

6591

**EXIGENCES STRUCTURALES DES
PARE-AIR**

RAPPORT

**EXIGENCES STRUCTURALES
DES PARE-AIR**

Présenté à :

M. Jacques Rousseau

Directeur de projet

Société canadienne d'hypothèques et de
logement

Division de la mise en oeuvre des projets
682, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

Rapport n° 30133.OR113 août 1991

TABLE DES MATIÈRES

Page

1. INTRODUCTION
2. DÉFINITION DE LIGNES DIRECTRICES POUR LA
CONCEPTION DES PARE-AIR
3. DESCRIPTION GÉNÉRALE DES CHARGES S'EXERÇANT SUR
LES PARE-AIR
4. TRAJETS DES PRESSIONS D'AIR DES MURS EXTÉRIEURS
5. AMPLEUR DES PRESSIONS S'EXERÇANT SUR LES PARE-AIR
6. INTÉGRITÉ STRUCTURALE DES MATÉRIAUX PARE-AIR
7. MÉTHODE DÉRIVÉE DU CODE ET AUTRE MODE DE
CALCUL DES SURCHARGES DUES AU VENT
8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

RÉFÉRENCES

I. INTRODUCTION

Le Code national du bâtiment du Canada exige la mise en oeuvre d'un pare-air efficace pour empêcher l'infiltration et l'exfiltration d'air. Les éléments de l'enveloppe du bâtiment qui assurent cette étanchéité à l'air constituent ce que l'on appelle le «pare-air».

Tous les plans verticaux (murs) et horizontaux (toits et plafonds) de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment doivent comporter un pare-air. Le présent rapport porte exclusivement sur les exigences applicables aux pare-air des murs de bâtiments.

Le but du rapport est de renseigner le concepteur sur les «exigences structurales» des pare-air. Il faudra faire appel à un large éventail de sources d'information et d'expertise et à de nombreuses discussions en vue d'établir et de recommander une méthode ou une norme de conception structurale des pare-air. Le rapport fournit des lignes directrices provisoires et suggère un cadre de travail pour l'élaboration de recommandations finales concernant la conception structurale des pare-air. L'expression «conception structurale» fait ici référence à des exigences de résistance, de rigidité, d'adaptation aux mouvements du bâtiment et de durabilité. Jusqu'ici, les recherches sur les pare-air ont surtout porté sur la prévention des fuites d'air et sur la mise au point d'éléments de construction pouvant jouer le rôle de pare-air. Les techniques de construction actuelles ne tiennent pas compte des exigences structurales des pare-air. Pourtant, il existe des exigences «structurales» à leur égard.

Le Code national du bâtiment (CNB) n'exige pas que les pare-air fassent l'objet d'une étude technique, mais simplement la mise en oeuvre d'un pare-air efficace qui s'oppose à l'infiltration et à l'exfiltration d'air. De façon générale, les concepteurs de bâtiments ne sont pas sensibilisés au fait que le pare-air peut être soumis à des pressions d'air élevées dues à l'action du vent sur un bâtiment, et qu'un pare-air n'est véritablement efficace que dans la mesure où il peut résister à ces surcharges. Les concepteurs ne se doutent pas non plus que le pare-air doit aussi résister à des pressions moins élevées mais de durée prolongée comme, par exemple, l'effet de tirage à l'intérieur d'un bâtiment. Même si elles sont peu élevées, ces charges constantes peuvent contribuer au fluage et entraîner subséquemment la détérioration de certains éléments du bâtiment. D'autres charges de faible ampleur mais qui varient de façon constante, telles que les rafales de vent quotidiennes, risquent d'entraîner la rupture par fatigue de certains matériaux.

Les codes du bâtiment renferment des exigences structurales pour les parements extérieurs. Ainsi, le Code national du bâtiment fournit des lignes directrices permettant d'établir les pressions nettes de calcul à utiliser pour les parements extérieurs. La pression nette de calcul correspond à la somme des pressions intérieure et extérieure qui s'exercent sur le

bâtiment. Ces pressions de calcul ont été déterminées en tenant compte d'une marge de sécurité afin d'éliminer le risque, pour les occupants, d'être éjectés ou aspirés sous l'effet de la pression d'air (dans les tours d'habitation) ou d'être blessés par la chute de composants de parement, advenant la défaillance du parement extérieur du bâtiment. Par conséquent, les pare-air intégrés au parement du bâtiment doivent satisfaire à certaines exigences structurales du Code. Les parements en béton préfabriqué construits selon la méthode de la «face scellée» sont un exemple de matériaux pare-air assujettis aux exigences structurales du Code. Toutefois, le Code vise à éviter les «défaillances» associées à la perte de capacité porteuse ou d'ancrage. La détérioration du matériau d'étanchéité, pourtant déterminante pour l'efficacité du pare-air, n'est pas couverte par les exigences structurales du Code applicables aux parements.

Actuellement, le Code ne contient aucune exigence structurale pour les pare-air dont la défaillance ne compromet pas leur capacité de porter le parement du bâtiment. Ainsi, le mastic de calfeutrage d'un mur à face scellée et le pare-air situé à l'intérieur des murs à écran pare-pluie ne sont pas couverts par le Code. La défaillance d'un pare-air situé à l'intérieur d'un mur ne pose pas le même danger pour le public que la défaillance d'ancrage du parement : elle ne met pas en danger les piétons ni les occupants du bâtiment. Par contre, la défaillance d'un pare-air situé à l'intérieur d'un mur entraînera une augmentation des pressions d'air qui s'exercent sur les autres plans du mur, tels que le parement. Toutefois, puisque le Code exige que le parement soit conçu de façon à résister aux pressions d'air, la défaillance du pare-air ne donnera pas nécessairement lieu à celle du parement.

À titre d'ensemble structural, le pare-air est soumis à des surcharges dues à la ventilation mécanique (pressurisation), à l'effet de tirage et au vent. Le pare-air situé dans un mur, qui se détériore en raison des surcharges structurales qu'il subit, cesse alors de jouer son rôle de «pare-air». Cette détérioration peut passer inaperçue et avoir pour conséquence probable d'accélérer la dégradation de l'enveloppe du bâtiment à cause de la corrosion, des dommages attribuables aux cycles de gel-dégel, de l'efflorescence, etc. Pour être efficace, le pare-air doit pouvoir résister aux pressions d'air auxquelles il sera soumis pendant sa durée en service.

La mise au point d'exigences applicables à la conception structurale des pare-air permettra aux concepteurs de faire en sorte que les pare-air remplissent leur fonction pendant toute leur durée utile.

Certains matériaux utilisés comme pare-air sont déjà régis par des codes et des méthodes de conception. La tôle de chemisage en acier, le béton préfabriqué, les panneaux de béton coulés en place et le verre en sont des exemples. Toutefois, pour de nombreux autres matériaux tenant lieu de pare-air, comme les plastiques, les plaques de plâtre, etc., il n'existe pas de code

ni de méthode de conception établie. Les concepteurs ont pourtant besoin d'une méthode cohérente et uniforme pour la conception et la spécification des pare-air. Le présent rapport devrait déboucher sur la rédaction d'un guide de conception des pare-air qui traiterait des exigences et des méthodes de conception et fournirait l'information nécessaire pour la conception de produits pare-air. Dans la section qui suit, nous passons en revue :

- . les modes de présentation que pourraient prendre ces lignes directrices sur la conception des pare-air,
- . l'information connue,
- . l'information qui doit être recueillie ou acquise, et
- . les lignes directrices provisoires qui peuvent être mises au point.

NOTE: Issued also in English under the title:
Structural Requirements for Air Barriers
August 1991



2. DÉFINITION DE LIGNES DIRECTRICES POUR LA CONCEPTION DES PARE-AIR

Le Code national du bâtiment exige la mise en oeuvre d'un pare-air efficace. Pour qu'un pare-air soit efficace, il doit pouvoir limiter les fuites d'air à un niveau acceptable.

Le niveau acceptable des fuites d'air est déterminé par :

- . le niveau d'humidité intérieure,
- . le niveau de confort intérieur recherché,
- . la susceptibilité des murs à la condensation résultant de fuites d'air humide,
- . la capacité des murs d'évacuer la vapeur d'eau et la susceptibilité des murs à la détérioration provoquée par la vapeur d'eau, et
- . le niveau d'efficacité énergétique recherché.

Un pare-air efficace peut être constitué par un seul plan d'étanchéité à l'air ou par la résistance combinée de plusieurs plans au mouvement de l'air. Du point de vue structural, il est préférable d'avoir recours à un seul plan offrant une plus grande étanchéité à l'air que le reste du mur, car on peut alors considérer ce plan comme le pare-air et le concevoir en fonction des charges auxquelles il devra résister. D'autres plans relativement étanches à l'air à l'intérieur du mur seront également soumis à des pressions d'air dont on devra tenir compte. Par contre, un seul plan du mur sera conçu pour servir spécifiquement de pare-air.

Voici les objectifs visés par l'établissement de lignes directrices sur la conception structurale des pare-air :

Intégrité structurale

1. Le pare-air doit présenter une faible probabilité de défaillance au cours de sa durée utile théorique. Voici des exemples de défaillances qu'il peut subir :
 - . détérioration des matériaux ou des joints sous l'effet de charges élevées,
 - . rupture par fatigue des matériaux ou des joints sous l'effet de charges cycliques fréquentes, et
 - . détérioration des matériaux ou des joints sous l'effet du fluage.

Tenue en service

2. Le pare-air sera parfois soumis à des contraintes structurales additionnelles au cours de sa durée en service.

En voici quelques exemples :

- . Les limites de déformation ou les critères de rigidité d'un pare-air sont fixés en fonction de charges courantes. Dans certains cas, on devra fixer des limites de déformation ou des critères de rigidité afin d'éviter que le pare-air et l'isolant thermique ne viennent en contact. Ces limites devront également être établies de façon à assurer l'équilibrage des pressions dans les murs à écran pare-pluie.

On devra éventuellement tenir compte à la fois des exigences d'intégrité structurale et de tenue en service pour la conception des pare-air, mais, dans une première étape, nous avons surtout concentré nos efforts sur les critères visant à préserver l'intégrité structurale des pare-air. Puisque le rôle d'un pare-air consiste à opposer une résistance au mouvement de l'air, nous pouvons considérer les défaillances suivantes comme des défaillances structurales des pare-air :

- . défaillance des matériaux composant le pare-air,
- . défaillance des joints entre les matériaux pare-air, et
- . déformation permanente des matériaux pare-air (p. ex. aux joints) favorisant de fortes fuites à travers le pare-air.

Ces défaillances structurales peuvent résulter de l'occurrence unique de charges très élevées (charges ultimes) ou de l'application constante ou cyclique de charges moindres.

Dans le présent rapport, le terme «pression» désigne la pression d'air relative, c'est-à-dire la pression qui s'ajoute à la pression atmosphérique ambiante, due au vent, à l'effet de tirage, à la ventilation mécanique du bâtiment, etc. Pour la compréhension des discussions qui suivent, il nous semble important de définir certains termes couramment utilisés en génie des structures.

Jusqu'à récemment, le calcul de la plupart des structures s'inspirait de la méthode des contraintes admissibles ou méthode des contraintes utiles. Cette méthode de calcul fait appel à des charges représentatives des contraintes qui s'exercent quotidiennement sur un bâtiment (charges spécifiées ou charges de service). Le concepteur calcule d'abord les contraintes dues aux charges spécifiées, puis il tient compte d'un «coefficient de sécurité» qui offre un compromis acceptable entre les contraintes

ultimes auxquelles la structure peut être soumise et les contraintes résultant des charges spécifiées.

Les codes de conception structurale adoptent graduellement la méthode de calcul aux états limites ou de calcul à la résistance limite. Le concepteur qui adopte cette méthode doit calculer une charge «pondérée» ou «ultime» qui représente la limite supérieure des charges auxquelles sera exposée la structure pendant sa durée en service. Le concepteur doit aussi calculer la résistance «pondérée» ou «ultime» qui correspond à la limite inférieure de résistance de la structure. Une structure est dite satisfaisante sur le plan structural lorsque sa «résistance pondérée» dépasse ses «charges pondérées».

Les auteurs du présent rapport recommandent de s'en remettre à la méthode de calcul aux états limites en vue d'établir des lignes directrices pour la conception structurale des pare-air.

Le tableau qui suit indique les charges qui doivent être prises en compte pour la conception structurale des pare-air.

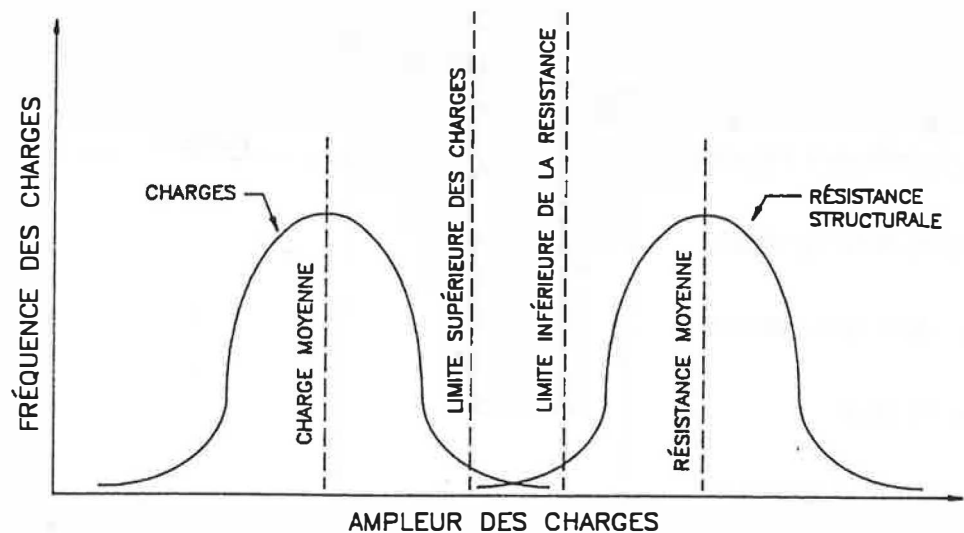
Charges pouvant entraîner une défaillance structurale	TYPE DE DÉFAILLANCE STRUCTURALE		
	Résistance statique	Résistance à la fatigue	Résistance au fluage
Vents de force extrême	•		
Vents de force courante		•	
Effet de tirage	•		•
Ventilation mécanique	•		•
Résistance à l'expansion et à la contraction thermiques	•	•	•

Les pare-air intégrés à des murs à écran pare-pluie se situent généralement du côté chaud de l'isolant et ils ne sont donc pas soumis à d'importantes contraintes thermiques. Les contraintes dues à la résistance aux mouvements d'expansion et de contraction thermiques sont toutefois plus significatives dans le cas des parements «à face scellée».

Le principal but de la conception structurale est de limiter à un niveau acceptable la probabilité que la résistance

(statique, à la fatigue ou au fluage) d'une structure ne soit pas dépassée par les charges qui s'exercent sur elle. Le concepteur devra donc comparer la limite supérieure des charges de calcul à la limite inférieure de la résistance structurale pour déterminer si le bâtiment est satisfaisant sur le plan structural.

1. Fréquence des charges
2. Charges
3. Charge moyenne
4. Limite supérieure des charges
5. Limite inférieure de la résistance
6. Résistance moyenne
7. Résistance structurale
8. Ampleur des charges
9. Remarque : Les probabilités de défaillance sont les plus faibles lorsque la limite inférieure de la résistance dépasse la limite supérieure des charges.



REMARQUE:
LES PROBABILITÉS DE DÉFAILLANCE SONT LES PLUS FAIBLES
LORSQUE LA LIMITE INFÉRIEURE DE LA RÉSISTANCE DÉPASSE
LA LIMITE SUPÉRIEURE DES CHARGES.

3. DESCRIPTION GÉNÉRALE DES CHARGES S'EXERÇANT SUR LES PARE-AIR

Charges perpendiculaires au pare-air

Le pare-air transmet les pressions d'air au mur qui, à son tour, les transmet à la charpente du bâtiment. Voici les pressions d'air qui s'exercent sur le pare-air :

1. les pressions d'air intérieure et extérieure découlant des effets du vent,
2. la pression d'air intérieure due à la ventilation mécanique, et
3. la pression d'air intérieure due à l'effet de tirage.

Charges parallèles au pare-air

Les charges s'exerçant dans le sens du plan d'étanchéité à l'air peuvent s'expliquer par la déformation globale de la charpente du bâtiment. En effet, la charpente fléchit sous l'action du vent, du mouvement différentiel des fondations, des écarts thermiques, du fluage et du retrait du béton, etc. Les murs doivent donc être conçus de façon à éviter que les mouvements de la charpente imposent des charges indues au parement du bâtiment. Toutefois, dans le cas de certaines constructions, le parement agit comme un diaphragme et transmet les charges de vent et les charges sismiques latérales aux fondations. Un élément ou une membrane pare-air rigide qui adhère à un support lui aussi rigide et qui fait partie intégrante de la structure principale sera soumis à des charges agissant dans le sens du plan d'étanchéité à l'air en raison de la déformation de la structure du bâtiment.

Pressions d'air dues au vent s'exerçant sur un bâtiment

La principale contrainte qui s'exerce sur un pare-air est due à la pression d'air. Cette pression d'air résulte de l'action du vent, de l'effet de tirage et de la ventilation mécanique (pressurisation) du bâtiment. Les pressions d'air élevées qui s'exercent sur un pare-air proviennent principalement de l'action du vent. Le vent engendre des pressions d'air qui agissent sur le mur à la fois vers l'intérieur et vers l'extérieur. Il est très courant d'observer des pressions d'air dues au vent allant de 1,0 à 1,5 kPa sur les murs d'un bâtiment. Pendant la durée utile d'un bâtiment, il n'est pas rare que les murs soient soumis à des pressions d'air dépassant 3 kPa.

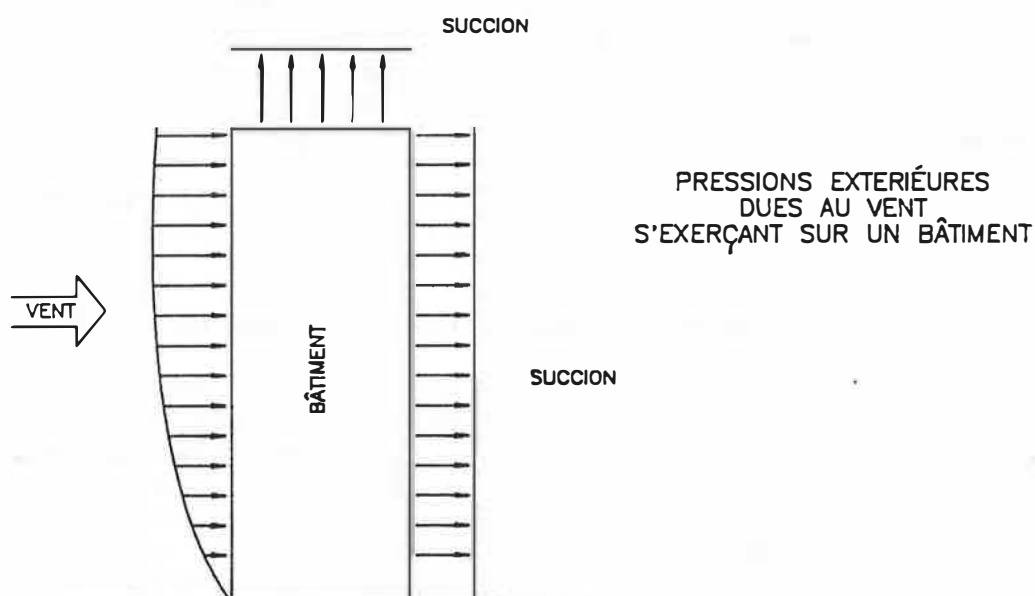
Les forces que le vent exerce sur les bâtiments et leurs composants sont dues à l'énergie cinétique de l'air en mouvement qui se transforme en énergie potentielle, c'est-à-dire en pression d'air, lorsque l'air rencontre une résistance. La vitesse du déplacement d'air au voisinage d'un bâtiment fluctue

constamment. Par conséquent, le bâtiment et ses composants subissent des pressions d'air dont l'ampleur varie de façon constante. À tout moment, on peut supposer que le déplacement du vent varie en fonction de la vitesse moyenne du vent. L'écart, positif ou négatif, par rapport à cette moyenne correspond aux rafales du vent. Certains matériaux structuraux peuvent se détériorer sous l'effet de charges qui varient constamment (ce phénomène s'appelle la fatigue). Le vent peut donc provoquer la rupture par fatigue des éléments structuraux et de leurs joints, et l'on doit en tenir compte au moment de juger de l'à-propos d'un pare-air.

Nature des pressions extérieures exercées par le vent

La figure ci-dessous illustre la distribution des pressions d'air qui s'exercent sur un bâtiment.

1. VENT
2. SUCCION
3. BÂTIMENT
4. SUCCION
5. PRESSIONS EXTÉRIEURES DUES AU VENT S'EXERÇANT SUR UN BÂTIMENT



De façon générale, les pressions d'air positives s'exercent sur la face au vent, tandis que les pressions négatives (suction) s'exercent sur toutes les autres faces du bâtiment. Les faces du bâtiment parallèles au vent, la face sous le vent et le toit sont habituellement exposés à des forces de suction.

C'est une erreur très répandue chez les concepteurs de croire que les matériaux du côté extérieur du bâtiment subissent uniquement les effets du vent à l'extérieur et que les matériaux du côté intérieur de l'enveloppe ne sont soumis qu'aux pressions de la ventilation mécanique et qu'à l'effet de tirage.

Le vent engendre des pressions d'air qui se transmettent aussi à l'intérieur des bâtiments. Les matériaux entrant dans la construction du mur sont donc soumis à des pressions d'air qui varient en fonction des facteurs suivants :

- la différence de pression totale (ΔP) à travers la section du mur;
- la perméabilité à l'air relative des matériaux qui composent le mur; et
- la capacité de l'air de se déplacer latéralement (horizontalement ou verticalement) à l'intérieur des composants du bâtiment ou des lames d'air (cavités) du mur.

Pressions d'air dues au vent à l'intérieur du bâtiment

En général, l'information sur les surcharges dues au vent contenue dans les codes du bâtiment est suffisante pour déterminer la conception générale de la plupart des structures, à l'exception des structures inhabituelles (pour lesquelles des essais en soufflerie sur maquettes sont nécessaires). Les coefficients de charge relatifs aux pressions extérieures qui sont utilisés pour la conception des structures ont été mis au point à l'aide d'essais en soufflerie de maquettes fabriquées de matériaux imperméables à l'air tels que le plexiglas.

On a aussi procédé à des essais en soufflerie et à des analyses pour évaluer les pressions engendrées par le vent à l'intérieur d'un bâtiment. On a également étudié l'effet des portes et des fenêtres ouvertes sur les pressions intérieures. Toutefois, nos connaissances sont beaucoup moins complètes en ce qui a trait aux pressions intérieures engendrées par le vent qu'en ce qui concerne les pressions extérieures, puisque les premières sont influencées par des facteurs complexes, tels que les déplacements d'air entre les pièces, les cages d'ascenseurs, etc.

Heureusement, l'incertitude concernant l'ampleur des pressions intérieures dues au vent n'est pas très importante au niveau de la conception structurale globale d'un bâtiment. Les pressions intérieures d'un bâtiment s'équilibrent entre elles de sorte qu'elles n'exercent pas de force latérale nette sur le bâtiment. Toutefois, les pressions intérieures dues au vent peuvent contribuer de façon substantielle aux charges qui s'exercent sur des sections individuelles du parement (ou du pare-air). Il est donc essentiel d'inclure les pressions intérieures dues au vent pour déterminer les charges de calcul des parements ou des pare-air. L'information qui suit sur les coefficients de pression intérieure des bâtiments est tirée du Code national du bâtiment.

Pressions intérieures		C_{pi}
1.	Ouvertures situées surtout dans le mur au vent	+0,7
2.	Ouvertures situées surtout dans le mur sous le vent	-0,5
3.	Ouvertures situées surtout dans les murs parallèles à la direction du vent	-0,7
4.	Ouvertures uniformément réparties dans les 4 murs	-0,3

Résistance de l'enveloppe aux pressions d'air

Une fois transmise au mur, la pression d'air est répartie sur toutes les parois de la structure en proportion de leur rigidité et de leur portée relatives et des raccords entre les parois. Le concepteur peut ainsi évaluer la proportion de la surcharge due au vent à laquelle résisteront respectivement le parement de brique et les poteaux d'acier, sans devoir connaître le gradient de pression à travers le mur. Le concepteur supposera alors que toute la différence de pression (ΔP) à travers le mur se situe au niveau du parement de brique et que, dans un mur à ossature d'acier recouverte de brique, la résistance à la pression du vent est d'abord offerte par le parement de brique et que les ancrages de la maçonnerie ne transmettant qu'une partie seulement des charges à la charpente d'acier. Et il aura tort. En effet, dans un mur d'acier à parement de brique avec pare-air, une grande partie de la différence de pression totale du mur s'exerce d'abord de part et d'autre du pare-air. Il s'ensuit que le pare-air constitue le premier élément de résistance aux pressions d'air dans une large proportion. Le pare-air transmet ensuite les charges à son support structural (dans ce cas-ci, le mur à poteaux d'acier), puis les agrafes de maçonnerie les distribuent entre le parement de brique et la charpente d'acier.

Par conséquent, le concepteur qui ne saisit pas bien où s'exercent, en premier lieu, les pressions d'air dans un mur à ossature métallique et parement de brique, peut en arriver à des conclusions erronées sur la façon dont les agrafes de maçonnerie réagiront (compression ou tension), sans que cela ne soit préjudiciable à la performance structurale du mur.

Il en va tout autrement pour le pare-air. Pour qu'un pare-air puisse résister aux pressions d'air, il est essentiel d'évaluer les charges de façon réaliste. En partant de l'hypothèse erronée que les pressions extérieures dues au vent sont absorbées entièrement par le parement de brique (comme dans l'exemple susmentionné), le concepteur ne tiendra pas compte de l'effet de ces pressions extérieures sur le pare-air. On a observé sur le terrain des exemples de défaillance des pare-air situés dans des cavités murales. Ces défaillances ont été attribuées à l'effet du vent agissant à l'intérieur même du mur.

Notions d'aérodynamique utiles pour la conception des pare-air

Nous exposons ci-après quelques notions clés sur les effets du vent à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment qui devraient s'avérer utiles aux concepteurs de pare-air.

1. À toutes fins utiles, la surface de fuite et les ouvertures d'un bâtiment n'influent pas sur les pressions extérieures dues au vent agissant sur un bâtiment. Cependant, la surface de fuite et les

ouvertures d'un bâtiment ont une influence considérable sur les pressions agissant à l'intérieur du bâtiment.

Si l'enveloppe du bâtiment était rigide et complètement étanche à l'air, l'action du vent n'occasionnerait aucune pression interne. Mais tous les bâtiments laissent échapper plus ou moins d'air par les murs, les portes, les fenêtres, etc., de sorte qu'il en résulte des pressions intérieures dues au vent. Ces pressions qui s'exercent à l'intérieur du bâtiment tiennent de l'équilibre qui se crée entre l'air qui pénètre et qui quitte l'espace intérieur. Lorsque l'air qui pénètre dans l'espace intérieur est distribué uniformément autour du bâtiment, la pression intérieure tend à se rapprocher des valeurs moyennes des pressions extérieures. Si l'une des faces du bâtiment présente une surface de fuite importante, la pression intérieure aura tendance à s'ajuster sur la pression extérieure s'exerçant sur cette face. La porosité de l'enveloppe du bâtiment influe sur la vitesse de transmission des pressions extérieures (rafales) à l'espace intérieur. Pour que les rafales ne soient pas transmises à l'espace intérieur, l'enveloppe du bâtiment ne doit à peu près pas présenter d'ouvertures, car même une ouverture de faibles dimensions peut transmettre la pression des rafales à l'espace intérieur.

Une ouverture, ou une combinaison d'ouvertures, sur l'une des faces du bâtiment offrant une surface de fuite plus grande que les surfaces de fuite combinées du reste du bâtiment, permet à la pression des rafales d'être transmise à l'intérieur du bâtiment. Une simple porte ou fenêtre ouverte suffit pour transmettre la pression des rafales à l'intérieur du bâtiment.

2. Lorsqu'il n'y a pas de déplacement d'air latéral à l'intérieur du mur, on peut calculer le gradient de pression statique à travers le mur à l'aide des valeurs d'imperméabilité à l'air des différentes parois qui composent le mur. La pression statique nette de chaque composant peut être calculée à partir du gradient de pression statique à travers le mur.
3. Il n'est pas possible d'évaluer avec précision le gradient de pression statique à travers le mur lorsqu'il y a déplacement d'air latéral à l'intérieur du mur. Lorsqu'un mur comporte une large cavité, la pression moyenne de la cavité équivaut à la pression nécessaire pour équilibrer les mouvements d'air vers l'intérieur et vers l'extérieur de la cavité. Lorsque la cavité de mur est étroite, on enregistre des pertes de pression importantes dues au déplacement d'air à l'intérieur de la cavité, et des gradients de pression le long de la cavité.

4. Il n'est pas possible d'évaluer avec précision le gradient de pression dynamique à travers le mur lorsqu'il y a déplacement d'air latéral à l'intérieur du mur.
5. Il existe toutefois des techniques d'analyse qui permettent d'évaluer le gradient de pression dynamique à travers le mur lorsqu'il n'y a pas de déplacement d'air latéral (mur à écran pare-pluie compartimenté) [1].
6. Un bâtiment «à face scellée» contre l'infiltration de la pluie et du vent. Le pare-air situé du côté extérieur du bâtiment (face scellée) subit pleinement les pressions extérieures du vent. Les dispositions des codes du bâtiment relatives aux surcharges dues au vent ont été précisément mises au point pour ce type de bâtiment où le plan qui oppose la plus grande résistance à l'air est situé sur la face extérieure de l'enveloppe du bâtiment. Les méthodes de construction des murs à écran pare-pluie varient tellement qu'il est peu probable que l'on puisse établir des valeurs de surcharge due au vent permettant d'évaluer avec précision les gradients de pressions du vent à travers de tels murs, à l'exception des murs compartimentés.

On a pu recueillir, à l'aide de mesures sur le terrain et d'essais en soufflerie, des données sur les pressions d'air dues au vent qui s'exercent sur les murs à écran pare-pluie des bâtiments.

Mesures sur le terrain et essais en soufflerie

Les mesures sur le terrain et les essais en soufflerie effectués sur des murs avec cavités non compartimentées donnent des résultats variés. Ainsi, des essais sur le terrain de murs à ossature de bois et à parement de vinyle, où le vent se déplace assez librement entre le parement et le plan intérieur d'étanchéité à l'air, ont indiqué que 50 p. 100 des surcharges dues au vent s'exerçaient sur le mur à écran pare-pluie (parement de vinyle) et 50 p. 100 sur le mur de fond (revêtement intermédiaire, plaque de plâtre, pare-vapeur). D'autres essais portant sur des murs à ossature d'acier et à parement de brique, mais non compartimentés pour limiter le déplacement d'air latéral à l'intérieur de la cavité, ont révélé que 70 p. 100 des surcharges dues au vent s'exerçaient sur le mur à écran pare-pluie (parement de brique) et le reste sur le mur de support. Enfin, des essais sur des murs à écran pare-pluie compartimentés préfabriqués ont indiqué que, dans certains cas, la paroi interne résistait jusqu'à 100 p. 100 des surcharges dues au vent, alors que dans d'autres cas, la paroi externe résistait à 75 p. 100 des charges. [2]

Par ailleurs, des études en soufflerie visant à simuler des murs à écran pare-pluie peu compartimentés ont indiqué que la presque totalité de la pression exercée par le vent était supportée par le mur à écran pare-pluie près des angles du bâtiment, alors que le pourcentage tombait à 80 p. 100 vers le centre des murs. On a évalué que le mur de support intérieur pouvait, dans certaines circonstances, supporter jusqu'à 85 p. 100 des surcharges totales dues au vent. [3]

Compte tenu des données expérimentales limitées que nous possédons quant à l'effet du vent sur les murs à écran pare-pluie, nous devons partir de l'hypothèse que les pare-air de ce type de murs sont amenés à supporter un pourcentage considérable des pressions dues au vent (de 50 à 100 p. 100 de la pression totale du vent). Dans la mesure où les pare-air mis en oeuvre par l'industrie seront de plus en plus efficaces, on devra s'attendre à ce qu'ils absorbent la presque totalité de la pression du vent.

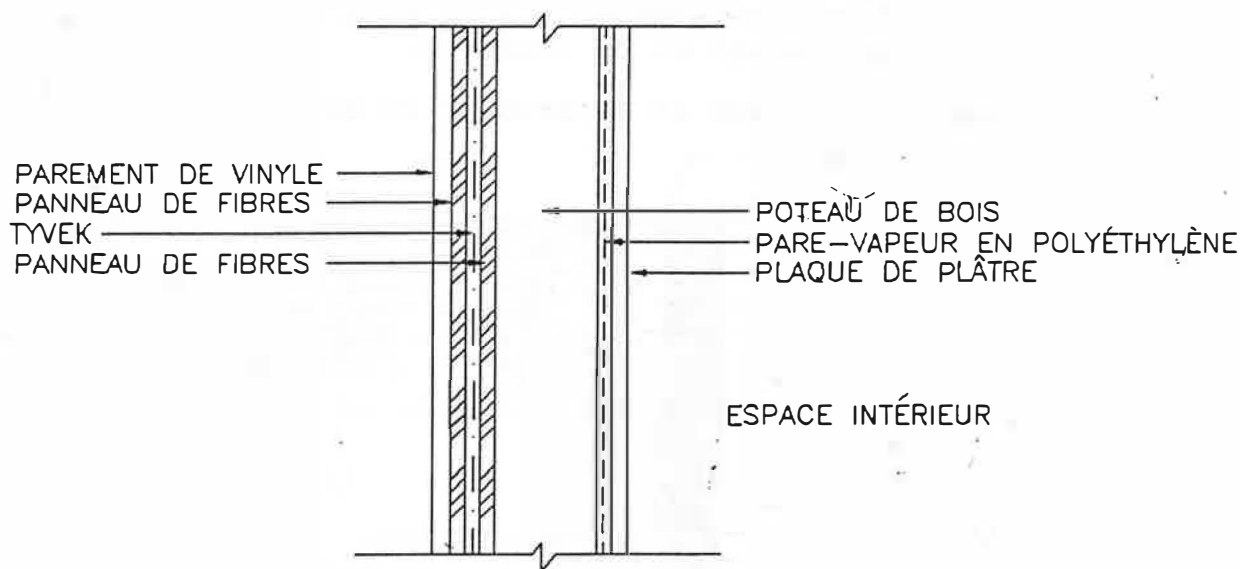
Par conséquent, nous recommandons, sur la base de l'information connue, que les pare-air soient conçus pour résister à la totalité de la pression du vent, en plus des pressions dues à l'effet de tirage et à la ventilation mécanique. Le parement des bâtiments devra lui aussi continuer d'être conçu pour résister à 100 p. 100 de la pression du vent.

4. TRAJET DES PRESSIONS D'AIR DES MURS EXTÉRIEURS

Les exigences structurales des pare-air doivent être établies en fonction du type de construction et de la résistance de l'enveloppe du bâtiment aux surcharges dues au vent. La section qui suit porte principalement sur les murs de composition courante et caractérise le trajet suivi par les pressions d'air que subit la structure d'un bâtiment. Les murs suivants sont décrits brièvement :

- murs à ossature de bois et à parement de vinyle
- murs à ossature d'acier et à parement de brique
- murs en maçonnerie de béton et à parement de brique
- revêtements de finition extérieure isolants

Murs à ossature de bois et à parement de vinyle



COUPE DE MUR

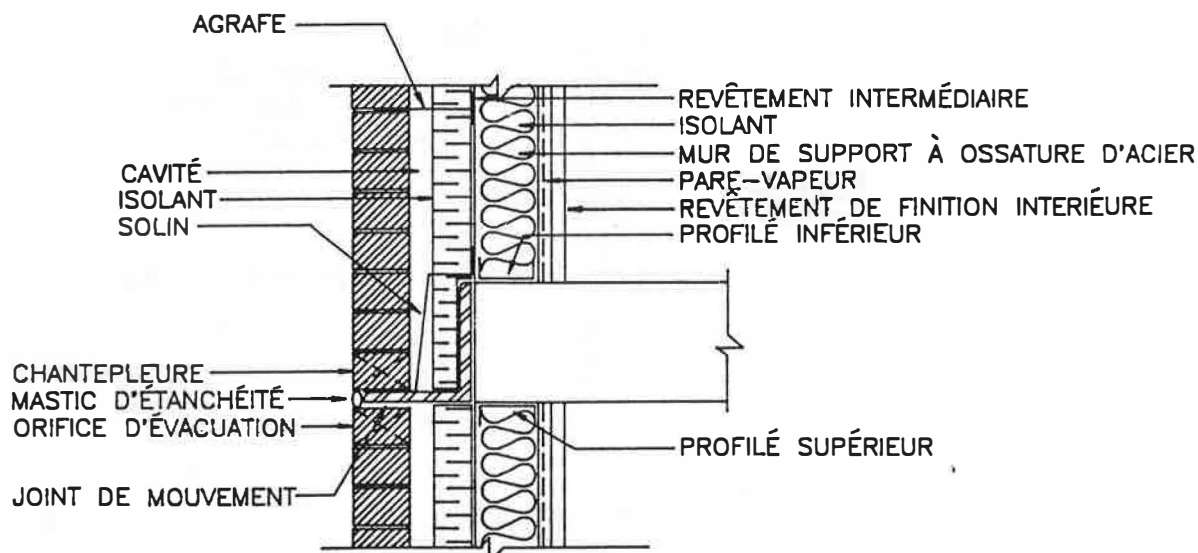
Observations :

- Le pare-air est constitué d'une membrane de polyoléfine filée-liée intercalée entre deux panneaux de fibres. Le pare-air transmet les pressions d'air aux poteaux.
- La membrane de polyoléfine est plus étanche à l'air que le panneau de fibres, et elle constitue donc le premier plan de résistance aux pressions d'air.
- Les panneaux de fibres emprisonnent la membrane de polyoléfine et l'empêchent de se déplacer.
- Aucun effort particulier n'a été fait pour limiter le déplacement d'air latéral entre le parement de vinyle et le pare-air. On peut s'attendre à ce que le pare-air oppose une résistance partielle aux pressions moyennes du vent et à la pression des rafales, mais l'analyse ne permet pas de prédire le pourcentage maximal de la différence de pression totale (ΔP) qui agira respectivement sur le parement de vinyle et le pare-air.

Conclusion :

- Le panneau de fibres et l'assemblage doivent être conçus de façon à résister pleinement aux pressions d'air.
- Aucune exigence structurale ne s'applique à la membrane de polyoléfine, puisque celle-ci est intercalée entre deux panneaux capables de transmettre la charge aux poteaux de bois.
- Les attaches fixant le panneau de fibres aux poteaux de bois transmettent aux poteaux les charges de succion qui s'exercent sur le pare-air, ainsi que les efforts de cisaillement, puisque la caractéristique des panneaux de fibres est de servir de «mur de contreventement» pour ce type de structure. Les attaches transmettent à la fois les efforts de cisaillement et de traction.

Mur à ossature d'acier et à parement de brique



Observations :

- Le pare-air situé à l'extérieur des poteaux d'acier peut être constitué d'un revêtement intermédiaire étanche à l'air, notamment de plaques de plâtre pontées ou d'une membrane appliquée sur le revêtement.
- Le pare-air peut aussi être situé du côté intérieur des poteaux d'acier et alors être constitué par le revêtement intérieur en plaques de plâtre.
- La pression d'air qui s'exerce sur le pare-air est transmise au matériau d'appui, le cas échéant, puis aux poteaux d'acier. Les poteaux d'acier transmettent

une partie de cette charge aux profilés supérieurs et inférieurs, et une autre partie au parement de brique par l'intermédiaire des agrafes. Dans le cas d'un parement de brique sans pare-air, l'élément qui offre le plus de résistance au mouvement d'air est le parement de brique, et celui-ci subira donc la plus grande partie de la pression d'air. Mais si le parement comporte un pare-air, ce dernier offrira plus de résistance au mouvement d'air que le parement de brique. Le pare-air doit donc être en mesure de résister à la charge totale de pression d'air, incluant les pressions dues au vent, l'effet de tirage et la ventilation mécanique et la pression intérieure due au vent. Les charges qui seront transmises au reste de la structure par le parement de brique et les poteaux d'acier dépendront du mécanisme de support de chacune des parois du mur, de leur rigidité et de leurs raccords. Le jeu des agrafes entre les parois influe sur le partage des charges entre le parement de briques et les poteaux d'acier.

- . On a beaucoup débattu de la capacité des poteaux d'acier rigides de réduire la fissuration du parement de brique, laquelle favorise l'infiltration de la pluie, ainsi que de l'à-propos de tenir compte de l'effet raidisseur du revêtement intermédiaire et de la finition intérieure dans l'évaluation de la rigidité du mur de support à poteaux d'acier.
- . Les cornières limitent à la verticale le déplacement d'air latéral au sein de la cavité, bien qu'elles n'aient pas été conçues à cette fin.
- . On peut s'attendre à ce qu'une proportion importante des pressions de rafales soient supportées par le pare-air, mais l'analyse ne permet pas de prédire le pourcentage maximal de la différence de pression (ΔP) qui agira respectivement sur le parement de brique et le pare-air.
- . Lorsqu'un isolant perméable à l'air est utilisé, la charge de pression nette qui s'exerce sur l'isolant ne le déplacera généralement pas à l'intérieur de la cavité.
- . Lorsque des matériaux isolants non perméables à l'air sont utilisés, tels que le polystyrène extrudé, on peut observer un mouvement d'air entre les joints de l'isolant lorsque les rafales font soudainement fluctuer la pression d'air à l'intérieur de la cavité. L'air se déplacera alors entre les joints du matériau isolant jusqu'à ce que la pression de chaque côté de l'isolant parvienne à un équilibre. Le matériau isolant est alors soumis à une pression nette susceptible

d'entraîner le déplacement de l'isolant à l'intérieur de la cavité.

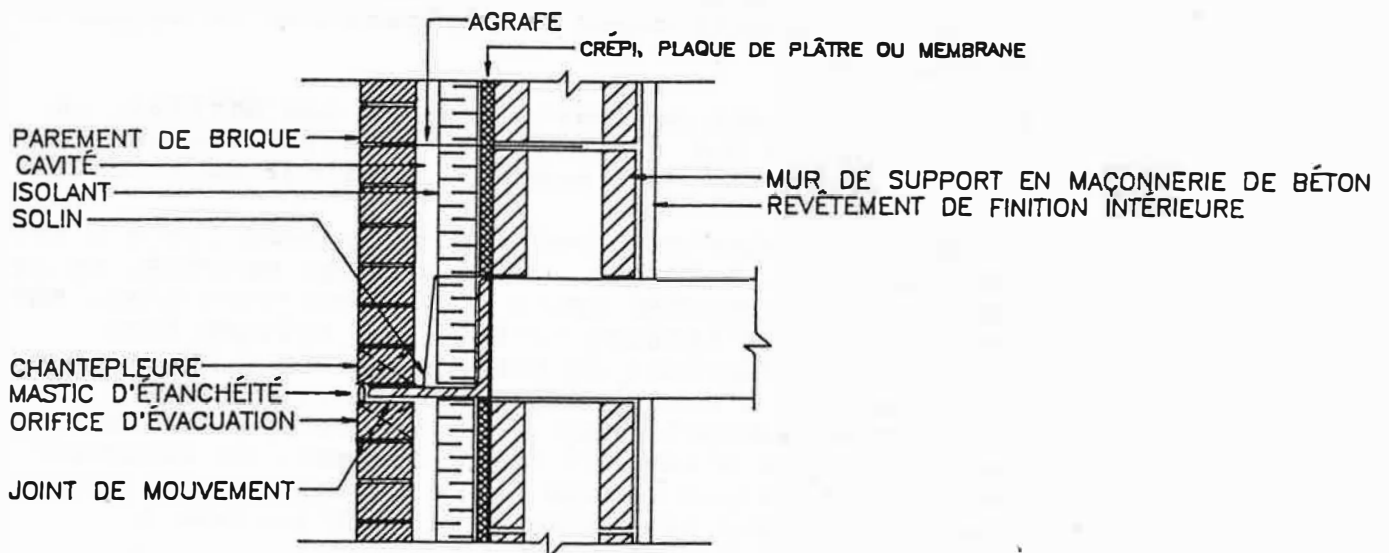
Conclusions :

- . Le pare-air doit pouvoir transmettre les pressions d'air totales au mur de support à poteaux d'acier.
- . La fixation du matériau pare-air ou de son support aux poteaux d'acier à l'aide d'attaches mécaniques doit pouvoir retenir le pare-air aux poteaux lorsqu'il subit des pressions d'air agissent vers l'extérieur.
- . L'isolant peut également être soumis à des pressions importantes, bien que temporaires, sous l'effet des rafales. L'isolant et le dispositif de fixation doivent pouvoir résister aux surcharges occasionnées par les rafales de vent.
- . Des murs peuvent être convertis en écrans pare-pluie à pression équilibrée grâce à la compartimentation. On ne pourra toutefois pas réaliser l'équilibre des pressions si les fluctuations de pression à l'intérieur de la cavité risquent de modifier le volume de la cavité en faisant varier l'écart entre le parement de brique et les poteaux d'acier en raison du « jeu » des agrafes de maçonnerie.
- . Pour améliorer la résistance à l'infiltration de la pluie à travers le parement de brique, on doit :
 - 1) compartimenter la cavité pour réaliser l'équilibre des pressions,
 - 2) fixer aux poteaux d'acier un pare-air qui ne fléchit pas trop entre les poteaux, car les fluctuations du volume de la cavité empêcheraient l'équilibrage des pressions,
 - 3) limiter la flexibilité ou le jeu des agrafes fixant le parement de brique aux poteaux d'acier de manière à ce que les fluctuations du volume de la cavité sous l'effet de la pression n'empêchent pas d'assurer l'équilibre des pressions, et
 - 4) prévoir un mur de support suffisamment rigide pour empêcher la fissuration excessive du parement de brique sous l'effet des surcharges dues au vent.
- . On a investi des efforts considérables pour établir un modèle de la performance structurale des murs à parement de brique et à poteaux d'acier. On a également cherché à modéliser l'effet de la performance structurale des murs sur l'équilibrage des pressions.

Ces efforts pourraient être combinés pour l'étude analytique et expérimentale des caractéristiques d'équilibrage des pressions des murs à parement de brique et à poteaux d'acier compartimentés. Ce genre d'étude pourrait porter, plus particulièrement, sur l'effet des facteurs suivants sur l'équilibre des pressions (et sur l'infiltration de la pluie) :

- . la rigidité des poteaux d'acier
- . le « jeu » et la flexibilité des raccords entre les poteaux d'acier et le parement de brique
- . l'effet raidisseur du revêtement intermédiaire
- . la rigidité du pare-air entre les poteaux

Mur en maçonnerie de béton et à parement de brique



Observations :

- . Un crépi, un revêtement en plaques de plâtre ou une membrane appliqués sur la face extérieure du béton peuvent agir comme pare-air. Le revêtement de finition intérieure de la maçonnerie de béton peut également être mis en oeuvre de façon à servir de pare-air.
- . La charge sera transmise du pare-air à la maçonnerie de béton par portance directe, par adhérence ou par les attaches mécaniques reliant le pare-air à la maçonnerie de béton.
- . La charge sera transmise au reste de la structure à la fois par le parement de brique et par la maçonnerie de béton. Le partage de la charge dépendra du mécanisme de support de chaque paroi, de leur rigidité et de leurs raccords. Généralement, la rigidité des raccords entre les parois est assurée par des renforts de joint en forme d'échelle ou de treillis.

- . En général, les blocs de béton sont beaucoup plus rigides que le parement de brique, de sorte que la maçonnerie de béton supporte donc la totalité de la charge. La fissuration du parement de brique sous l'effet des surcharges dues au vent risque peu de se produire.
- . Les cornières limitent à la verticale le déplacement d'air latéral au sein de la cavité, bien qu'elles n'aient pas été conçues à cette fin.
- . De façon générale, aucun effort particulier n'a été fait pour limiter à l'horizontale le mouvement d'air latéral au sein de la cavité.
- . On peut s'attendre à ce qu'une proportion importante des pressions de rafales soient supportées par le pare-air, mais l'analyse ne permet pas de prédire le pourcentage maximal de la différence de pression (ΔP) qui agira respectivement sur le parement de brique et le pare-air.
- . Lorsqu'un isolant perméable à l'air est utilisé, la pression nette qui s'exerce sur l'isolant ne le déplacera généralement pas à l'intérieur de la cavité.
- . Lorsque des matériaux isolants non perméables à l'air sont utilisés, tels que le polystyrène extrudé, on peut observer une pression nette ou un mouvement d'air entre les joints de l'isolant lorsque les rafales font soudainement fluctuer la pression d'air à l'intérieur de la cavité. L'air se déplacera alors entre les joints du matériau isolant jusqu'à ce que les pressions de chaque côté de l'isolant s'équilibrent. Le matériau isolant sera alors soumis à une pression nette qui pourra entraîner le déplacement de l'isolant à l'intérieur de la cavité.

Conclusions :

- . Le pare-air doit pouvoir transmettre les pressions d'air totales au mur de maçonnerie en béton. La fixation du pare-air ou de son support aux blocs de béton, soit par adhérence (p. ex. plaques de plâtre enduites de crépi, membrane bitumineuse modifiée), soit à l'aide d'attaches mécaniques (p. ex. plaques de plâtre) doit pouvoir retenir le pare-air sur le poteau lorsqu'il subit des pressions d'air agissant vers l'extérieur.
- . L'isolant peut également être soumis à des pressions importantes, bien que temporaires, sous l'effet des rafales. L'isolant et le dispositif de fixation doivent

pouvoir résister aux surcharges occasionnées par les rafales de vent.

- . Des murs peuvent être convertis en écrans pare-pluie à pression équilibrée grâce à la compartimentation. Ce type de mur se prête à l'équilibrage des pressions puisqu'on ne prévoit aucun problème d'équilibre des pressions à l'intérieur de la cavité en raison de la flexibilité des parois de brique ou de béton ou de leurs raccords, c'est-à-dire que la fluctuation de la pression à l'intérieur de la cavité n'entraînera pas une modification appréciable du volume de la cavité.

REVÊTEMENT DE FINITION EXTÉRIEURE
- ENDUIT DE PAREMENT, ADHÉSIF, TREILLIS

PANNEAU D'ISOLANT

MAÇONNERIE OU BÉTON

MUR DE MAÇONNERIE OU DE BÉTON

REVÊTEMENT DE FINITION EXTÉRIEURE
- ENDUIT DE PAREMENT, ADHÉSIF, TREILLIS

CÔTÉ EXTÉRIEUR

PANNEAU D'ISOLANT

PLAQUE DE PLÂTRE

POTEAU DE BOIS

MUR À POTEAUX DE BOIS

REVÊTEMENT DE FINITION EXTÉRIEURE
- ENDUIT DE PAREMENT, ADHÉSIF, TREILLIS

CÔTÉ EXTÉRIEUR

PANNEAU D'ISOLANT

PLAQUE DE PLÂTRE

POTEAU MÉTALLIQUE

MUR À POTEAUX MÉTALLIQUES

Revêtements de finition extérieure isolants

Observations :

- . Les revêtements de finition extérieure isolants sont des systèmes brevetés, constitués d'un enduit de parement cimentaire, d'un adhésif et d'un treillis, collés à un panneau d'isolant (polystyrène extrudé dans un cas et polystyrène expansé dans un autre). Le panneau isolant est attaché mécaniquement ou collé à un subjectile formé d'un revêtement intermédiaire (plaque de plâtre, panneau de contreplaqué ou de fibragglo) fixé sur les poteaux ou appliqué directement sur le mur de maçonnerie ou de béton.
- . Tous les matériaux susmentionnés contribuent à assurer l'étanchéité à l'air de l'ensemble. L'enduit de parement cimentaire fournit une résistance à l'air comparable à celle d'un crépi. Le polystyrène extrudé utilisé dans un de ces systèmes est lui-même étanche à l'air, tandis que le polystyrène expansé utilisé avec ce type de parement peut présenter un degré variable de résistance au mouvement d'air. Habituellement, on utilise pour ces revêtements du polystyrène extrudé de densité élevée offrant une résistance considérable au mouvement d'air. Le subjectile auquel le revêtement isolant est fixé offre lui aussi une très grande résistance au mouvement d'air, qu'il s'agisse d'un panneau de fibragglo, de contreplaqué ou de plaques de plâtre. Le subjectile peut aussi être relativement perméable à l'air, dans le cas, par exemple, d'une maçonnerie de blocs de béton.
- . La face extérieure présente le seul plan où l'on doit assurer la continuité du matériau étanche à l'air. Les joints entre les panneaux du revêtement isolant doivent être calfeutrés afin d'assurer un pare-air à «face scellée».
- . La détermination du gradient de différence de pression (ΔP) sur le revêtement de finition extérieure isolant peut être très complexe lorsque le joint d'étanchéité entre les panneaux d'isolant est intermittent ou absent, et lorsqu'aucun plan principal n'assure l'étanchéité à l'air. On prévoit toutefois que les pressions d'air agissant vers l'extérieur (suction du côté extérieur) seront d'abord transmises au revêtement de finition, puis du revêtement à l'isolant par adhérence, et de l'isolant au subjectile, soit par adhérence soit par les attaches mécaniques. Les pressions d'air agissant vers l'intérieur seront transmises aux matériaux par portance directe.

Conclusions :

- . Le trajet des charges n'est pas compliqué, car il dépend du raccord adéquat de chaque paroi de l'ensemble. On devrait pouvoir, au moyen d'essais structuraux sur des revêtements isolants dont les joints sont correctement scellés, déterminer à la fois la résistance des matériaux constitutifs et la performance des mécanismes de raccord.
- . Il est important, pour de tels systèmes, que le revêtement intermédiaire servant de support soit bien fixé à la structure du mur (c'est-à-dire aux poteaux d'acier). Un autre facteur très important avec ces systèmes, et avec d'autres qui transmettent également des charges à des plaques de plâtre, c'est que les plaques de plâtre ne soient pas exposées à l'humidité. Les fabricants de plaques de plâtre n'indiquent pas quels sont les effets spécifiques de l'humidité sur leur résistance, mais ils mettent en garde contre une perte possible de leur résistance si elles viennent à être mouillées. Un autre problème réside dans l'effet potentiel de l'humidité ou du mouillage des plaques sur la résistance à l'arrachement des attaches. Par conséquent, certains fabricants de revêtements de finition extérieure isolants suggèrent d'utiliser plutôt d'autres matériaux, tels que des panneaux de fibragglo, comme support pour ce type de revêtement.

5. AMPLEUR DES PRESSIONS S'EXERÇANT SUR LES PARE-AIR

Comme nous l'avons vu précédemment, les pressions qui s'exercent sur un pare-air sont dues à trois causes principales : l'effet de tirage, la ventilation mécanique à l'intérieur du bâtiment, et l'action du vent. L'effet de tirage et la ventilation mécanique engendrent des pressions relativement faibles, mais qui s'exercent sur de longues périodes. On soupçonne l'effet de tirage et la ventilation mécanique d'être les principales causes des problèmes liés au fluage des matériaux pare-air, et particulièrement des mastics d'étanchéité. Par ailleurs, les fortes rafales et les charges cycliques dues au vent, lorsqu'elles excèdent la force d'adhérence, la résistance mécanique des attaches ou la résistance des matériaux, sont des causes probables de défaillance structurale des pare-air.

Charges dues à l'effet de tirage ou à la ventilation mécanique s'exerçant sur les pare-air

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) a entrepris une étude visant à établir des lignes directrices sur l'effet des charges constantes exercées sur les matériaux et sur les produits d'étanchéité utilisés dans la mise en oeuvre des pare-air. Les résultats de ce programme d'essais devraient orienter les lignes directrices dans ce domaine.

Ampleur et durée de l'effet de tirage

Les facteurs qui influent sur l'ampleur des pressions d'air exercées par l'effet de tirage sont :

- . la pression d'air ambiante,
- . la différence de température entre l'air intérieur et l'air extérieur,
- . la distribution des ouvertures sur la hauteur du bâtiment,
- . le cloisonnement interne du bâtiment (les bâtiments de plusieurs étages ont des cloisons qui ne sont pas étanches à l'air; l'air peut se déplacer d'un étage à l'autre par les cages d'escaliers, les ascenseurs, etc., ce qui influe sur la distribution des pressions d'air à l'intérieur du bâtiment), et
- . la hauteur du bâtiment.

Il serait toutefois trop compliqué, aux fins de la conception structurale des pare-air, d'inclure tous ces facteurs dans l'évaluation des pressions d'air dues à l'effet de tirage. Un concepteur sera plus intéressé à obtenir une évaluation raisonnable de l'ampleur et de la durée des charges dues à

l'effet de tirage en fonction d'un emplacement donné et de la hauteur du bâtiment.

Dans un bâtiment dépourvu de cloisons internes, la pression de l'effet de tirage s'accroîtra de façon linéaire en fonction de la distance qui sépare un point donné du plan neutre. Le plan neutre est le niveau du bâtiment où s'équilibrent les pressions ambiantes intérieures et extérieures. Si un bâtiment ne présente pas d'ouvertures importantes (ou s'il présente des ouvertures de dimensions égales en haut et en bas), alors les pressions intérieure et extérieure s'équilibreront à mi-hauteur du bâtiment. Dans un tel cas, la pression maximale due à l'effet de tirage sera calculée d'après la valeur correspondant à la moitié de la hauteur totale du bâtiment. Par contre, si les principales ouvertures sont situées dans le bas du bâtiment, les pressions intérieure et extérieure s'équilibreront à la base du bâtiment, et la pression maximale due à l'effet de tirage sera alors calculée sur la hauteur totale du bâtiment.

Dans le cas des bâtiments où chaque étage est complètement isolé et où les ouvertures sur les faces extérieures sont équilibrées, la pression d'air due à l'effet de tirage sera négligeable et elle sera calculée en fonction du niveau situé à mi-hauteur de chaque étage.

Dans les bâtiments de grande hauteur, le plan neutre se situe normalement entre 0,3 et 0,7 de la hauteur totale du bâtiment. Dans les maisons, le plan neutre est habituellement plus élevé que la mi-hauteur du bâtiment, pouvant même se situer près du sommet du bâtiment. Pour les besoins de la conception des pare-air, il semble toutefois raisonnable d'utiliser une valeur correspondant à 70 p. 100 de la hauteur du bâtiment pour calculer la limite supérieure des pressions d'air dues à l'effet de tirage. La pression due à l'effet de tirage est d'environ 0,14 Pa/étage pour un étage type d'environ 3 mètres de haut.

Les données climatiques dont fait état le Code national du bâtiment renseignent sur les températures de calcul de janvier et de juillet à utiliser pour évaluer prudemment l'effet de tirage.

Il est rare que ces températures de calcul soient dépassées au cours de ces deux mois, et elles peuvent donc être utilisées pour évaluer, de façon raisonnable, l'ampleur de l'effet de tirage. On sait que la température intérieure d'un bâtiment se situe autour de 21 °C. On peut, sans risque de se tromper, utiliser une température de calcul de -40 °C pour le mois de janvier dans tout le pays, à l'exception de quelques régions (Territoires du Nord-Ouest, Yukon), car l'on sait que la température chutera en-dessous de ce point pendant moins de 2,5 p. 100 du temps au cours du mois de janvier. La limite supérieure de la pression d'air due à l'effet de tirage correspond à $61\text{ °C} \times 0,14\text{ Pa/étage}$, soit 8,5 Pa/étage. De même,

pour les mois d'été, on utilisera la température de calcul de 30 °C du mois de juillet pour établir la limite supérieure de la pression d'air due à l'effet de tirage pour l'ensemble du pays, qui sera à ce moment-là inférieure à $(30\text{ °C} - 21\text{ °C}) \times 0,14\text{ Pa/étage}$, soit 1,3 Pa/étage.

Si on suppose que la distance verticale maximale séparant du plan neutre un endroit quelconque du bâtiment équivaut à 70 p. 100 de la hauteur totale du bâtiment, on peut calculer la pression d'air due à l'effet de tirage de la façon suivante :

Hauteur du bâtiment (étages)	Pression maximale due à l'effet de tirage suggérée aux fins de calcul
3	18 Pa
10	60 Pa
20	120 Pa
50	300 Pa

Sans une étude plus poussée, il semble raisonnable d'exiger qu'un pare-air puisse résister aux pressions d'air dues à l'effet de tirage indiquées plus haut pendant environ 150 jours par année. (Pour un emplacement quelconque, on peut diviser le nombre de degrés-jours sous 18 °C par la différence entre la température de calcul et 18 °C; on obtient alors le nombre de jours équivalents aux températures de calcul du mois de janvier, soit entre 120 et 150). Un bâtiment d'une durée utile prévue de 50 ans devra supporter les pressions d'air continues susmentionnées pendant 20 ans. Certains matériaux de construction subissent des déformations sous l'effet de charges appliquées sur de longues périodes. C'est ce qu'on appelle le fluage. Les pressions d'air dues à l'effet de tirage s'exercent sur le pare-air pendant de longues périodes. Par conséquent, il est essentiel que les matériaux et les produits d'étanchéité qui constituent le pare-air ne subissent pas de fluage à de faibles niveaux de pression soutenue.

Le matériau ou produit d'étanchéité cédant au fluage à des niveaux de pression constante relativement faibles ne se prête tout simplement pas à ce genre d'application.

Ampleur et durée des charges exercées par la ventilation mécanique

L'intérieur des bâtiments fait l'objet d'une ventilation mécanique (ou pressurisation) pour de nombreuses raisons. Certaines parties du bâtiment sont pressurisées afin de contrôler les fumées en cas d'incendie. Dans le cas des bâtiments de grande hauteur, où l'entrée principale se situe au rez-de-chaussée, il est préférable d'équilibrer les pressions d'air intérieure et

extérieure à ce niveau dans le but de faciliter l'ouverture des portes, etc. Par conséquent, de nombreux bâtiments font l'objet d'une surpression pour abaisser le plan neutre, qui se situe normalement à mi-hauteur du bâtiment, près du niveau du sol. Évidemment, l'utilisation, dans ces conditions, d'une valeur correspondant à 70 p. 100 de la hauteur du bâtiment pour évaluer les pressions d'air dues à l'effet de tirage semble contre-indiquée. En pareils cas, on peut considérer que l'effet combiné du tirage et de la ventilation mécanique correspond à une pression due à l'effet de tirage calculée en fonction du plan neutre se situant à la base du bâtiment.

Les surcharges découlant de l'effet combiné du tirage et de la ventilation mécanique seront donc calculées en fonction du plan neutre ramené à la base du bâtiment sous l'action de la ventilation mécanique.

**Hauteur du bâtiment
(étages)**

**Pression maximale due à
l'effet combiné du tirage
et de la ventilation mécanique
suggérée aux fins de calcul**

3	25 Pa
10	85 Pa
20	170 Pa
50	425 Pa

Encore une fois, on suppose que ces charges s'exercent de façon constante pendant toute la durée de l'hiver (soit pendant environ 120 à 150 jours). Ainsi un bâtiment faisant l'objet d'une pressurisation mécanique et ayant une durée utile prévue de 50 ans subira pendant 20 ans les pressions d'air continues susmentionnées, combinant l'effet du tirage et de la ventilation mécanique.

Limites du calcul des pressions d'air basé sur les codes

Le pare-air doit pouvoir résister aux pressions d'air constantes dues à l'effet de tirage et à la ventilation mécanique qui s'exercent sur de longues périodes. Mais il doit aussi pouvoir résister aux fortes fluctuations des pressions d'air dues à l'action du vent.

Les données climatiques canadiennes sur les surcharges dues au vent sont calculées en fonction des observations météorologiques des vitesses horaires moyennes du vent. En recueillant des données sur une période donnée et en utilisant des distributions de probabilité reconnues pour les valeurs extrêmes de phénomènes physiques (p. ex. l'analyse des valeurs extrêmes selon la distribution de Wiebull), il est possible

d'évaluer les valeurs extrêmes de la vitesse du vent que l'on peut prévoir avec un certain degré de certitude et qui ne seront pas dépassées durant une période donnée. Ainsi, un vent ayant une période de récurrence de 10 ans correspond au vent horaire moyen qui ne sera normalement dépassé qu'une fois tous les dix ans. Pour une année choisie au hasard, il existe par conséquent une probabilité relativement élevée (1/10) que cette vitesse du vent soit dépassée.

Calcul des pressions d'air dues au vent basé sur les codes

On utilise la méthode suivante pour calculer les charges «ultimes» ou «pondérées» dues au vent qui s'exercent sur les pare-air :

- . Les calculs sont basés sur les coefficients de pression extérieure des parements. À l'heure actuelle, on ne possède pas suffisamment de données d'essai ni de méthode analytique fiable pour déterminer les coefficients de pression des cavités des murs à écran pare-pluie.
- . On calcule les charges «ultimes» ou «pondérées» qui ne sont pas spécifiques à l'emplacement en question mais qui s'appliquent à l'ensemble du pays.

Les facteurs clés qui influencent la pression exercée par le vent sur une structure sont :

- . la vitesse du vent, et
- . les coefficients de pression du bâtiment particulier exposé au vent.

Les données sur la vitesse du vent pour un emplacement donné nous sont fournies par les observations météorologiques. Les coefficients de pression d'un bâtiment sont déterminés au moyen d'essais en soufflerie sur des maquettes du bâtiment en question ou sur des bâtiments de forme semblable.

La pression du vent est proportionnelle au carré de sa vitesse. Par conséquent, la pression exercée par le vent dépend largement de la vitesse du vent.

Le concepteur vise à limiter à un niveau acceptable la probabilité que la résistance de la structure ne soit dépassée par les charges ultimes qui pourraient s'exercer sur elle au cours de la durée utile du bâtiment. Le concepteur désirera savoir si la probabilité que ces charges soient dépassées dans une période de 50 ans est, par exemple, de 5 p. 100.

Le mode de calcul des surcharges dues au vent proposé par le Code national du bâtiment ne permet pas au concepteur de choisir des pressions de vent correspondant à la durée utile du

bâtiment ni de tenir compte de la probabilité que ces pressions ne soient dépassées durant cette période.

La méthode proposée permet plutôt de calculer une pression de vent «ultime» ou «pondérée» pour les parements (en fonction d'un vent ayant une récurrence de 10 ans), pour l'ensemble de la structure (d'après des vents d'une récurrence de 30 ans), ou pour des bâtiments de protection civile (d'après des vents d'une récurrence de 100 ans). Pour déterminer la pression de calcul «ultime» ou «pondérée», on applique une série de facteurs à la pression de stagnation pour des vents d'une récurrence de 10, 30 ou 100 ans. Ces facteurs visent à tenir compte des incertitudes qui existent au niveau :

- . des coefficients de pression,
- . de la fluctuation de la vitesse du vent en fonction de la distance au-dessus du niveau du sol,
- . de l'application des données météorologiques d'un emplacement donné à des emplacements voisins, et
- . de l'imprécision des données météorologiques elles-mêmes et de l'habitude de les utiliser de façon à prévoir des valeurs extrêmes pour des périodes supérieures à celles des observations météorologiques.

Malgré la complexité de l'aérodynamique, il devrait être possible de fournir au concepteur des valeurs ultimes de pression du vent pour différentes durées utiles et différentes probabilités de dépassement. Cette information est particulièrement utile pour évaluer la déficience structurale des pare-air actuels sur ce plan. La section 7 du présent rapport fournit des exemples du type de calculs permettant d'évaluer, grosso modo, les pressions de vent ultimes pour des durées utiles et des probabilités de dépassement données.

On peut également tirer avantage du fait que les valeurs extrêmes de pression du vent pour un emplacement donné sont souvent recueillies et analysées sans tenir compte des différentes directions du vent.

Souvent, pour un emplacement donné, il existe une direction prédominante dans laquelle s'exercent, selon toutes probabilités, les plus fortes pressions de vent. Il est possible de concevoir le parement ou le pare-air d'une structure pour qu'il résiste à des vents extrêmes pour chacune des huit directions de la rose des vents; dans un tel cas, seul le parement ou le pare-air faisant face au vent prédominant sera assujetti aux exigences déterminées en fonction des vitesses de vent les plus élevées pour cet emplacement. Cette méthode a déjà servi à déterminer l'épaisseur de verre requise pour certains bâtiments de grande hauteur.

La méthode proposée par le Code pour la conception de parements extérieurs pouvant résister aux pressions du vent est sans doute adéquate, puisqu'il est plutôt rare d'observer leur défaillance sous l'action du vent. Les surcharges dues au vent énoncées dans le Code ont jusqu'à ce jour exclusivement visé des parements fabriqués à l'aide de matériaux traditionnels (acier, béton, aluminium, verre, etc.). Il n'est pas du tout évident qu'elles conféreront un tel comportement aux parements juxtaposés à des pare-air fabriqués autrement. Par ailleurs, les conséquences d'une défaillance du pare-air à l'intérieur du mur diffèrent tout à fait de celles qui pourraient survenir à la suite du bris ou de la chute d'une partie du parement extérieur d'un bâtiment.

Pour les pare-air situés du côté intérieur du bâtiment, où leur défaillance structurale serait évidente et donc réparée, il n'est pas illogique d'utiliser des pressions de vent moins élevées et d'accepter un plus grand risque de défaillance au cours de la durée utile du bâtiment.

On doit toutefois user de prudence dans le choix des pressions de calcul pour les pare-air dissimulés à l'intérieur du mur et dont la défaillance ne sera détectée que par des signes visibles de détérioration du parement extérieur du bâtiment, comme l'efflorescence de la brique, etc.

Puisqu'aucune norme n'existe actuellement qui pourrait nous servir de point de départ, il semble raisonnable de déterminer les modifications à apporter aux matériaux pare-air et aux dispositifs de fixation pour résister aux surcharges dues au vent que prévoit le CNB à l'égard des parements.

Commençons par déterminer les exigences relatives aux surcharges dues au vent s'exerçant sur les parements, valables généralement pour l'ensemble du pays. On s'attend à ce qu'un vent de 115 km/h ne soit dépassé en moyenne une fois seulement tous les dix ans, pour l'ensemble des 658 postes de surveillance météorologique du pays, à l'exception de 15. La référence utilisée pour calculer les pressions qu'exerce le vent sur un bâtiment est appelée «pression de stagnation»; il s'agit de la pression nécessaire pour amener au repos un vent d'une pression donnée. Ainsi, la pression de stagnation d'un vent de 115 km/h est d'environ 650 Pa.

Pour calculer la pression réelle à laquelle un élément de parement doit résister, on utilise une valeur modifiée de la pression de stagnation correspondant à un vent horaire moyen extrême. La section qui suit décrit la façon de procéder pour calculer, à partir des surcharges dues au vent prescrites par le Code, les pressions applicables aux «pare-air».

Surcharges dues au vent prescrites par le CNB

Le Code national du bâtiment du Canada indique comment calculer les surcharges dues au vent pour la conception des

éléments structuraux principaux et secondaires ainsi que des parements. À l'aide du Code, on peut calculer les pressions intérieure et extérieure du vent pour un bâtiment donné en fonction des données anémométriques recueillies pour cet emplacement.

La pression extérieure spécifiée est calculée dans le Code à l'aide de l'équation suivante :

$$P_{ext} = q C_g C_e C_{p ext}$$

où :

- q = paramètre non défini dans le Code en ce qui a trait aux pare-air, valeur supposée : $q_{1/10}$
- C_g = 2,5 pour les parements et les éléments structuraux secondaires
- = 2,0 pour la structure principale
- = paramètre non défini dans le Code en ce qui a trait aux pare-air, valeur supposée : 2,5

C_e est un coefficient d'exposition qui varie de 0,9 à 2,0, selon la hauteur au-dessus du niveau du sol à laquelle se calculent les pressions de vent. Le CNB recommande d'utiliser la mi-hauteur du bâtiment pour calculer la pression extérieure du vent sur la face du bâtiment sous le vent. Pour simplifier les choses, on a utilisé cette hauteur pour calculer la valeur de C_e et déterminer la pression du vent qui s'exerce sur la façade sous le vent.

La valeur de $C_{p ext}$ (pression extérieure) se situe généralement entre -0,5 et +0,8; elle correspond au rapport de la pression du vent s'exerçant sur la face du bâtiment et de la pression de stagnation qui se produirait si l'énergie dynamique du vent était entièrement transformée en pression statique. La valeur de C_p peut être plus élevée à certains endroits d'un bâtiment, particulièrement aux angles. Toutefois, le Code national du bâtiment ne requiert pas que les éléments du parement soient conçus de façon à résister à une pression correspondant à une valeur absolue de $C_p C_g$ supérieure à 2.

Le coefficient C_g permet de tenir compte des fluctuations de la vitesse du vent par rapport à la vitesse horaire enregistrée. Le coefficient C_g est plus élevé pour les éléments structuraux secondaires et les parements ($C_g=2,5$) que pour la structure principale ($C_g=2$); en effet, un élément local sera exposé à une plus grande fluctuation de la pression du vent, comparativement aux pressions moyennes qui s'exercent sur la totalité des faces du bâtiment.

La pression intérieure spécifiée est calculée dans le Code à l'aide de l'équation suivante :

$$P_{int} = q C_g C_e C_p \text{ int}$$

où :

q = paramètre non défini dans le Code en ce qui a trait aux pare-air, valeur supposée : $q_{1/10}$

C_g = 2,5 pour les parements et les éléments structuraux secondaires

= 2,0 pour la structure principale

= paramètre non défini dans le Code en ce qui a trait aux pare-air, valeur supposée : 2,5

C_e = calculé en fonction de la mi-hauteur du bâtiment pour les pressions intérieures. Pour simplifier les choses, on a utilisé cette hauteur pour calculer la valeur de C_e et déterminer la pression intérieure du vent s'appliquant généralement à la conception des pare-air.

Habituellement, les codes relèvent les pressions de vent spécifiées par un facteur de 1,5 (c.-à-d. qu'on utilise un facteur de charge de 1,5 pour le vent) afin d'obtenir une pression du vent qui présente une faible probabilité de dépassement au cours de la durée utile du bâtiment. Cette charge est appelée charge «ultime» ou «pondérée».

Ce facteur de charge de 1,5 permet également de tenir compte des incertitudes en ce qui a trait à la vitesse du vent, aux coefficients de pression et aux coefficients de rafales. Les surcharges dues au vent définies dans le Code n'ont pas été spécifiquement mises au point pour qu'elles présentent une faible probabilité de dépassement au cours de la durée utile du bâtiment. Il semble en fait, si l'on se fie au nombre peu élevé de défaillances attribuables aux pressions exercées par le vent, que les valeurs prescrites par le Code soient prudentes.

Pressions intérieure et extérieure «ultimes» ou «pondérées» exercées par le vent

$$\begin{aligned} P_{\text{résultante}} &= (P_{\text{extérieure}} + P_{\text{intérieure}}) \times 1,5 \\ \text{(vers l'int.)} & \quad \text{(vers l'int.)} \quad \text{(vers l'int.)} \\ \text{«ULTIME» ou} & \quad \text{«SPÉCIFIÉE»} \quad \text{«FACTEUR DE CHARGE»} \\ \text{«PONDÉRÉE»} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= q C_e (C_g = 2,5) (C_p = 0,8 + 0,3) \times 1,5 \\ &= q C_e (C_g = 2,5) (C_p = 1,1) \times 1,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{résultante}} &= (P_{\text{extérieure}} + P_{\text{intérieure}}) \times 1,5 \\ \text{(vers l'ext.)} & \quad \text{(vers l'ext.)} \quad \text{(vers l'ext.)} \\ \text{«ULTIME» ou} & \quad \text{«SPÉCIFIÉE»} \\ \text{«PONDÉRÉE»} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= q C_e (C_g = 2,5) (C_p = 0,7 + 0,3) \times 1,5 \\ &= q C_e (C_g = 2,5) (C_p = 1,0) \times 1,5 \end{aligned}$$

Ces surcharges dues au vent sont établies en fonction des coefficients de pression indiqués à la figure B-10 du CNB. Des

coefficients inférieurs pour les bâtiments de faible hauteur pourraient s'appliquer à certains cas particuliers. Les pressions intérieures tiennent compte de la contribution des fenêtres ouvrables et des portes, qui devraient normalement être distribuées de façon uniforme sur les faces d'un bâtiment résidentiel.

On peut, à partir des données anémométriques, estimer que $q_{1/10}$ de 0,65 kPa constitue une valeur raisonnable pour l'ensemble du Canada. La pression ultime de vent calculée pour le pare-air, en supposant que $q_{1/10} = 0,65$ kPa, serait alors calculée de la façon suivante :

$$\begin{aligned} P_{\text{vers l'int.}} &= (0,65 \text{ kPa}) C_e (C_g = 2,5) (1,1) \times 1,5 \\ &= 2,7 \text{ kPa } (C_e) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{vers l'ext.}} &= (0,65 \text{ kPa}) C_e (C_g = 2,5) (1,0) \times 1,5 \\ &= 2,45 \text{ kPa } (C_e) \end{aligned}$$

La valeur de C_e peut aller de 0,9 près du niveau du sol (0 à 6 m), à 2 pour les étages supérieurs des bâtiments de grande hauteur (240 à 400 m). La fluctuation de la pression du vent en fonction de la hauteur doit entrer en ligne de compte au moment d'établir des recommandations et des charges de calcul.

La plupart des bâtiments résidentiels ont moins de 20 étages et s'élèvent tout au plus à 64 m au-dessus du niveau du sol. Il nous semble donc pratique d'établir les charges de calcul pour les bâtiments de faible hauteur (3 étages ou moins) en fonction de $C_e = 1$, et pour les immeubles d'appartements allant jusqu'à 20 étages en fonction de $C_e = 1,4$. Par conséquent, les pare-air des bâtiments résidentiels de faible hauteur doivent pouvoir supporter des surcharges dues au vent d'environ +2,7 kPa et -2,45 kPa pour satisfaire aux exigences du Code quant au calcul des charges qui s'exercent sur les parements de part et d'autre de la cavité. Les pare-air des bâtiments atteignant jusqu'à 20 étages, doivent pouvoir supporter des charges ultimes de vent de +3,8 kPa et -3,4 kPa.

Charges ultimes ou pondérées

Les charges de vent pondérées qui suivent, d'ailleurs dérivées du Code, pourraient être utilisées dans l'ensemble du Canada pour la conception structurale des pare-air :

Hauteur du pare-air au-dessus du niveau du sol	Charge du vent agissant vers l'intérieur	Charge du vent agissant vers l'extérieur
0 à 6 m	2 400	2 200
6 à 12 m	2 700	2 400
12 à 20 m	3 000	2 650
20 à 30 m	3 250	2 900
30 à 44 m	3 500	3 100
44 à 64 m	3 800	3 400

Les surcharges dues au vent indiquées précédemment ont été calculées de la façon suivante :

- . On a utilisé les valeurs de vent extrêmes du CNB qui ne sont dépassées qu'à très peu d'endroits au Canada (15 des 638 emplacements répertoriés dans les Données climatiques pour le Canada, situés dans les collectivités éloignées du Nord).
- . On a utilisé le coefficient de rafales applicable à la conception des parements pour déterminer les pressions extérieure et intérieure ($C_g = 2,5$). Ce coefficient de rafales a été utilisé pour la pression intérieure parce qu'un bâtiment résidentiel type compte normalement des fenêtres ouvrables et des portes donnant sur balcon.
- . On a eu recours aux coefficients de pression généralement utilisés en conception structurale, mais pas aux coefficients de pression des bâtiments de faible hauteur.
- . On a utilisé le coefficient de pression intérieure valable pour des bâtiments dont la surface de fuite est distribuée uniformément sur toutes les faces.
- . On a supposé que la totalité de la différence de pression (ΔP) à travers le mur s'appliquait au pare-air. Dans bien de cas, il s'agit d'une valeur prudente. Toutefois, il n'existe actuellement pas de procédure analytique qui permette à un concepteur d'établir quel pourcentage des pressions d'air s'applique aux pare-air, particulièrement lorsqu'il y a déplacement d'air latéral à l'intérieur de la cavité murale. De plus, on prévoit que, de plus en plus, les murs à écran pare-pluie seront compartimentés afin de mieux équilibrer les pressions et de limiter l'infiltration de la pluie. Il est donc conseillé de concevoir les pare-air de façon à préserver la capacité d'équilibre des pressions, puisqu'il sera possible de compartimenter les cavités après coup, à l'occasion de travaux de rattrapage ultérieurs.

Comparaison des pressions de vent ultimes pour la conception des pare-air recommandées par Morrison Hershfield et des pressions recommandées antérieurement

Le rapport intitulé «The Development of Test Procedures and Methods to Evaluate Air Barrier Membranes for Masonry Walls» [4], établi par Ortech pour le compte de la SCHL, contient des recommandations basées sur les charges de succion ultimes du CNB s'exerçant sur les pare-air.

Les charges de pression d'air que nous recommandons sont supérieures d'environ 30 p. 100 à celles contenues dans ce

rapport. Les différentes hypothèses sur lesquelles nous nous sommes fondés sont indiquées ci-dessous.

P	$=$	$q C_e C_g C_p \times 1,5$	Le rapport d'Ortech diffère du nôtre au niveau de la pression de référence du vent horaire et des coefficients de pression utilisés.
q	$=$	0,34 kPa	rapport d'Ortech (valeur moyenne de $q_{1/10}$)
	$=$	0,65	rapport de Morrison Hershfield (valeur dépassée à quelques endroits habités du Canada)
C_p	$=$	1,5	rapport d'Ortech
	$=$	1	rapport de Morrison Hershfield (somme vectorielle de la pression de succion intérieure de -0,7 et de la pression intérieure de +0,3 pour un bâtiment dont les ouvertures sont distribuées uniformément)
C_g	$=$	2,5	rapports d'Ortech et de Morrison Hershfield

La valeur de 1,75 que Morrison Hershfield attribue dans son rapport à la pression extérieure ($C_p C_g$) concorde avec les indications de la figure B-8 du Commentaire B du Supplément du Code national du bâtiment du Canada de 1990.

Ce qui importe, c'est qu'il se dégage un consensus : les pare-air doivent être conçus pour résister aux surcharges dues au vent, et la valeur des charges ultimes recommandées revêt une importance critique (dans le cas d'un bâtiment de 20 étages, Ortech l'établit à -2 600 Pa et Morrison Hershfield à -3 400 Pa).

Charges de calcul pour l'effet de tirage et la ventilation mécanique

On peut raisonnablement utiliser la limite supérieure des charges de pressions d'air combinées dues à l'effet de tirage et à la ventilation mécanique (pressurisation), laquelle a été établie à 8,5 Pa par étage, pour des bâtiments ayant une hauteur d'étage de 3 m, dans l'ensemble du pays.

Charges combinées dues à l'effet de tirage, à la ventilation mécanique et au vent s'exerçant sur les pare-air

Les pressions d'air dues à l'effet de tirage et à la ventilation mécanique se manifestent surtout durant les mois d'hiver, soit pendant environ 40 p. 100 de l'année. La

probabilité que des charges de pointe dues au vent se manifestent durant cette période est relativement élevée et il semble donc raisonnable d'additionner directement les charges dues à l'effet de tirage, à la ventilation mécanique et au vent pour déterminer les charges de calcul ultimes.

La combinaison des pressions dues au vent, à l'effet de tirage et à la ventilation mécanique aux fins du calcul des pressions totales s'exerçant sur l'enveloppe du bâtiment est très complexe. Les surcharges dues au vent qui s'exercent sur les pare-air augmentent en fonction de la hauteur au-dessus du niveau du sol, alors que l'effet de tirage et de la ventilation mécanique ne varie pas en fonction de la hauteur, mais plutôt de la distance par rapport au plan neutre du bâtiment. Les pressions dues à l'effet de tirage sont également influencées par la hauteur totale du bâtiment. Ainsi, par exemple, la pression due à l'effet de tirage et à la ventilation mécanique qui s'exerce au rez-de-chaussée d'un bâtiment de faible hauteur sera différente de celle qui s'exerce au rez-de-chaussée d'un bâtiment de grande hauteur.

Pour des bâtiments résidentiels types, donc de moins de 20 étages, les pressions combinées de l'effet de tirage et de la ventilation mécanique peuvent accroître la pression agissant vers l'intérieur dans une mesure allant jusqu'à 120 Pa, et la pression agissant vers l'extérieur jusqu'à 170 Pa. La charge maximale agissant vers l'intérieur est calculée en fonction d'un plan neutre situé à environ 70 p. 100 de la hauteur du bâtiment. La charge maximale agissant vers l'extérieur est calculée en fonction d'un plan neutre ramené à la base du bâtiment sous l'action de la ventilation mécanique.

Le tableau suivant indique les charges «ultimes» ou «pondérées» qui ont été dérivées du Code et qui correspondent aux pressions combinées du vent, de l'effet de tirage et de la ventilation mécanique applicables à l'ensemble du pays.

Hauteur du pare-air au-dessus du niveau du sol	Charges maximales agissant vers l'int.	Charges maximales agissant vers l'ext.
0 à 6 m	2 500 Pa	2 400 Pa
6 à 12 m	2 800 Pa	2 600 Pa
12 à 20 m	3 100 Pa	2 800 Pa
20 à 30 m	3 400 Pa	3 100 Pa
30 à 44 m	3 600 Pa	3 300 Pa
44 à 64 m	3 900 Pa	3 600 Pa

Charges cycliques dues au vent s'exerçant sur les pare-air

Certains matériaux de bâtiment peuvent se détériorer sous l'effet de charges cycliques moins élevées que la charge unique normalement susceptible d'entraîner une défaillance. Ce phénomène correspond à ce que l'on appelle la «fatigue».

La fatigue des structures occasionnée par les surcharges dues au vent n'est généralement pas considérée comme un facteur préoccupant, sauf pour les structures soumises aux vibrations engendrées par le vent. Toutefois, le Building Research Establishment (BRE) recommande que les parements muraux soient soumis à des essais en laboratoire simulant les charges de vent répétées qu'ils subiront au cours des 50 ans de durée utile théorique d'un bâtiment [5].

Le programme d'essais de fatigue proposé par le BRE prévoit l'application de 6 401 sollicitations cycliques (une à 100 p. 100, 5 à 90 p. 100, 25 à 80 p. 100, 70 à 70 p. 100, 300 à 60 p. 100, 1 200 à 50 p. 100 et 4 800 à 40 p. 100 de la pression de calcul du vent). Nous invitons le lecteur à consulter les publications du BRE pour en savoir plus long sur sa façon d'établir la pression de calcul du vent et sur les fondements de ses recommandations. Les essais de fatigue des matériaux pare-air d'ensembles de bâtiment sont coûteux et injustifiés, à moins que l'on soupçonne un matériau de mal se comporter sous des charges cycliques.

Cependant, il peut s'avérer utile de savoir si les charges cycliques ont un effet néfaste sur la capacité de transmission des efforts des matériaux assurant l'étanchéité à l'air. À notre connaissance, aucun essai n'a déterminé l'influence des charges cycliques sur la capacité de transmission des efforts des plaques de plâtre ou de leurs dispositifs de fixation. On ne sait donc pas si la résistance, et en particulier la résistance à l'arrachement des dispositifs de fixation, peut être affectée par des charges cycliques.

Pour certains matériaux tels que l'isolant de polystyrène extrudé, qui s'emploie pour l'aménagement de routes et de pistes d'envol et d'atterrissage, nous savons que les charges cycliques n'en affectent pas la résistance. Le concepteur doit toutefois être sensibilisé à la possibilité que les matériaux et les raccords de certains murs puissent connaître une rupture par fatigue sous l'action du vent. On a ainsi constaté une rupture par fatigue des tôles de chemisage intérieur dans des murs à double paroi. Le concepteur de murs doit être conscient du potentiel de rupture par fatigue des parements et des pare-air.

6. INTÉGRITÉ STRUCTURALE DES MATÉRIAUX PARE-AIR

La conception structurale d'un pare-air suppose les étapes suivantes :

- a) déterminer les charges qui s'exercent sur le pare-air, y compris les charges maximales prévues au cours de la durée utile théorique du matériau, les charges de longue durée et les charges cycliques,
- b) calculer les contraintes auxquelles sont soumis les matériaux et les dispositifs de fixation en raison des charges exercées,
- c) relever les niveaux des contraintes auxquelles peuvent résister les matériaux et les dispositifs de fixation sans risque de défaillance structurale. Ces niveaux de contrainte peuvent être différents selon qu'il s'agit de charges de courte ou de longue durée ou de charges cycliques, et
- d) caractériser le niveau de déformation du pare-air qui n'entraînera pas de problèmes de tenue en service comme la fissuration des revêtements de finition intérieure, le déplacement exagéré de l'isolant par rapport au plan adjacent, et l'incapacité d'équilibrer les pressions de la cavité d'un mur à écran pare-pluie.

À la section précédente, nous avons calculé les pressions d'air (charges de pointe, charges de longue durée et charges cycliques) qui s'appliquent généralement à l'ensemble du pays, d'après les valeurs fournies par le CNB pour les surcharges dues au vent s'exerçant sur les parements de bâtiment.

La présente section traite plus particulièrement des points mentionnés aux paragraphes b, c et d ci-dessus.

On possède des connaissances limitées sur la capacité de transmission des efforts des matériaux et des systèmes pare-air courants. Peu de normes régissant les matériaux utilisés comme pare-air énoncent explicitement des exigences structurales à leur égard.

Dans cette section, nous nous attarderons plus particulièrement sur les matériaux ou systèmes suivants :

- . plaque de plâtre
- . isolant rigide
- . polyéthylène
- . membranes
- . revêtements de finition extérieure isolants

Plaque de plâtre

La plaque de plâtre est un matériau de construction résistant à la flexion qui s'emploie comme revêtement d'une ossature à poteaux de bois ou d'acier habituellement disposés à entraxe de 400 mm.

Les contraintes qui s'exercent sur le panneau assujetti aux poteaux et sur les attaches dépendent du nombre de poteaux et de leur espacement qu'il couvre de façon continue.

Peu importe le nombre d'intervalles en cause, le moment de flexion maximale du panneau sera inférieur ou égal aux deux-huitièmes de la pression multipliée par l'espacement entre poteaux. Ainsi, la déformation maximale pour un intervalle quelconque sera inférieure ou égale à $1,25 \times$ (la pression multipliée par l'espacement entre poteaux). Les tableaux qui suivent sont basés sur ces valeurs de moment de flexion et de déformation.

Les plaques de plâtre présentent une résistance à la flexion différente selon leur orientation. Les fibres du revêtement de papier sont parallèles à la longueur des plaques standards de 1,2 m x 2,4 m. La résistance à la flexion de la plaque est environ 2,5 plus élevée dans le sens longitudinal que dans le sens transversal. Les normes régissant les plaques de plâtre spécifient la résistance à la rupture moyenne exigée pour différentes épaisseurs, laquelle varie selon l'orientation de la plaque.

La conception structurale exige une connaissance de la variabilité de la tenue en service d'un matériau. La norme A82.27-M1977 de la CSA, «Gypsum Board Products», prescrit, à l'instar de la plupart des normes sur les matériaux, des exigences «structurales» uniquement en termes de résistance moyenne à la flexion ou à l'arrachement des attaches.

Des représentants de fabricants de plaques de plâtre ont indiqué que les caractéristiques structurales de ce matériau variaient beaucoup et qu'il n'existe pas de données sur la variabilité de la résistance à la flexion ou de la résistance à l'arrachement des attaches.

Un fabricant de revêtements de finition extérieure isolants prescrit les espacements requis pour fixer ce type de revêtement au support. Ses recommandations tiennent compte d'un coefficient de sécurité de 2 pour la résistance moyenne à l'arrachement des têtes de clou.

Le tableau qui suit inclut un facteur de réduction de 0,5 pour la résistance moyenne à la flexion et à l'arrachement des clous, et fournit des directives pour l'utilisation des plaques de plâtre comme pare-air ou comme support structural du pare-air.

			ESPACEMENT DES POTEAUX					
			300 mm		400 mm		600 mm	
HAUTEUR DE LA PLAQUE DE PLÂTRE AU- DESSUS DU NIVEAU DU SOL (en metres)	CHARGE MAXIMALE AGISSANT VERS L'INT (Pa)	CHARGE MAXIMALE AGISSANT VERS L'EXT (Pa)	Moment de flexion pondéré maximal	Forces de fixation pondérées	Moment de flexion pondéré maximal	Forces de fixation pondérées	Moment de flexion pondéré maximal	Forces de fixation pondérées
0 à 6	2500	2400	28 Nm/m	900 N/m	50 Nm/m	1200 N/m	113 Nm/m *	1800 N/m
6 à 12	2800	2600	32 Nm/m	975 N/m	56 Nm/m	1300 N/m	126 Nm/m *	1950 N/m
12 à 20	3100	2800	35 Nm/m	960 N/m	62 Nm/m *	1400 N/m	140 Nm/m *	2100 N/m
20 à 30	3400	3100	38 Nm/m	1030 N/m	68 Nm/m *	1530 N/m	153 Nm/m *	2325 N/m
30 à 44	3600	3300	41 Nm/m	1100 N/m	72 Nm/m *	1650 N/m	162 Nm/m *	2475 N/m
44 à 64	3900	3600	44 Nm/m	1180 N/m	78 Nm/m *	1800 N/m	176 Nm/m **	2700 N/m

Pare-air en plaque de plâtre
Force de fixation pondérée pour les pare-air en plaque de plâtre

Remarque: À moins d'indication contraire, des plaques de plâtre de 1/2 po d'épaisseur orientées verticalement ou horizontalement constituent un pare-air acceptable.

* plaque de plâtre de 1/2 po d'épaisseur, la direction longitudinale du panneau étant posée dans le sens horizontal

** plaque de plâtre de 3/8 po d'épaisseur, la direction longitudinale du panneau étant posée dans le sens horizontal

Pour le tableau précédent, et pour le tableau sur l'espacement des vis ci-dessous, les limites inférieures ont été fixées à la moitié des données d'essai moyennes. Ces limites correspondent aux recommandations des fabricants de revêtements de finition intérieure isolants.

Pour les attaches des plaques de plâtre :

Valeur pondérée d'arrachement des attaches pour une plaque de plâtre de 1/2 po = $325 \text{ N} \times 0,5 = 162 \text{ N}$

Valeur pondérée d'arrachement des attaches pour une plaque de plâtre de 5/8 po = $365 \text{ N} \times 0,5 = 182 \text{ N}$

Pour des plaques de plâtre posées horizontalement :

Valeur pondérée de résistance à la flexion pour une plaque de plâtre de 1/2 po = 162 Nm/m

Valeur pondérée de résistance à la flexion pour une plaque de plâtre de 5/8 po = 220 Nm/m

Pour des plaques de plâtre posées verticalement :

Valeur pondérée de résistance à la flexion pour une plaque de plâtre de 1/2 po = 59 Nm/m

Valeur pondérée de résistance à la flexion pour une plaque de plâtre de 5/8 po = 72 Nm/m

Valeurs recommandées pour l'espacement des vis des plaques de plâtre servant de pare-air

Hauteur de la plaque de plâtre au-dessus du niveau du sol (en mètres)	Espacement des poteaux		
	300 mm	400 mm	600 mm
0 à 6	200 mm	150 mm	100 mm
6 à 12	150 mm	100 mm	75 mm
12 à 20	150 mm	100 mm	75 mm
20 à 30	150 mm	100 mm	75 mm
30 à 44	100 mm	100 mm	75 mm
44 m à 64	100 mm	100 mm	50 mm

Il ressort de ce tableau que les façons actuelles de fixer les plaques de plâtre servant de pare-air (entraxe de 300 mm sur le pourtour et de 400 mm à l'intérieur) ne répondent pas aux exigences ci-dessus pour l'espacement des vis, lesquelles sont valables pour l'ensemble du pays. Le concepteur pourra utiliser les valeurs indiquées ci-dessus, ou calculer l'espacement des vis requis pour le bâtiment en question. Il pourra aussi avoir recours à des attaches particulières (vis à grosse tête), pourvu qu'il ait accès à des données d'essai pertinentes.

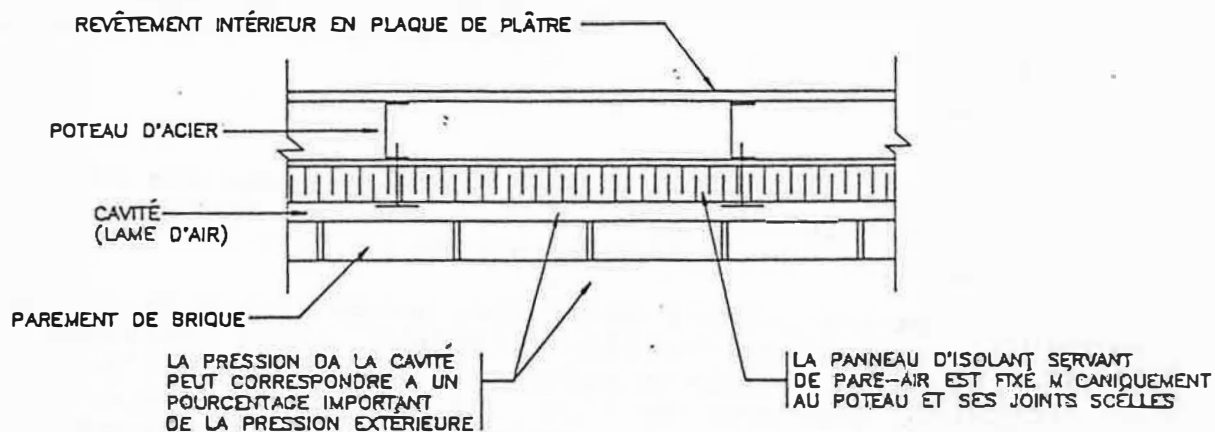
Isolant rigide

L'isolant rigide résiste à la flexion. Il peut se poser par-dessus les poteaux de bois ou d'acier de l'ossature, ou se fixer à un support structural, tel qu'une plaque de plâtre.

Certains types d'isolant rigide, par exemple, le polystyrène extrudé, sont imperméables à l'air. Ils ne s'utilisent toutefois pas comme pare-air, car il n'existe pas actuellement de moyens simples et durables d'en sceller les joints. En supposant que des techniques simples de scellement des joints puissent être mises au point pour ce type d'isolant, voici ce qui en découlerait.

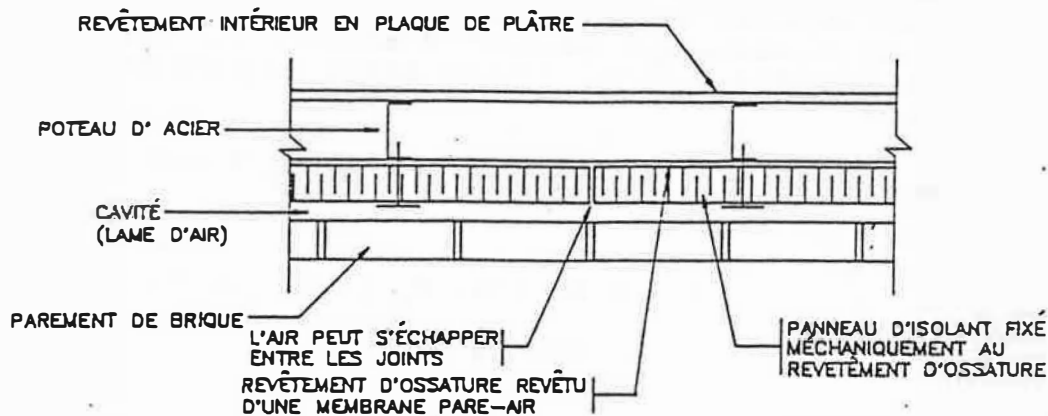
L'isolant rigide peut être soumis à des charges dans les conditions suivantes :

1. Le panneau d'isolant sert de pare-air :

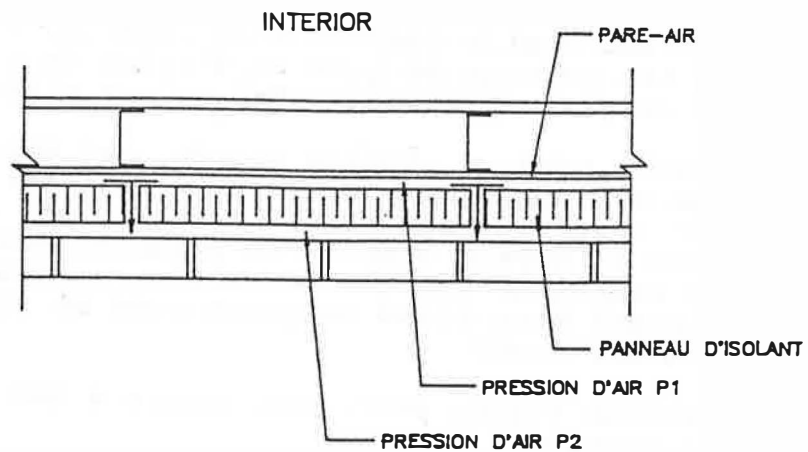


Ce type d'assemblage est entièrement soumis aux pressions exercées par le vent, l'effet de tirage et la ventilation mécanique.

2. Le panneau d'isolant est relativement étanche à l'air mais ne constitue pas le principal élément de résistance au mouvement de l'air. Autrement dit, il ne tient pas lieu de pare-air :



Lorsque des rafales engendrent des pressions négatives, une charge non équilibrée peut s'exercer sur l'isolant et sur les attaches mécaniques; celle-ci équivaut à la portion de la pression du vent extérieure qui correspond aux pressions de rafales proprement dites. À moins que l'air puisse se déplacer entre l'arrière de l'isolant et le pare-air, une charge non équilibrée agira sur le mur.



AU DÉPART, LES PRESSIONS D'AIR P1 ET P2 SONT ÉGALES. LA PRESSION NÉGATIVE RÉSULTANT DES RAFALES ENTRAÎNE UNE BAISSSE DE P2. P1 SER PLUS ÉLEVÉE QUE P2 JUSQU'A CE QUE L'AIR PUISSE S'ÉCHAPPER DERRIÈRE L'ISOLANT, COMME L'ILLUSTRE LA FIGURE.

L'air qui s'échappe vers l'extérieur amène une réduction de la pression derrière le panneau d'isolant, et un nouvel équilibre des pressions se crée à l'intérieur de la cavité.

Nous savons intuitivement que, moins il y a de résistance au mouvement de l'air derrière l'isolant, moins longtemps dure le déséquilibre des pressions agissant sur le panneau d'isolant. La résistance au mouvement de l'air est une combinaison de la résistance au mouvement d'air entre les joints des plaques et derrière les plaques elles-mêmes.

Des charges s'exercent sur les matériaux constituant d'un mur lorsqu'ils sont mis en oeuvre de façon à offrir une forte résistance au mouvement de l'air. Des pressions non équilibrées peuvent agir sur des plans relativement étanches à l'air du mur sous l'effet des rafales de vent, tel que discuté plus haut. Une telle situation pourrait survenir dans le cas, par exemple, d'un mur comportant des panneaux d'isolant de polystyrène extrudé bouvetés. Nous donnons ci-après des valeurs estimatives des charges non équilibrées qui peuvent s'exercer sur des plans relativement étanches à l'air situés entre le parement extérieur et le pare-air.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{déséquilibrée}} &= q_{1/10} C_e (C_g - 1) C_p \times 1,5 \\
 \text{«ULTIME» ou} \\
 \text{«PONDÉRÉE»} &= (0,65 \text{ kPa}) C_e (1,5) (-0,7) \times 1,5 \\
 &= +1 \ 200 \text{ Pa} \\
 &\quad -1 \ 000 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Le panneau d'isolant peut être mis en oeuvre entre les poteaux de façon à être exposé aux charges agissant à la fois vers l'intérieur et l'extérieur, ou vers l'extérieur seulement.

Il existe différents types d'isolant rigide, et chacun possède des caractéristiques structurales particulières, comme en fait foi le tableau ci-après.

Matériau	Résistance à la flexion min.	Attaches
Polystyrène extrudé	600 kPa sens machine 375 kPa sens transv.	Données non disponibles
Panneau rigide de mousse de polyuréthane revêtu d'aluminium des deux côtés	140 kPa min.	Données non disponibles
Panneau de polystyrène expansé	170 kPa min.	Données non disponibles

Puisque les exigences relatives à la résistance à la flexion des matériaux isolants ci-dessus sont des valeurs minimales, il n'est pas nécessaire d'avoir recours à un coefficient de sécurité aussi élevé pour l'isolant rigide que pour les plaques de plâtre.

On peut raisonnablement réduire ces valeurs de résistance à la flexion minimales par un facteur de 0,8 pour établir les limites inférieures de résistance de ces matériaux. Le tableau qui suit indique les contraintes qui s'exercent sur des panneaux d'épaisseur variée, pour une charge de +3 900 Pa. Cette valeur est considérée comme la «limite supérieure», ou pression pondérée, qui peut s'exercer sur le pare-air d'un bâtiment résidentiel de 20 étages ou moins, dans l'ensemble du pays.

				ESPACEMENT DES POTEAUX					
				300 mm		400 mm		600 mm	
HAUTEUR DE LA PLAQUE DE PLÂTRE AU- DESSUS DU NIVEAU DU SOL (en mètres)	PRESSIION MAX. «PONDÉRÉE» AGISSANT VERS L'INT. (Pa)	PRESSIION MAX. «PONDÉRÉE» AGISSANT VERS L'EXT. (Pa)	t (mm)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'int. (kPa)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'ext. (kPa)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'int. (kPa)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'ext. (kPa)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'int. (kPa)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'ext. (kPa)
0 à 6	2500	2400	25	270	250	490	440	1090	990
			38	120	120	210	190	480	440
			50	70	60	120	110	270	250
6 à 12	2800	2600	25	300	280	540	490	1210	1100
			38	130	120	240	220	530	490
			50	80	70	130	120	300	270
12 à 20	3100	2800	25	330	300	590	540	1330	1010
			38	150	130	260	240	590	540
			50	80	70	150	140	330	300
20 à 30	3400	3100	25	360	330	640	590	1460	1330
			38	160	150	280	260	640	580
			50	90	80	160	150	360	330
30 à 44	3600	3300	25	400	360	700	640	1580	1440
			38	170	150	310	280	690	630
			50	90	90	170	150	390	360
44 à 64	3900	3600	25	430	390	750	625	1670	1520
			38	190	170	330	278	780	710
			50	110	100	190	157	420	380

Résistance à la flexion requise pour des panneaux d'isolant rigide utilisés comme pare-air

Panneau d'isolant	Résistance à la flexion min.	Résistance à la flexion pondérée 20 étages	Épaisseur d'isolant rigide requise pour des bâtiments de moins de 20 étages où l'isolant sert de pare-air		
			Espacement des poteaux		
			300 mm	400 mm	600 mm
Panneau d'isolant de polyuréthane	140 KPa	110 KPa	50 mm	100 mm	200 mm
Panneau de polystyrène expansé	170 KPa	140 KPa	50 mm	75 mm	175 mm
Polystyrène extrudé sens machine	600 KPa	480 KPa	25 mm	38 mm	50 mm
Polystyrène extrudé sens transversal	375 KPa	300 KPa	38 mm	50 mm	125 mm

L'isolant rigide utilisé comme pare-air dans des bâtiments de 20 étages ou moins au Canada doit pouvoir résister à une pression ultime de +3 900 Pa et -3 600 Pa. La pression positive est la pression qui s'exerce vers l'intérieur d'un bâtiment.

				ESPACEMENT DES POTEAUX					
				300 mm		400 mm		600 mm	
HAUTEUR DE LA PLAQUE DE PLÂTRE AU-DESSUS DU NIVEAU DU SOL (en mètres)	PRESSIION MAX. «PONDÉRÉE» AGISSANT VERS L'INT. (Pa)	PRESSIION MAX. «PONDÉRÉE» AGISSANT VERS L'EXT. (Pa)	t (mm)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'int. (kPa)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'ext. (kPa)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'int. (kPa)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'ext. (kPa)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'int. (kPa)	Contrainte de flexion max. Pression agissant vers l'ext. (kPa)
0 à 6	1080 Pa	900	25	117	97	205	170	468	388
			38	51	43	90	76	204	172
			50	29	24	51	42	116	96
6 à 12	1200 Pa	1000	25	130	108	228	190	520	432
			38	57	48	100	85	228	192
			50	32	27	56	48	128	108
12 à 20	1320 Pa	1100	25	143	119	252	210	572	476
			38	63	53	110	93	252	212
			50	35	30	62	53	140	120
20 à 30	1440 Pa	1200	25	156	130	275	228	624	520
			38	68	58	120	102	272	232
			50	38	32	69	56	152	128
30 à 44	1560 Pa	1300	25	169	140	298	246	676	560
			38	74	62	130	109	296	248
			50	41	35	72	62	164	140
44 à 64	1680 Pa	1400	25	182	151	320	265	728	604
			38	80	68	140	120	320	272
			50	45	38	79	67	180	152

Résistance à la flexion requise pour des panneaux d'isolant rigide utilisés comme pare-air dans des installations relativement étanches à l'air et où l'isolant est soumis à la composante de rafale du vent extérieur

Panneau d'isolant	Résistance à la flexion min.	Résistance à la flexion pondérée	Épaisseur d'isolant rigide requise pour des bâtiments de moins de 20 étages où l'isolant sert de pare-air		
			Espacement des poteaux		
			300 mm	400 mm	600 mm
Panneau d'isolant de polyuréthane	140 KPa	110 KPa	38 mm	50 mm	75 mm
Panneau de polystyrène expansé	170 KPa	140 KPa	38 mm	38 mm	50 mm
Polystyrène extrudé sens machine	600 KPa	480 KPa	25 mm	25 mm	38 mm
Polystyrène extrudé sens transversal	375 KPa	300 KPa	25 mm	38 mm	50 mm

L'isolant rigide qui n'est pas utilisé comme pare-air peut quand même être soumis à la composante de rafale des pressions de vent extérieures, laquelle équivaut à une pression ultime de +1 680 Pa et -1 400 Pa pour un bâtiment de 20 étages.

Polyéthylène

Le polyéthylène en feuille s'emploie couramment comme pare-vapeur dans les bâtiments, étant un matériau relativement étanche à l'air. Par conséquent, de nombreuses méthodes de construction font appel au polyéthylène pour assurer le rôle de pare-air.

Le polyéthylène en feuille est un matériau qui ne présente aucune résistance à la flexion, et il ne peut pas non plus supporter des contraintes de compression. Il se déformera pour prendre la forme nécessaire pour réagir et résister aux charges qui lui seront transmises uniquement par des efforts de traction. Cette sorte de structure est dite élastique.

Les pare-air à structure élastique présentent les inconvénients suivants :

1. La membrane doit être posée de façon à ce qu'il y ait suffisamment de jeu, ou qu'elle puisse s'étirer suffisamment sous la contrainte, pour que la pression d'air qu'elle subit soit absorbée principalement par les efforts de traction de la membrane.
2. L'isolant se place fréquemment tout contre l'une des faces du pare-air. Si le pare-air doit se déformer pour résister aux charges, il se peut que le matériau isolant soit déplacé par le pare-air.
3. Si le pare-air doit se déformer pour résister aux charges, il peut entrer en contact avec des clous, etc., et risquer d'être perforé.
4. Si on recherche l'équilibre des pressions dans la cavité murale, on ne peut pas permettre que le volume de la cavité soit modifié sous l'effet de la pression qui s'y exerce. Un pare-air élastique peut se déformer au point d'empêcher l'équilibrage des pressions.
5. Les joints du pare-air et les agrafes le fixant au support structural doivent pouvoir résister aux importants efforts de traction qui peuvent s'exercer dans le sens du plan d'étanchéité à l'air. On doit prévoir des joints robustes entre les feuilles du pare-air et en prévenir le déchirement aux points d'agrafage sur la structure.

Il serait sans doute utile d'illustrer notre propos à l'aide d'un exemple particulier. Prenons l'exemple d'une feuille de polyéthylène de 0,006 po (0,15 mm) d'épaisseur fixée à des poteaux disposés à entraxe de 400 mm. En construction, la membrane de polyéthylène de faible densité, qui s'utilise normalement, présente une résistance à la traction minimale de l'ordre de 12 MPa dans le sens machine, et de 8 MPa dans le sens

transversal. Aux fins de calcul, supposons que la résistance à la traction «pondérée» ou «ultime» de la feuille de polyéthylène est de 6,4 MPa (soit 0,8 x 8 MPa).

Nous pouvons alors calculer la pression à laquelle la membrane de polyéthylène peut résister sans dépasser sa résistance à la traction pondérée, ou la flexion admissible. Supposons que nous tolérons une flexion centrale de 12 mm pour une membrane de polyéthylène sous une surcharge de vent maximale.

Pour calculer la pression d'air maximale à laquelle la feuille de polyéthylène peut résister sans fléchir de plus de 12 mm et sans que la contrainte de traction ne dépasse 6,4 MPa, on procède de la façon suivante :

$$P = H \times 8 h / L^2 \quad \text{formule caténaire}$$

où

$$\begin{aligned} P &= \text{pression d'air} \\ H &= \text{contrainte de traction de la membrane} \\ &= 6,4 \text{ MPa max.} \\ h &= \text{flexion centrale de la membrane} \\ &= 12 \text{ mm max.} \\ L &= \text{portée de la membrane} \\ &= 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

On a donc :

$$\begin{aligned} P &= \frac{(6,4 \text{ N/m}^2) \times 0,150 \text{ mm} (8) (12 \text{ mm})}{(400 \text{ mm})^2} \\ &= 600 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Si on exerce une pression correspondant à la résistance à la traction maximale de 12 MPa d'une feuille de polyéthylène de 0,006 po posée sur les poteaux dans le sens machine, on peut prédire qu'elle résistera à une pression d'environ 1 100 Pa sans dépasser une flexion centrale de 12 mm. Si, par ailleurs, on exerce une pression correspondant à la résistance à la traction maximale d'une feuille de polyéthylène de 0,004 po cette fois, on peut prédire qu'elle résistera à une pression d'environ 750 Pa sans dépasser une flexion centrale de 12 mm.

Par conséquent, compte tenu des niveaux de pression beaucoup plus élevés qui peuvent s'exercer sur les pare-air au cours de la durée utile d'un bâtiment (allant jusqu'à +3 900 Pa et -3 600 Pa pour des bâtiments de moins de 20 étages au Canada), les épaisseurs de membranes de polyéthylène de faible densité actuellement utilisées ne constituent pas un pare-air acceptable.

Le Conseil national de recherches du Canada a effectué des essais de fuite d'air sur des membranes de polyéthylène mises en oeuvre dans des murs à ossature de bois. Lors de ces essais, des différences de pression de 865 Pa ont été appliquées sur des membranes de polyéthylène de 0,004 po fixées à des poteaux

espacés de 400 mm [6]. D'après les photos contenues dans le rapport d'essais, la flexion observée pour ce niveau de pression dépassait 12 mm, comme le prévoyaient les calculs théoriques.

Les membranes de polyéthylène de faible densité de 0,004 ou 0,006 po actuellement utilisées en construction sans support structural ne constituent pas un pare-air acceptable car elles ne peuvent pas résister à une pression d'air importante sans accuser de déformation indue. Les techniques de construction évitent, à bon escient, de placer les joints de polyéthylène à mi-chemin entre les poteaux. Les joints se pratiquent sur les poteaux mêmes et les feuilles se chevauchent sur l'intervalle séparant deux poteaux. Pour que ce matériau élastique puisse résister aux charges qui lui sont transmises, on doit empêcher la défaillance des joints par suite du déchirement de la feuille de polyéthylène. Les feuilles de polyéthylène sont offertes dans un large éventail d'épaisseurs et en densité moyenne ou élevée qui présentent une résistance beaucoup plus élevée. Le tableau qui suit donne un aperçu de la gamme de résistance à la traction que l'on retrouve parmi ces membranes.

Matériau	Résistance à la traction (MPa)
Polyéthylène de faible densité	12 MPa - 18 MPa
Polyéthylène de densité moyenne	14 MPa - 24 MPa
Polyéthylène de densité élevée	21 MPa - 68 MPa

Pour qu'une membrane de polyéthylène sans support structural puisse constituer un pare-air acceptable, on doit donc avoir recours à une membrane plus épaisse ou plus forte dont les joints sont scellés et qui est solidement fixée aux poteaux.

Les feuilles de polyéthylène de faible densité de 0,004 ou 0,006 po d'épaisseur, qui s'emploient actuellement en construction, comportent de sérieuses restrictions à titre de pare-air sans support structural. L'une des façons de surmonter ces problèmes consiste à intercaler la feuille de polyéthylène entre deux matériaux rigides comme, par exemple, des panneaux de fibres. Cependant, dans de nombreuses situations, l'enveloppe du bâtiment requiert que le pare-air puisse, à certains endroits du moins, absorber les contraintes de traction. Un matériau ne résistant qu'aux contraintes de traction peut former un pont entre la structure principale du bâtiment et l'enveloppe sans risquer de transmettre à l'enveloppe les efforts dus au retrait des poteaux, à la déformation des dalles ou au tassement différentiel du bâtiment.

Membranes

Les membranes servant de pare-air sont habituellement thermofusibles, appliquées à la truelle, pulvérisées en place ou fixées à l'aide d'attaches mécaniques à un support structural. Il a été recommandé précédemment de mettre en oeuvre dans les bâtiments résidentiels de moins de 20 étages (64 m) des pare-air en mesure de résister à une pression négative ultime (suction) de 3 400 Pa, quelle que soit leur hauteur.

Dans le cadre de l'étude réalisée pour le compte de la SCHL [4] et portant sur les membranes pare-air des murs de maçonnerie, la firme Ortech a testé 38 membranes pare-air soumises à une pression de 3 000 Pa pendant dix secondes, et de -1 000 Pa pendant une heure. Au cours des essais d'une durée de 10 secondes, on a observé dans certains cas la délamination du matériau.

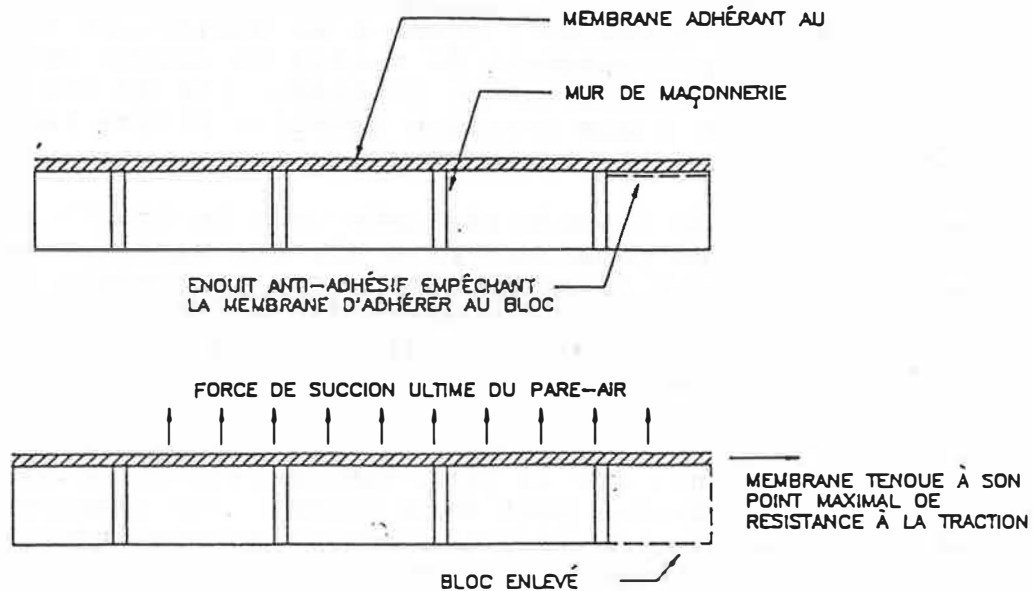
Il est important, sur le plan structural, de déterminer quel degré de délamination peut être toléré sans compromettre la capacité de la membrane de résister aux pressions théoriques ultimes susceptibles de s'exercer sur celle-ci au cours de la durée utile du bâtiment.

Les membranes peuvent transmettre les pressions d'air auxquelles elles sont soumises à travers de petites ouvertures par une combinaison de l'effet de flexion et du mouvement de la membrane. Pour de grandes surfaces où la délamination est importante, seul le mouvement de la membrane s'opposera aux pressions d'air. Deux facteurs limitent le degré de délamination.

1. Plus la délamination est importante, plus l'effort de traction sera élevé au niveau de la membrane, compte tenu du «jeu» de délamination. Le pire cas est celui d'une membrane décollée mais tendue, car elle doit subir un effort de traction beaucoup plus élevé qu'une membrane décollée lâche pour résister aux pressions d'air.
2. La bande collée entourant une section de membrane décollée subira un effort de traction beaucoup plus élevé que les sections pleinement adhérentes de la membrane, ce qui contribuera à l'arrachement de la membrane de son support en mode de traction. En outre, la contrainte de traction qui s'exercera sur la membrane décollée entraînera des efforts de cisaillement qui seront transmis à la bande collée du pourtour.

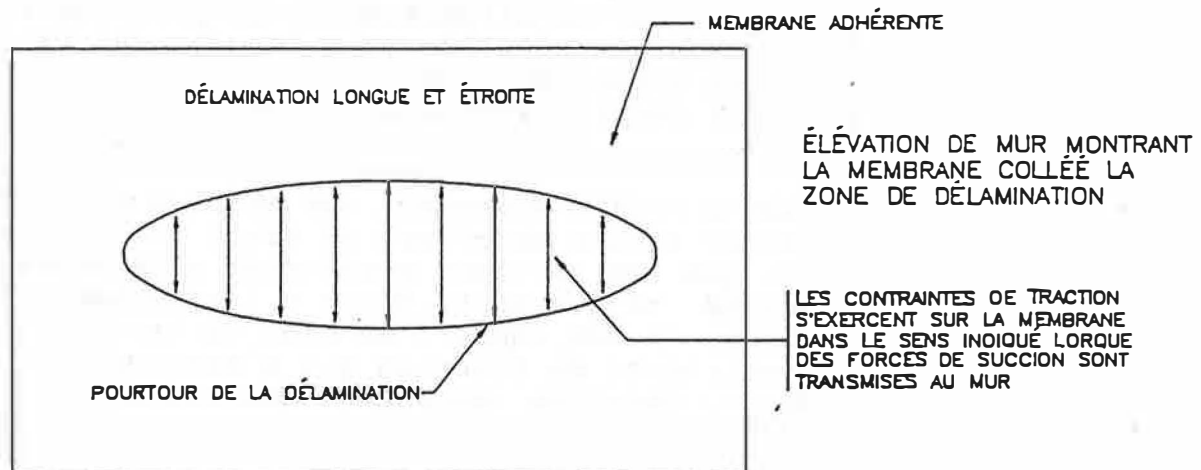
La plupart des membranes qui ont subi une délamination ne présentent pas un jeu suffisant et, par conséquent, aussi longtemps que l'adhésif retenant la membrane au support pourra transmettre les efforts de traction de la membrane par cisaillement, la délamination

n'augmentera pas sous l'effet des pressions appliquées. Nous présentons ci-après un test qui permet de calculer, et d'éviter, l'augmentation de la délamination sous la pression du vent.



Si la membrane continue d'adhérer au support sous l'effet des forces de succion et de cisaillement théoriques ultimes illustrées ci-dessus, le degré de délamination acceptable correspondra au degré qui se situe en-deça de la résistance à la traction de la membrane.

La configuration de la zone de délamination détermine la façon dont les charges se transmettent à la membrane adhérente environnante. Une languette de membrane décollée s'étendra dans un sens particulier, et agira à la façon d'un caténaire.

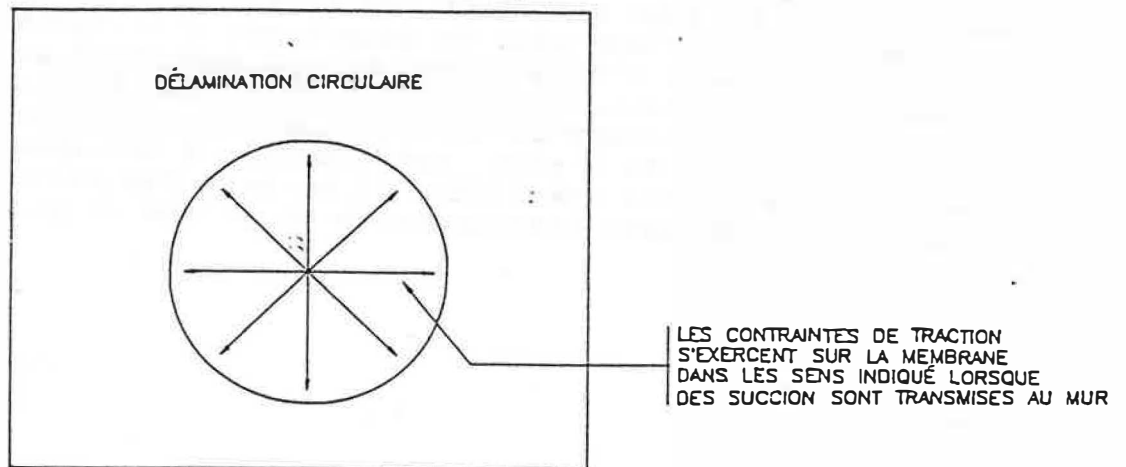


Une zone de délamination circulaire résistera aux pressions qui lui sont transmises en s'étendant sur tout son périmètre. Chaque zone de délamination résistera aux charges appliquées selon la forme particulière de la délamination.

Il est possible de calculer le degré de délamination admissible pour différentes configurations au sein d'une membrane donnée, mais la portée du présent rapport n'englobe pas cet aspect particulier.

Revêtements de finition extérieure isolants

Les revêtements de finition extérieure isolants sont des systèmes brevetés composés d'un revêtement extérieur et d'un



matériau isolant adhérent, qui se fixent à l'aide d'un adhésif ou d'attaches mécaniques sur un support constitué, entre autres, de plaques de plâtre, de panneaux de contreplaqué ou de fibragglo, lui-même fixé aux poteaux. Cet isolant peut aussi être collé ou fixé directement au mur de maçonnerie ou de béton. Dans certains cas, l'isolant sera fixé directement sur les poteaux, sans aucune autre forme de support.

Le pare-air est habituellement assuré vis-à-vis le revêtement extérieur et les joints de calfeutrage entre les panneaux. Le trajet des charges de pression d'air est direct.

On devrait consulter la documentation des fabricants de ces revêtements pour vérifier s'ils ont fait l'objet d'essais structuraux. Certains systèmes brevetés ont été testés à des pressions statiques négatives de -6 000 Pa sans que l'on ait pu observer de fissuration, de délamination ou d'autres signes de détérioration. Des attaches et des espacements non standards ont été utilisés pour fixer le revêtement au support, en l'occurrence à la plaque de plâtre, pour ces essais. Bien que cet arrangement n'invalide pas les résultats des essais, nous conseillons au concepteur de s'assurer que la structure qui supporte ces systèmes est conçue et exécutée selon les recommandations du fabricant. Celui-ci doit particulièrement s'assurer que l'arrangement utilisé reproduit exactement la construction de l'éprouvette d'essai et les détails de fixation du panneau.

La méthode consistant à effectuer des essais structuraux à seulement 150 p. 100 de la valeur de la pression de calcul spécifiée par les codes du bâtiment nous apparaît peu fiable. Cette valeur correspond à la charge de pression pondérée du vent, soit à la limite supérieure de la pression qui peut s'exercer sur un élément de bâtiment pendant sa durée utile. Afin de tenir compte de la variabilité des matériaux et des méthodes de construction, on doit effectuer des essais à un niveau de pression bien supérieur afin de déterminer l'intégrité structurale globale d'un système, et pas seulement la performance de l'éprouvette d'essai. Par exemple, certains fabricants utilisent un coefficient de sécurité de 2 pour les attaches des plaques de plâtre. Si l'essai est effectué à seulement 1,5 fois la pression de calcul spécifiée, il ne sera pas valable pour les attaches du revêtement intermédiaire en plaque de plâtre.

7. MÉTHODE DÉRIVÉE DU CODE ET AUTRE MODE DE CALCUL DES SURCHARGES DUES AU VENT

Dans cette section, nous allons fournir un exemple des méthodes utilisées pour calculer les charges «ultimes» du vent qui s'exercent sur les pare-air d'après :

- . les charges établies dans le CNB à l'égard des parements, valables pour l'ensemble du pays
- . les charges établies dans le CNB pour des emplacements particuliers
- . autre mode basé sur la durée utile théorique du bâtiment et sur la probabilité de dépassement des charges ultimes de calcul

Charges établies dans le CNB à l'égard des parements, valables pour l'ensemble du pays

$$C^P_{\text{vers l'int.}} = 1,1 \text{ (somme des pressions int. et ext.)}$$

$$C^P_{\text{vers l'ext.}} = 1,0 \text{ (somme des pressions int. et ext.)}$$

$$C_e = 1,1 \text{ (à 20 m au-dessus du niveau du sol)}$$

$$C_g = 2,5$$

$$q_{1/10} = 0,65 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{vers l'int.}} = (q_{1/10}) (C_e) (1,1) \times 1,5 = 2,95 \text{ kPa} \\ \text{(correspond à la «charge ultime ou pondérée»)}$$

$$P_{\text{vers l'ext.}} = (q_{1/10}) (C_e) (1,0) \times 1,5 = 2,68 \text{ kPa} \\ \text{(correspond à la «charge ultime ou pondérée»)}$$

Charges établies dans le CNB à l'égard des parements, valables pour un emplacement particulier (Ottawa, Ontario) à 20 m au-dessus du niveau du sol

Les coefficients C_e , C_g et C_p sont calculés de la même façon que dans le cas précédent.

Les autres paramètres sont calculés de la façon suivante :

$$q_{1/10} = 0,30 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{vers l'int.}} = 1,36 \text{ kPa} \\ \text{(correspond à la «charge ultime ou pondérée»)}$$

$$P_{\text{vers l'ext.}} = 1,23 \text{ kPa} \\ \text{(correspond à la «charge ultime ou pondérée»)}$$

Autre méthode basée sur la durée utile et
les probabilités de dépassement

Il est possible de calculer la période de «récurrence» du vent pour une durée utile donnée du pare-air, et pour la probabilité de dépassement de la pression d'air recherchée au cours de cette période.

Supposons que p est la probabilité que la vitesse horaire moyenne du vent ne sera pas dépassée au cours d'une année quelconque. Supposons, par exemple, que $p = 0,9$ pour un vent ayant une récurrence de 10 ans.

Si la durée utile prévue du pare-air est de 50 ans et que l'on désire que la probabilité de dépassement de cette pression ultime soit de 5 p. 100, l'équation qui suit indique qu'on doit baser nos calculs sur un vent ayant une récurrence de 1 000 ans.

$$\begin{aligned} 1-p^{50} &= 0,05 \\ p &= 0,999 \\ &= \text{vent d'une récurrence de 1 000 ans} \end{aligned}$$

Durée utile prévue (ans)	Probabilité de dépassement au cours de la durée théorique	Période de récurrence recherchée 10
10	0,05	200
25	0,05	500
50	0,05	1000
50	0,10	500

Pour la ville d'Ottawa, en Ontario, on obtient les vitesses de vent suivantes :

$$\begin{aligned} q_{1/10} &= 0,30 \text{ kPa} & V_{10} &= 48,2086 \text{ mi/h} \\ q_{1/30} &= 0,37 \text{ kPa} & V_{30} &= 53,53499 \text{ mi/h} \\ q_{1/100} &= 0,46 \text{ kPa} & V_{100} &= 59,69195 \text{ mi/h} \end{aligned}$$

Les équations qui suivent peuvent être utilisées pour calculer la vitesse du vent de différentes périodes de récurrence pour un emplacement particulier au Canada. La première étape consiste à calculer le paramètre « $\frac{1}{a}$ » de l'emplacement en question. Ce paramètre peut se calculer à l'aide des vitesses de vent correspondant aux pressions de stagnation du vent pour $q_{1/100}$ et $q_{1/30}$. Après avoir déterminé la valeur de « $\frac{1}{a}$ » pour cet emplacement, on peut calculer la vitesse du vent pour une période de récurrence donnée de la façon suivante :

$$V_n = V_{30} - \frac{1}{a} \ln(\ln(\frac{1}{1/30}) / \ln(1 - \frac{1}{n}))$$

La pression de stagnation de V_n est exprimée par la notation q^1/n et se calcule de la façon suivante :

$$q^1/n = (V_n)^2 (0,00012919)$$

où V_n est exprimé en milles par heure (mi/h) et q^1/n en kilopascals (kPa).

Pour la ville d'Ottawa, on aura donc l'équation suivante :

$$\begin{aligned} V_a^1 &= \frac{V_{100} - V_{30}}{\ln(\ln(1-1/30)/\ln(1-1/100))} \\ &= \frac{59,69195 - 53,53499}{\ln(-0,0339015/0,0100503)} \\ &= \frac{6,1565}{1,17179} = 5,254 \end{aligned}$$

Pour calculer la pression de stagnation d'un vent ayant une période de récurrence de 200 ans pour la région d'Ottawa :

$$\begin{aligned} V_{200} &= 53,53499 - 5,254 \ln(\ln(1-1/30)/\ln(1-1/200)) \\ &= 53,53499 + 5,254 \ln(-0,339015/-0,0050125) \\ &= 63,6 \text{ mi/h} \\ q_{1/200} &= 0,52 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Pour calculer la pression de stagnation d'un vent ayant une période de récurrence de 500 ans pour la région d'Ottawa :

$$\begin{aligned} V_{500} &= 53,53499 + 5,254 \ln(-0,339015/-0,002002) \\ &= 68,4 \text{ mi/h} \\ q_{1/500} &= 0,6 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Pour calculer la pression de stagnation d'un vent ayant une période de récurrence de 1 000 ans pour la région d'Ottawa :

$$\begin{aligned} V_{1000} &= 53,53499 + 5,254 \ln(-0,339015/-0,00100) \\ &= 72 \text{ mi/h} \\ q_{1/1000} &= 0,67 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Le CNB utilise un facteur de charge de 1,5 pour convertir la pression du vent de référence $q_{1/10}$ en pression dite "ultime" ou "pondérée" afin de tenir compte des incertitudes qui peuvent exister au niveau des conditions climatiques ambiantes et des coefficients de pression. Dans le présent rapport, nous avons plutôt opté pour une estimation prudente des coefficients de pression. Nous croyons en effet qu'il est préférable d'utiliser des valeurs correspondant à 100 p. 100 des pressions intérieure et extérieure pour la conception des pare-air. En utilisant des pressions de stagnation qui sont peu susceptibles d'être dépassées au cours de la durée utile du bâtiment, nous obtenons des coefficients de pression très raisonnables, et les valeurs

résultantes peuvent alors être considérées comme la charge «ultime» du vent pouvant s'exercer sur le pare-air.

Par conséquent, nous proposons d'utiliser les pressions de vent suivantes pour la conception des pare-air :

$$P_{\text{vers l'int.}} = C_e (C_g = 2,5) (C_p = 1,1) \quad \begin{array}{l} \text{(pression de} \\ \text{stagnation} \\ \text{du vent à une} \\ \text{hauteur de} \\ \text{référence de} \\ \text{10 m, pour une} \\ \text{probabilité de} \\ \text{dépassement de} \\ \text{5 p. 100 au} \\ \text{cours de la} \\ \text{durée utile)} \end{array}$$

(pression dite «ultime»)

Le tableau suivant indique les pressions de vent calculées en fonction des pressions fournies par le Code, ainsi que les pressions, sans doute plus réalistes, calculées en fonction de la durée utile et de la probabilité de dépassement pour un pare-air de bâtiment situé à 20 m au-dessus du niveau du sol à Ottawa, en Ontario.

Base des calculs	Pressions de vent ultimes s'exerçant sur le pare-air (+vers l'int.) (-vers l'ext.)
Exigences du CNB pour les parements $q_{1/10}$	+1,36 kPa -1,23 kPa
Exigences du CNB pour la structure principale $q_{1/10}$	+1,67 kPa -1,51 kPa
Durée utile prévue de 10 ans et probabilité de dépassement de 5%	+1,57 kPa -1,42 kPa
Durée utile prévue de 25 ans et probabilité de dépassement de 5%	+1,81 kPa -1,65 kPa
Vie utile prévue de 50 ans et probabilité de dépassement de 5%	+2,0 kPa -1,8 kPa
Durée utile prévue de 50 ans et probabilité de dépassement de 10%	+1,81 kPa -1,651 kPa

Bien que l'utilisation des surcharges dues au vent fournies par le CNB pour la conception des parements ait permis d'obtenir une performance satisfaisante des parements constituée de matériaux traditionnels, il semble que cela soit dû à une évaluation prudente de la résistance structurale, qui vient compenser la sous-évaluation des charges de vent extrêmes pouvant s'exercer sur les pare-air au cours de leur durée utile prévue.

La méthode prônée par le CNB pour le calcul des charges applicables à la structure principale ($q_{1/30}$) semble plus raisonnable pour le calcul des charges ultimes que les valeurs calculées à l'aide de $q_{1/10}$.

On devrait considérer la possibilité de baser le calcul des charges ultimes du vent sur une pression de référence de $q_{1/30}$ plutôt que sur la pression de référence $q_{1/10}$ recommandée pour les parements composés de matériaux traditionnels.

Il est particulièrement important, pour l'établissement de lignes directrices, que le calcul des charges de vent ultimes et de la résistance des pare-air soient basées sur des valeurs précises et fiables, et non sur des valeurs qui, en conjonction avec d'autres, peuvent sembler raisonnables. Un large éventail de matériaux et de systèmes pourront éventuellement être utilisés pour la conception des pare-air. Les lignes directrices mises au point pour la conception des pare-air devront par conséquent s'appliquer à un plus grand éventail de matériaux que celles qui existent présentement pour la conception des bâtiments et des parements.

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

- . Les pare-air sont soumis aux pressions résultant de l'effet de tirage et de la ventilation mécanique (pressurisation) à l'intérieur du bâtiment, et aux pressions extérieure et intérieure dues au vent.
- . Les pare-air doivent conserver leur efficacité pendant toute la durée utile du bâtiment afin d'assurer la régulation des conditions intérieures ambiantes et de prévenir la détérioration prématurée de l'enveloppe du bâtiment.
- . Les éléments du bâtiment qui composent le pare-air ne doivent pas nécessairement être situés du côté extérieur de l'enveloppe du bâtiment pour être soumis aux pressions extérieures dues au vent.
- . On sait, grâce aux mesures sur le terrain et aux essais en soufflerie, que la pression à l'intérieur de la cavité d'un mur à écran pare-pluie est en équilibre avec la pression extérieure due aux rafales lorsqu'il n'y a pas de déplacement d'air latéral à l'intérieur de la cavité.
- . Compte tenu des connaissances actuelles, il n'est pas possible d'établir le pourcentage de la pression extérieure due au vent qui s'exerce sur le pare-air d'un mur à écran pare-pluie lorsqu'il y a déplacement d'air à l'intérieur de la cavité. De nombreux essais et analyses seront nécessaires pour mettre au point un modèle qui permette de prédire la performance des murs à écran pare-pluie non compartimentés sous l'effet du vent.
- . Les pare-air doivent être conçus pour résister à la somme des pressions extérieure et intérieure dues au vent, y compris l'effet de rafales, et aux pressions dues à l'effet de tirage et à la ventilation mécanique.
- . À l'heure actuelle, il semble logique de s'en remettre aux recommandations du Code national du bâtiment du Canada relatives aux parements pour évaluer l'intégrité structurale des pare-air. On devra cependant établir en priorité un ensemble de lignes directrices applicables à l'ensemble du pays. En attendant que les pare-air soient conçus pour résister aux contraintes structurales auxquelles ils peuvent être soumis au cours de la vie utile du bâtiment, on doit s'attendre à ce que la défaillance prématurée des pare-air soit monnaie courante.

- . Actuellement, les pare-air doivent être conçus pour satisfaire, au minimum, aux surcharges dues au vent prescrites par le CNB pour les parements. Toutefois, comme nous l'avons vu à la section 7, l'utilisation d'un coefficient de sécurité de $1,5 \times q_{1/10}$ ne garantit pas une faible probabilité de dépassement des charges ultimes au cours de la durée utile prévue d'un bâtiment type, c.-à-d. 50 ans. Bien que l'on n'ait pas observé de défaillance excessive des parements utilisant des matériaux traditionnels (béton, brique, acier, aluminium) qui ont été conçus en fonction des exigences du Code pour les parements et d'une pression du vent de référence de $q_{1/10}$, il semble plus prudent, pour les raisons indiquées à la section 7, de considérer sérieusement d'exiger que les matériaux pare-air puissent résister à des charges pondérées calculées en fonction d'une pression de référence $q_{1/30}$.
 - . Les pressions «ultimes» ou «pondérées» qui sont fournies dans le présent rapport s'appliquent à l'ensemble du Canada pour la conception et l'évaluation des pare-air de bâtiments résidentiels de 20 étages ou moins (64 m). Ces pressions «ultimes» ou «pondérées» ont été calculées d'après les recommandations du Code national du bâtiment pour les surcharges dues au vent applicables aux parements. Celles-ci sont indiquées à la section 5 du présent rapport.
 - . La conception structurale des pare-air fait appel à la détermination :
 - a) de la charge extrême ayant une faible probabilité de dépassement au cours de la durée utile du bâtiment, et
 - b) de la charge à laquelle une structure peut résister et pour laquelle la probabilité de défaillance de la structure se situe à un niveau acceptable.
- Connaissant à la fois la résistance du matériau et les contraintes auxquelles il doit résister, on peut évaluer l'intégrité structurale de ce dernier, c'est-à-dire situer à un niveau acceptable le degré de probabilité que les charges puissent dépasser la résistance de la structure (c.-à-d. entraîner la défaillance de celle-ci). À la section 7, on a illustré diverses méthodes permettant de calculer ces probabilités pour diverses surcharges dues au vent.
- . Les charges (et, particulièrement, les surcharges dues au vent) qui sont traitées dans les codes du bâtiment ne sont pas présentées sous un format qui permette au concepteur de relever le niveau de charges adéquat pour un bâtiment ayant une durée utile connue, pour une probabilité de dépassement donnée. Cette lacune est

délibérée, car elle permet d'assurer l'uniformité des bâtiments construits selon le code. Toutefois, il y a de nombreux cas où il serait utile de pouvoir utiliser des hypothèses autres que celles qui sont contenues dans les codes pour les surcharges dues au vent. Ainsi, on pourrait raisonnablement supposer que les éléments où le pare-air est constitué par le revêtement intérieur en plaques de plâtre présentent une probabilité de défaillance plus élevée que les éléments où la défaillance structurale du pare-air sous l'effet du vent n'entraîne aucun signe de détérioration visible.

- . On a proposé des valeurs pour les pressions constantes qui devront être prises en compte dans l'étude du fluage résultant des charges constantes qui s'exercent sur les pare-air. Cette information est fournie à la section 5 du rapport.
- . Pour les matériaux pare-air susceptibles à la rupture par fatigue, on a proposé des lignes directrices permettant de «reproduire» les effets des contraintes de fatigue dues au vent. Cette information est fournie à la section 5.
- . Il n'y a pas que les pare-air qui soient soumis à l'effet du vent dans les ensembles de mur. Ainsi, les surcharges dues au vent peuvent entraîner la défaillance de l'isolant à l'intérieur de la cavité du mur, défaillance qui peut passer inaperçue. On a donc recommandé des niveaux de charge pour la conception et l'évaluation structurale des matériaux relativement étanches à l'air (mais qui ne forment pas l'élément pare-air) situés à l'intérieur des murs. Se reporter à la section 5 pour plus de détails.
- . On a discuté des méthodes de construction actuelles des pare-air pour les matériaux suivants : plaques de plâtre et panneau d'isolant rigide, polyéthylène, membranes et revêtements de finition extérieure isolants, afin de déterminer si elles étaient satisfaisantes. En outre, on a établi des lignes directrices sur les exigences structurales des matériaux isolants qui sont relativement étanches à l'air mais qui ne forment pas l'élément pare-air, ainsi que sur les facteurs qui influent sur le niveau de délamination admissible entre la membrane et son support structural. Se reporter à la section 5 pour plus de détails à ce sujet.

Il semble y avoir une importante lacune au niveau des connaissances relatives aux propriétés structurales des matériaux pare-air et de leurs moyens de fixation. En l'absence de connaissances sur la variabilité de ces propriétés structurales, il n'est pas possible d'établir de façon rationnelle des limites inférieures adéquates pour la résistance d'une gamme de matériaux qui entrent dans la construction des pare-air. La méthode actuelle, recommandée par le Code, qui consiste à tester un mur à 1,5 fois la charge «ultime» ou «pondérée» du vent, n'est adéquate que pour les constructions où l'éprouvette d'essai est représentative de la construction réelle. Cette valeur est toutefois raisonnable pour les éléments de bâtiment préfabriqués (acier, aluminium), où les matériaux utilisés sont soumis à un contrôle sévère.

Lorsqu'on a affaire à des constructions mettant en jeu des matériaux qui présentent une plus grande variabilité que l'acier ou l'aluminium, il ne nous semble pas suffisant de s'en tenir à des essais aux pressions de vent pondérées, puisque l'éprouvette d'essai n'est pas toujours représentative des conditions réelles de la construction.

Bien qu'il faille acquérir davantage d'information pour faciliter la conception structurale des pare-air, il est quand même possible, à l'heure actuelle, de concevoir des pare-air adéquats sur le plan structural.

Les fabricants fourniront des données sur la résistance structurale des matériaux pare-air et de leurs dispositifs de fixation le jour où les concepteurs l'exigeront.

MORRISON HERSFIELD LIMITED

D.H. MacDonald, ing.

R.L. Quirouette, B.Arch.

RÉFÉRENCES

- [1] «A Study of the Rainscreen Concept Applied to Cladding Systems on Wood Framed Walls», rapport établi par Morrison Hershfield Limited pour la Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1990.
- [2] U. Ganglui, «Pressions du vent et de l'air sur l'enveloppe des bâtiments», compte rendu du Regard 86 sur la science du bâtiment - Un pare-air pour l'enveloppe du bâtiment, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, Ontario.
- [3] Irwin, P.A., Schuyler, G.D. et Wazonek, M.A. «A Wind Tunnel Investigation of Rainscreen Wall Systems», étude présentée au Conseil national de recherches du Canada, contrat n° 15SR.31944-3-0014.
- [4] G. Hildebrand, «The Development of Test Procedures and Methods to Evaluate Air Barrier Membranes for Masonry Walls», rapport préparé par Ortech International pour la Société canadienne d'hypothèques et de logement, Ottawa, Ontario.
- [5] «The Assessment of Wind Loads», Building Research Establishment (1984), Digest 119, BRE., Garston, Watford.
- [6] C.Y. Shaw, «Essais de transparence à l'air des membranes de polyéthylène posées sur un mur à ossature de bois», Note de recherche sur la construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, janvier 1985.

