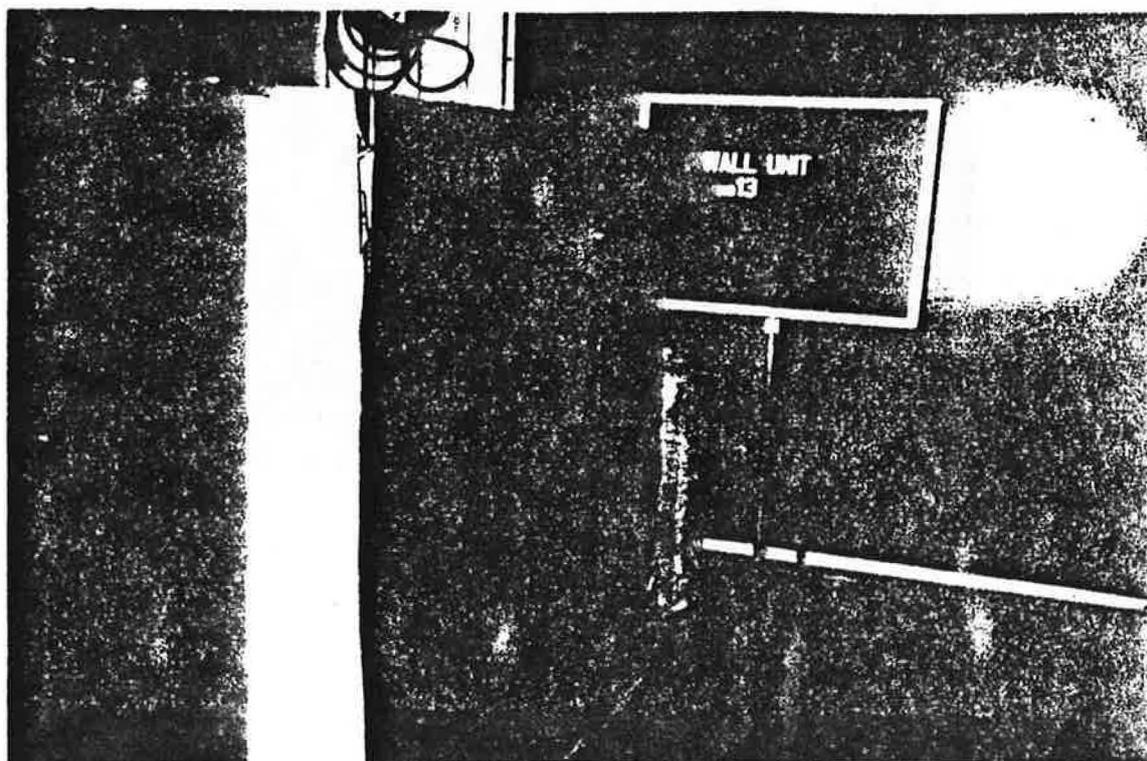


Figure B-5
Échantillon n° 5 après essai sur un mur nu -
pare-air appliqué par collage

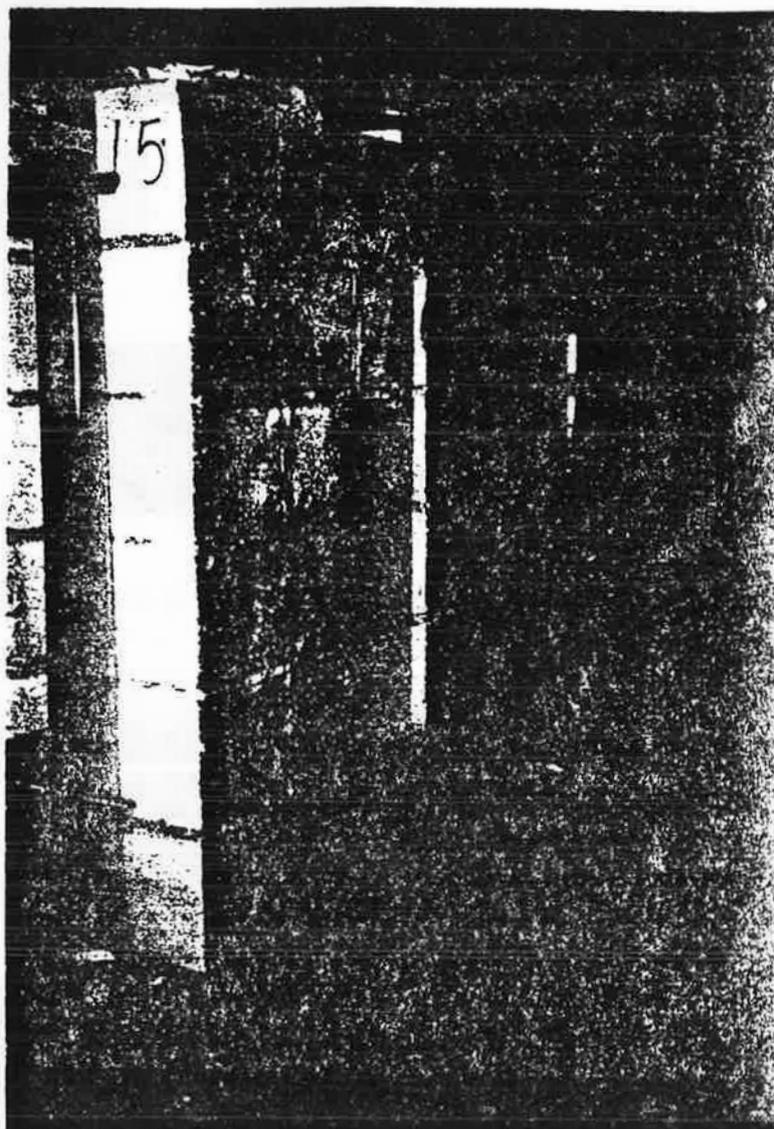


Figure B-6

Échantillon n° 5 après essai sur un mur avec creux -
pare-air appliqué par collage

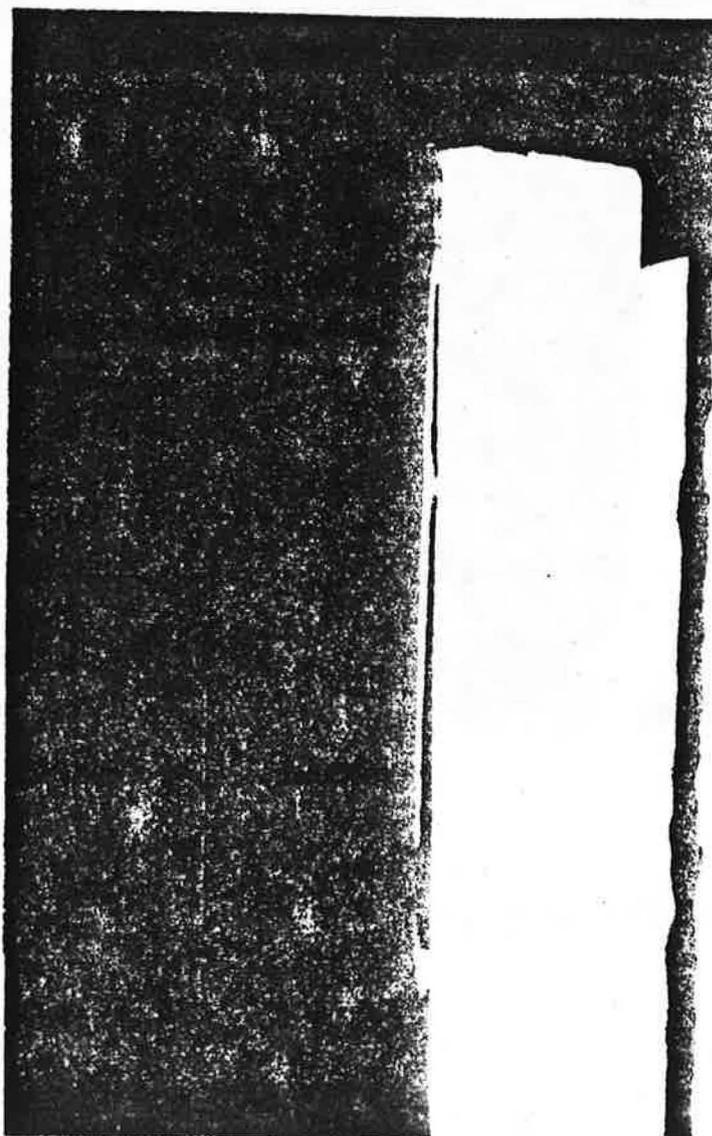


Figure B-7
Échantillon n° 6 après essai sur un mur nu -
pare-air appliqué par collage

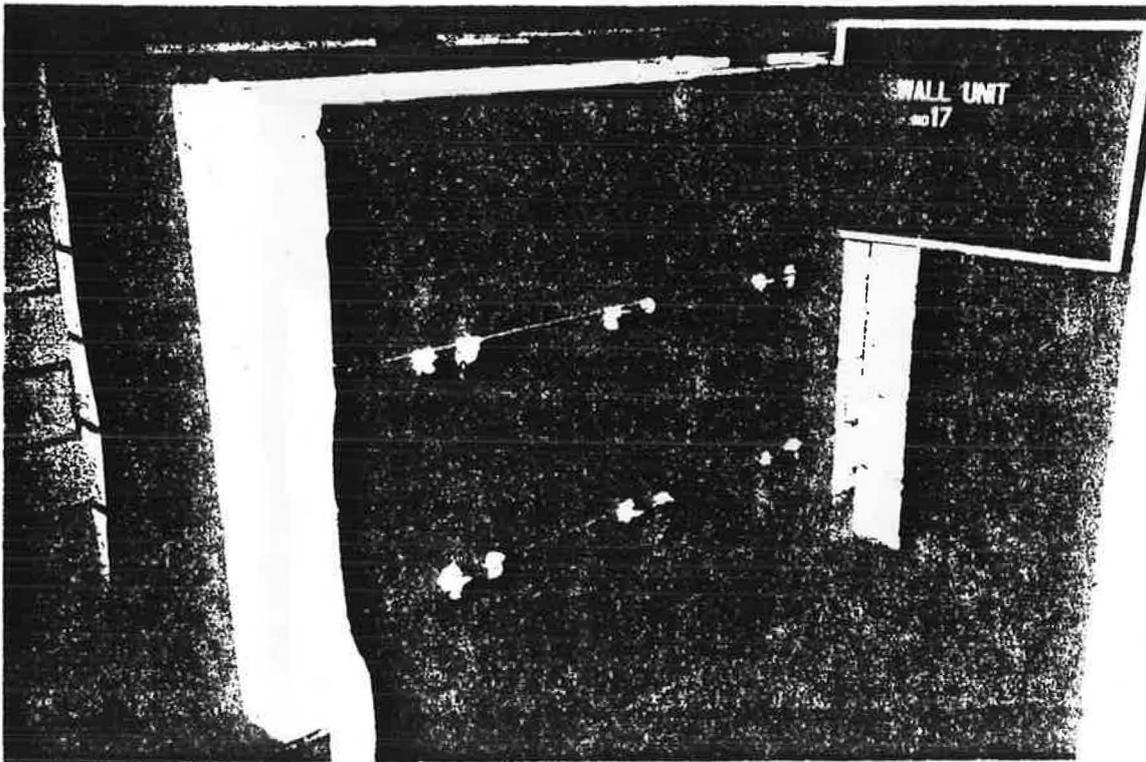


Figure B-8

Échantillon n° 6 après essai - pare-air appliqué par collage

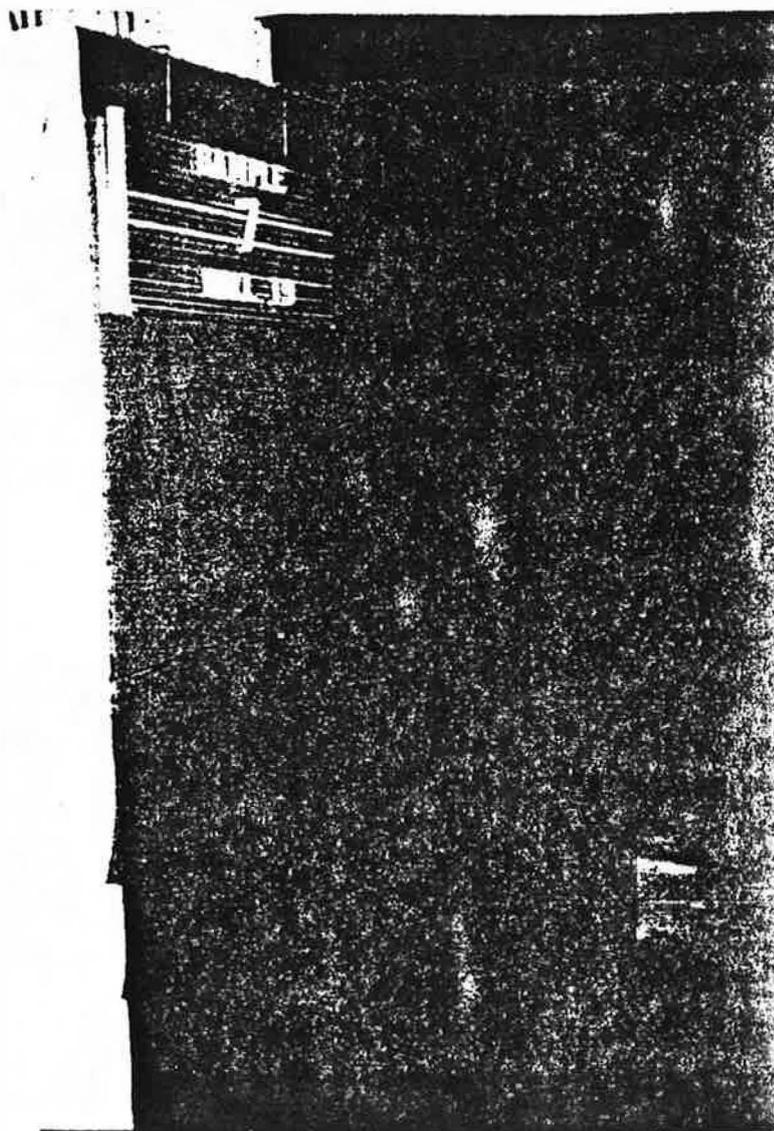


Figure B-9
Échantillon n° 7 après essai sur un mur nu -
pare-air appliqué par collage

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

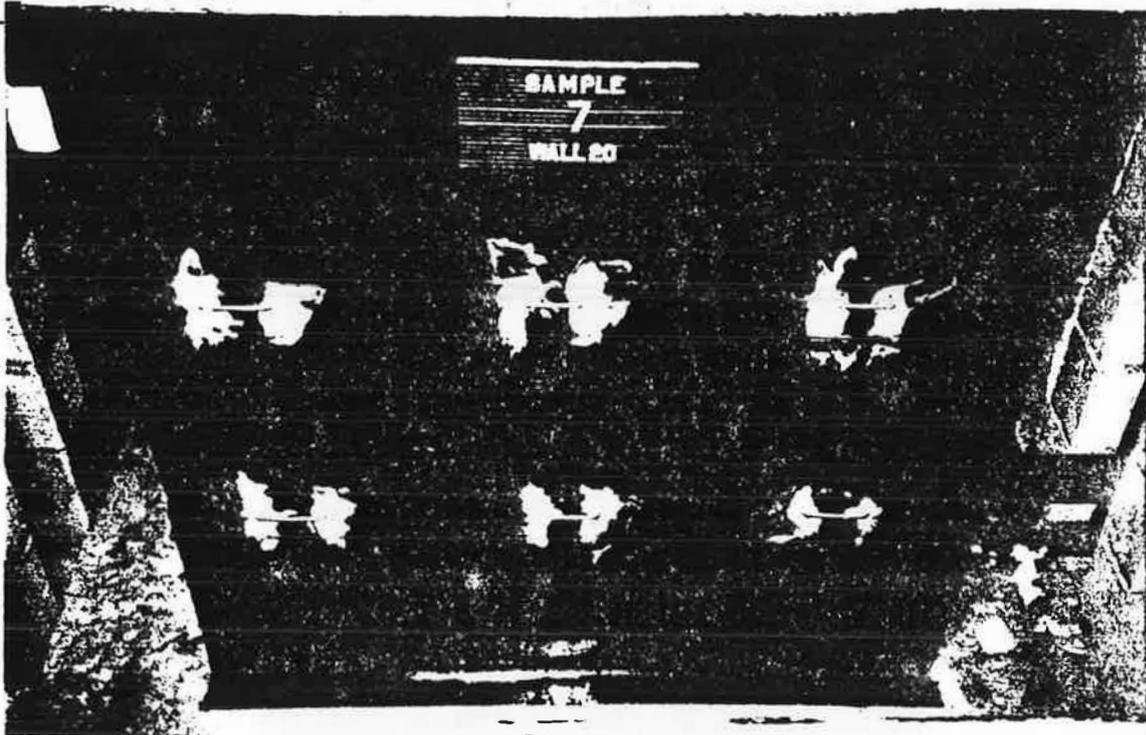


Figure B-10

Échantillon n° 7 après essai sur un mur avec agrafes de liaisonnement -
pare-air appliqué par collage

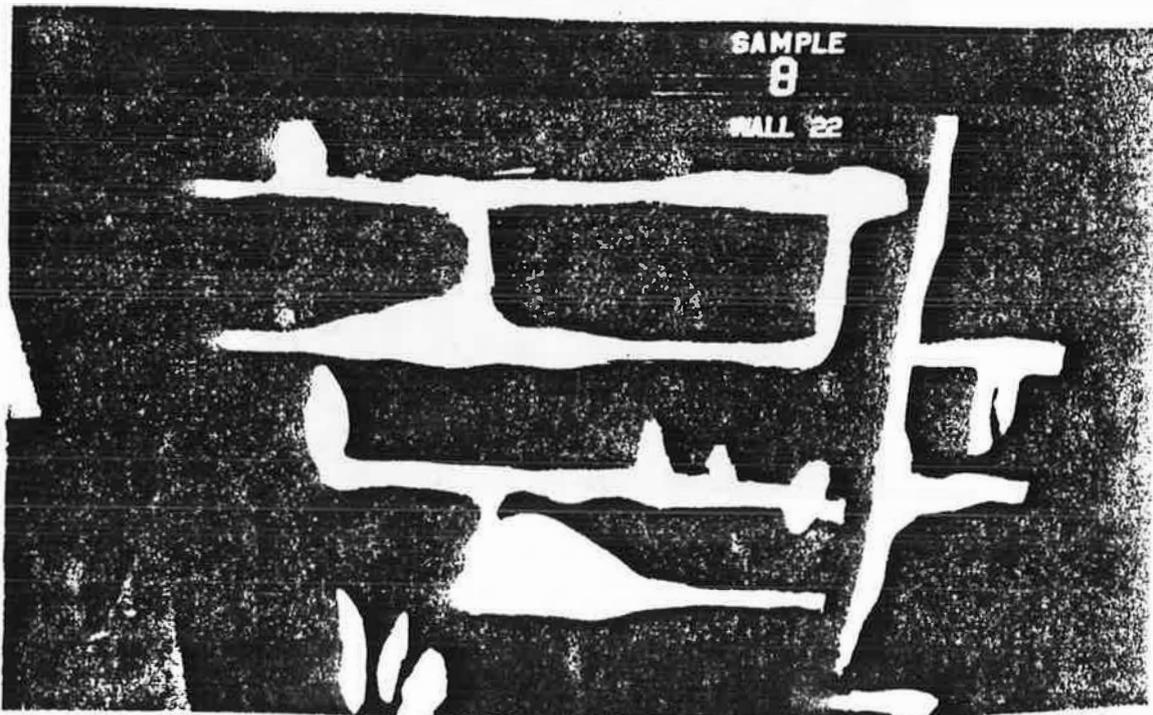


Figure B-11

Échantillon n° 8 après essai sur un mur nu -
pare-air appliqué par collage

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

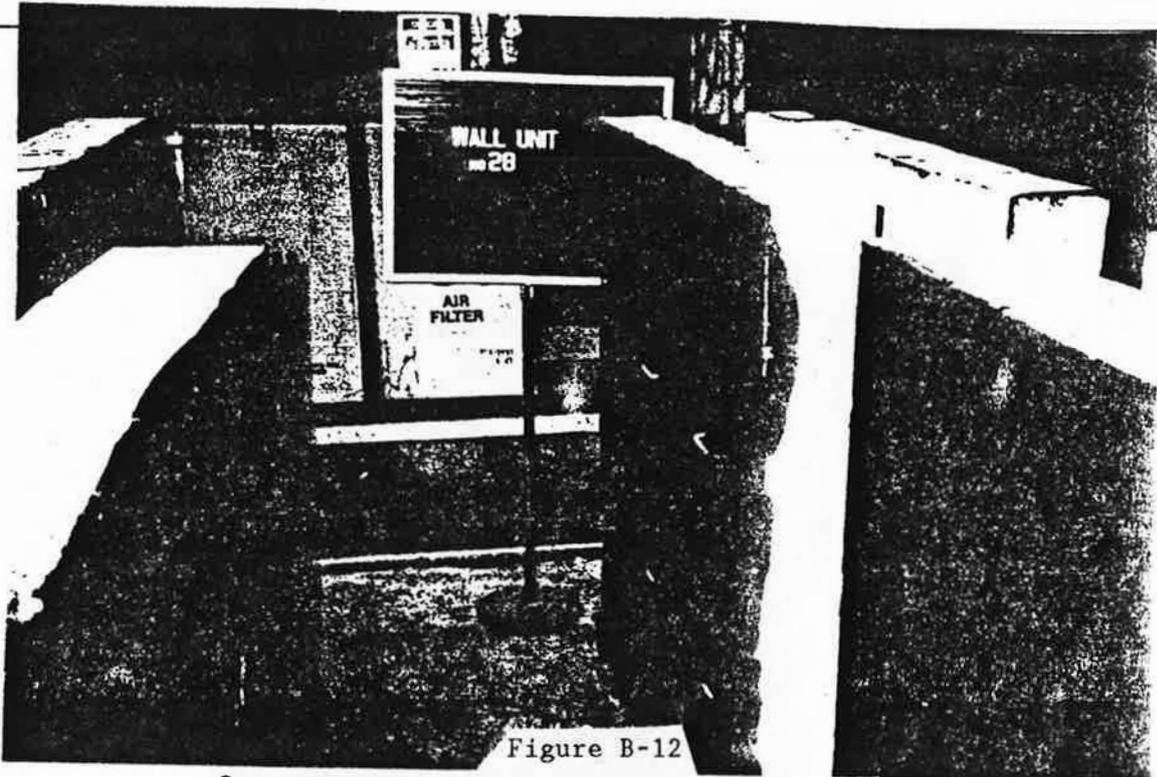


Figure B-12

Échantillon n° 10 après essai sur un mur avec agrafes de liaisonnement -
pare-air appliqué à la truelle

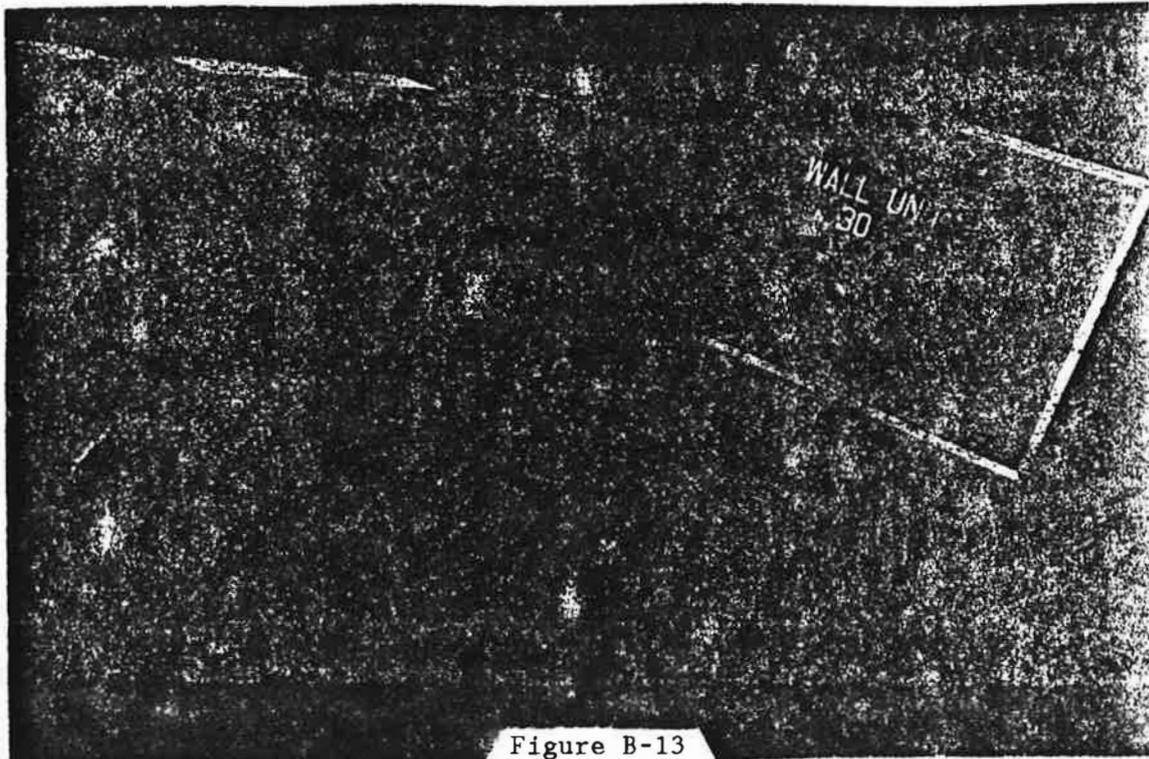


Figure B-13

Échantillon n° 11 après essai sur un mur avec agrafes de liaisonnement -
pare-air appliqué à la truelle

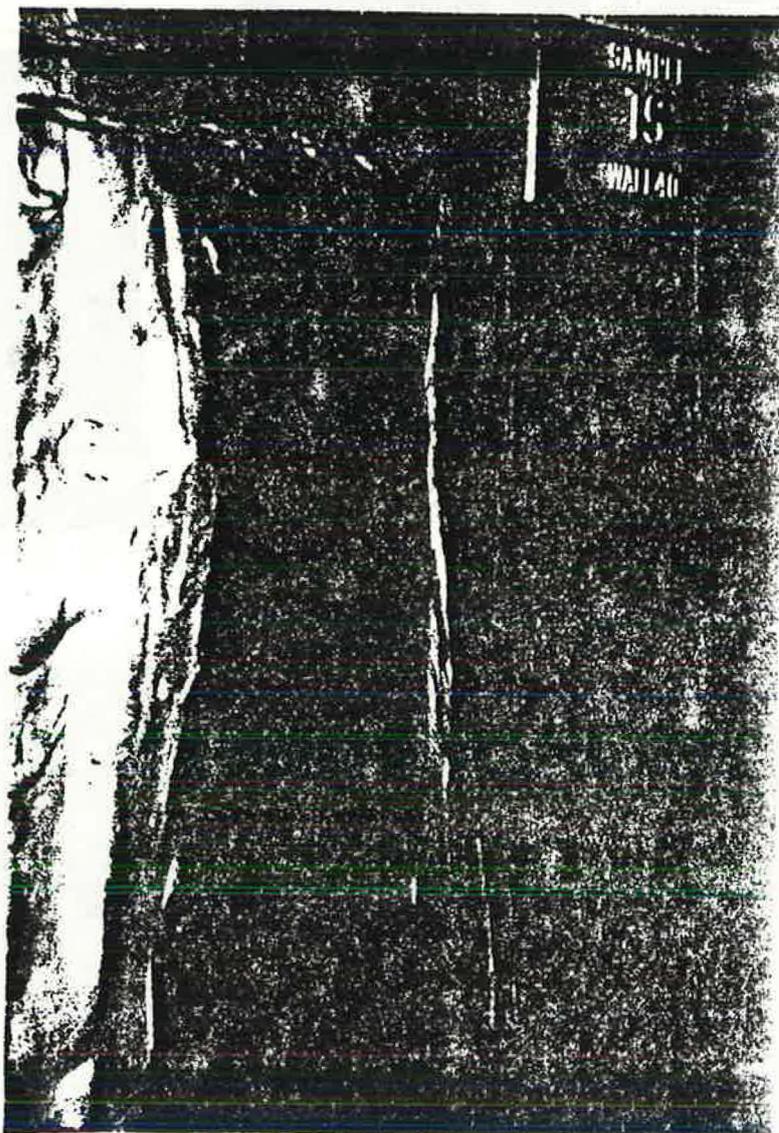


Figure B-14

Échantillon n° 11 après essai sur un mur avec creux -
pare-air appliqué à la truelle avec feuille

Évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie

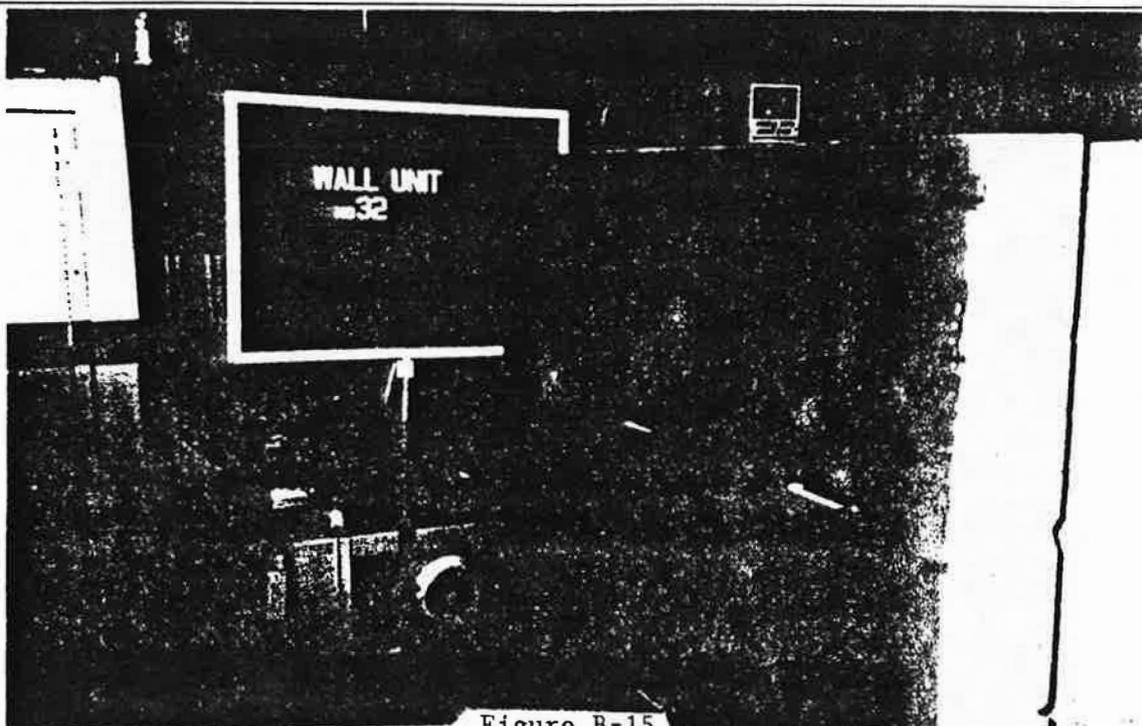


Figure B-15

Échantillon n^o 12 après essai sur un mur avec agrafes de liaisonnement -
pare-air appliqué à la truelle

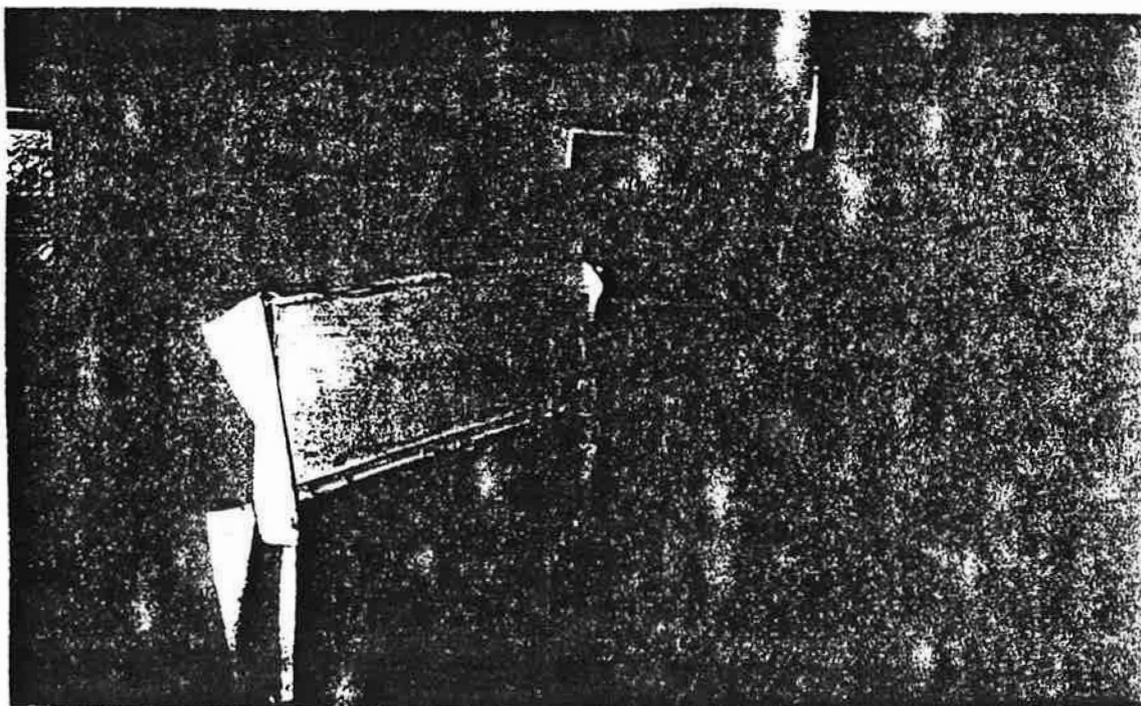


Figure B-16

Échantillon n^o 13 après essai sur un mur avec agrafes de liaisonnement -
pare-air fixé mécaniquement

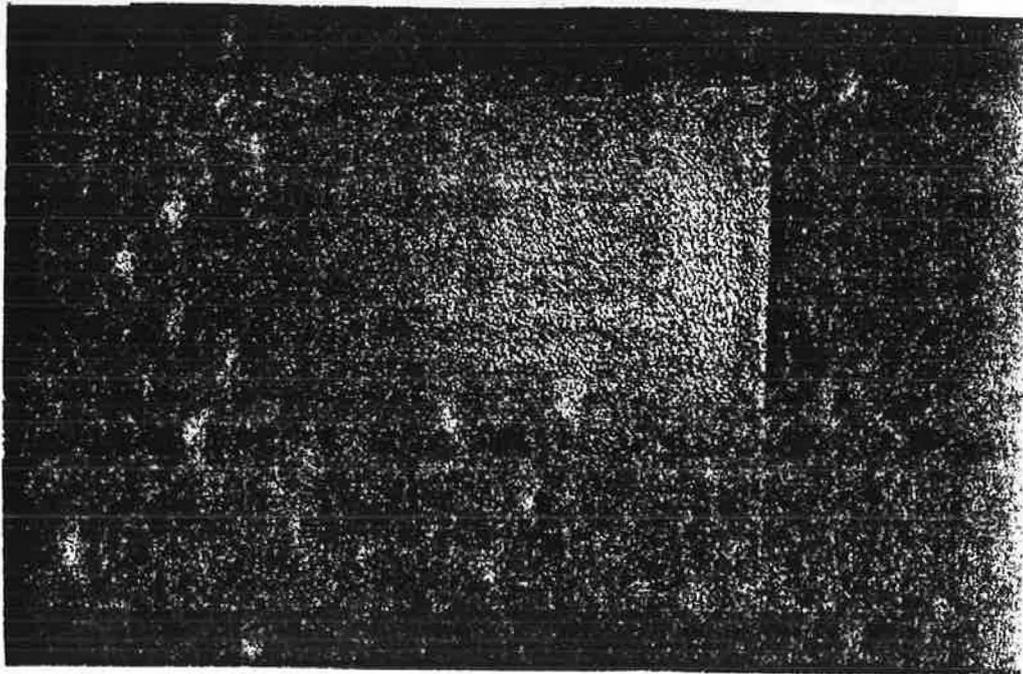


Figure B-17

Échantillon n^o 16 après essai sur un mur nu - pare-air projeté

Annexe C

Instruments

Instruments ayant servi aux essais

Variable mesurée	Instrument utilisé	Précision
Mouvement d'air	Transducteur de débit massique Hastings modèle HFM200-H, n ^o de série 351 (tension 0-5 V)	0,5 % de la valeur indiquée
Mouvement d'air	Transducteur de débit massique Datametrics, modèle 1205, n ^o de série 351 (tension 0-5 V)	0,5 % de la valeur indiquée
ΔP des murs	Micromanomètre Air Inst. Resources Ltd. modèle MP3KDS, n ^o de série 3260 (tension 0-1 V)	1 % de la valeur indiquée ± 1
Température ambiante	Thermocouple Iron/Constantan avec système d'acquisition de données F.É.M. température	0,5 % de la valeur indiquée
Pression atmosphérique	Baromètre Princo Instruments Inc. type Fortin, modèle 435	Non disponible
Point de rosée et H.R.	Hygromètre numérique Novasina modèle MIK 3000-E	1 % de la valeur indiquée
Acquisition de données	Analog Connection ACSE modèle HA-ACSE-16	0,05 % de la tension indiquée

