



Éléments de conception d'un système d'étanchéité à l'air

par
Rick Quirouette
Sandra Marshall
Jacques Rousseau

Résumé

Les problèmes d'humidité dans les cavités des murs extérieurs et du toit s'expliquent souvent par l'exfiltration d'air humide intérieur. L'enveloppe du bâtiment risque de subir d'importants méfaits attribuables à la condensation d'humidité à l'intérieur des murs extérieurs et du toit : efflorescence ou effritement de la brique et de la pierre, corrosion des dispositifs d'ancrage et des agrafes de liaisonnement de la brique, écaillage de la peinture, formation de glaçons sur la façade extérieure, pourriture du revêtement intermédiaire et des éléments d'ossature, production de moisissure et bien d'autres manifestations. L'exfiltration a pour effet indirect d'accroître l'infiltration de pluie, la consommation énergétique et d'abaisser le degré d'humidité intérieur l'hiver.

Les problèmes d'humidité surviennent lorsque l'exfiltration d'air se condense dans une cavité de la construction, le plus souvent sur la face arrière du revêtement intermédiaire ou du parement. La cause de la condensation peut être éliminée ou du moins atténuée en mettant en œuvre un système d'étanchéité à l'air, en limitant le degré d'humidité relative à l'intérieur pendant l'hiver et en ayant recours à l'installation de ventilation pour équilibrer la pression du bâtiment.

Le présent article est consacré à l'étude des problèmes que pose le contrôle des fuites d'air, à la notion de parcours des fuites d'air et des différences de pression d'air, aux exigences conceptuelles des systèmes d'étanchéité à l'air, aux caractéristiques des matériaux et systèmes d'étanchéité à l'air, aux exigences du code du bâtiment, ainsi qu'à la conception des étanchéités à l'air et des pare-vapeur. Il fournit également des notes sur la préparation de plans et devis et sur les aspects entourant l'examen des lieux.

Objectifs

Après avoir lu l'article, vous serez en mesure de comprendre :

1. Les sortes de problèmes causés par les fuites d'air à travers l'enveloppe du bâtiment ;
2. La nature des trous, des orifices et des parcours des fuites d'air dans l'enveloppe du bâtiment ;
3. Les notions de mouvement d'air et de différence de pression d'air ;
4. Les effets des charges structurales sur la différence de pression d'air agissant sur les matériaux et systèmes d'étanchéité à l'air ;
5. Où mettre en place l'étanchéité à l'air des murs, du toit ou des fenêtres ;
6. Comment distinguer les systèmes d'étanchéité à l'air, les pare-vapeur et les systèmes d'étanchéité à l'air/pare-vapeur ;
7. Comment interpréter les exigences du code du bâtiment et s'y conformer ;
8. Les méthodes d'essai sur place et de mise en service du système d'étanchéité à l'air.

Introduction

Figure 1 – Efflorescence causée par les fuites d'air



Figure 2 – Glace en façade



L'humidité des murs à ossature de bois et la pourriture du bois des revêtements intermédiaires de petits bâtiments est souvent attribuable aux fuites d'air. Nous savons maintenant que les fuites d'air occasionnent la formation de givre sous les combles, de barrières de glace au bord du toit, l'efflorescence de la brique et de la pierre de parement des façades, l'effritement de la brique et du mortier, la corrosion des dispositifs d'ancrage, du givre dans les cavités, des glaçons en façade des bâtiments, des frais énergétiques élevés, un degré d'humidité peu élevé et, plus récemment, de la moisissure à l'intérieur des bâtiments.

Du début jusqu'au milieu des années 1980, on s'est aperçu que l'étanchéisation à l'air n'était pas synonyme de contrôle de la diffusion de vapeur d'eau. On a en effet découvert que l'étanchéisation à l'air requérait une démarche différente devant faire appel à des exigences conceptuelles spécifiques d'étanchéisation à l'air, à de nouveaux matériaux et, fait d'égale importance, à des révisions du Code national du bâtiment du Canada (CNBC).

Figure 3 – Effritement de la brique



Le CNBC de 1985 instaurait des exigences d'étanchéité à l'air distinctes de celles des pare-vapeur. En 1986, l'Institut de recherche en construction (l'IRC autrefois appelé la DRB) présentait aux spécialistes du bâtiment canadiens les exigences fondamentales en matière de conception et de performance de l'étanchéité à l'air. À ce moment-là, il était recommandé de prévoir à l'égard de l'enveloppe des bâtiments un taux de fuites d'air maximal (perméance à l'air) de $0,1 \text{ L}/(\text{s} \times \text{m}^2)$ ($\text{L}/\text{s} \cdot \text{m}^2$) à une différence de pression de 75 Pascals (Pa) agissant sur l'échantillon de construction, en présumant d'un degré intérieur moyen d'humidité relative (HR) variant entre 20 % et 30 %.

Dernièrement, le Centre canadien de matériaux de construction (CCMC) a établi quatre taux d'étanchéité à l'air admissibles, allant de $0,05$ à $0,2 \text{ L}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ correspondant à différents degrés d'humidité intérieurs et différents taux d'assèchement des murs extérieurs. Le CCMC établit un rapport entre

le taux maximal de fuites d'air permmissible et la gamme de perméance à la vapeur d'eau des couches extérieures des matériaux de construction situés du côté extérieur du plan d'étanchéité à l'air. Par exemple, un taux maximal de fuites d'air de $0,2 \text{ L}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ à 75 Pa est autorisé si aucune couche de matériau du côté extérieur du plan d'étanchéité à l'air n'a une perméance à la vapeur d'eau inférieure à $800 \text{ ng}/(\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^2)$.⁽¹⁶⁾

Au début des années 1990, la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) a mené une étude consacrée à 11 tours d'habitation dans le but de comparer les taux de fuites d'air des murs extérieurs et des fenêtres des immeubles d'appartements avec les exigences cibles de l'IRC. De façon précise, les taux de fuites d'air de ces bâtiments ont été déterminés au moyen d'essais de dépressurisation des appartements, des planchers et de l'ensemble du bâtiment. L'âge des bâtiments variait entre 2 et 33 ans. Le taux de fuites général enregistré par unité de surface murale extérieure se situait dans la plage de $0,7$ à $7,8 \text{ L}/\text{s} \cdot \text{m}^2$, à une différence de pression de 50 Pa (différence de pression normalisée pour l'essai de dépressurisation de tout un bâtiment) agissant sur le mur extérieur (voir le tableau 1). Lorsque la différence de pression passe à 75 Pa, le taux de fuites global des murs extérieurs se situe dans la plage variant entre $0,9$ et $10,3 \text{ L}/\text{s} \cdot \text{m}^2$. Par conséquent, la plage des taux de fuites d'air provenant des murs extérieurs des tours d'habitation, a-t-on découvert, était entre 9 et 103 fois plus importante que les valeurs cibles recommandées par l'IRC ou le CCMC. *

*La différence de pression d'air de 50 Pa se rapporte aux méthodes d'essai visant tout le bâtiment et celle de 75 Pa à celles touchant les murs extérieurs. Les essais effectués sur les maisons vers la fin des années 1970 misaient sur la différence de 50 Pa, alors que la différence de 75 Pa s'utilisait lors des essais des murs rideaux de grands bâtiments commerciaux.

Tableau I – Enquête de la SCHL sur les fuites d’air ⁽¹⁰⁾

N°	Région	Bâtiment n°	Année	Fuites d’air (L/s.m ²) à 50 Pa
1	Atlantique	1	1982	7,8
2		2	1983	4,1
3	Québec	1	1991	2,2
4		2	1960	4,6
5	Ontario	1	--	2,3
6		2	--	2,0
7	Prairies	1	1986	7,7
8		2	1970	2,8
9	C.-B.	1	1984	1,9
10		2	1991	0,7
11		3	1991	1,1

Les fuites d’air se produisent lorsqu’un trou, un orifice ou un parcours de fuite d’air traverse l’enveloppe et que celle-ci est soumise à une différence de pression d’air. Trois phénomènes expliquent la différence de pression qui entraîne des fuites d’air. Il s’agit de *l’effet de tirage*, du *vent* et de la *pressurisation causée par le système de ventilation*. Le vent et l’effet de tirage sont des phénomènes naturels liés aux variations de température et de pression atmosphérique extérieures, qui ne peuvent pas être modifiés. Par contre, la pressurisation attribuable à l’action de ventilateurs est occasionnée par le système de ventilation du bâtiment qui peut augmenter ou diminuer la pression intérieure du bâtiment. Ces dernières années, la pression du bâtiment attribuable à la conception de la ventilation a augmenté, entraînant une augmentation des problèmes de fuites d’air.

L’enveloppe des bâtiments affichent toujours, à un degré plus ou moins élevé, des trous, des ouvertures et des parcours de fuites d’air. C’est d’ailleurs l’objet principal du présent article : la conception et la réalisation d’un système d’étanchéité à l’air pour l’enveloppe des bâtiments neufs. De nos jours, le défi auquel les architectes et les autres concepteurs de bâtiments sont confrontés comporte trois volets. Premièrement, le système d’étanchéité à l’air doit être conçu pour résister davantage aux pressions du vent. Deuxièmement, les concepteurs doivent mettre au point des détails d’exécution améliorant la continuité de l’étanchéité à l’air aux joints, aux jonctions et aux raccordements. Troisièmement, les systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement d’air doivent être conçus pour équilibrer les pressions dans le bâtiment et/ou offrir une marge de manœuvre permettant aux responsables techniques des bâtiments de modifier la pression intérieure selon les besoins.

Fuites d'air

Une fuite d'air traduit le mouvement d'air intérieur ou extérieur à travers un trou ou un parcours menant de part en part. L'ampleur des fuites d'air peut être déterminée selon différentes situations.

Par exemple, si un trou de 25,4 mm sur 25,4 mm (1 po²) traverse le mur extérieur et qu'une différence de pression d'air de 10 Pa (0,04 po d'eau) s'exerce de part et d'autre du trou, l'air s'échappe à un débit d'environ 2,4 L/s (4 pi³/mn). La quantité ne semble pas appréciable, mais les fuites d'air traversant la même trou au cours d'une journée représenteraient (2,4 L/s x 60 s/mn x 60 mn/h x 24 h/j ou) 208,224 L/j. Cela équivaut à un volume d'air de 216 m³ (ou 8 000 pi³) traversant le trou de 1 po² en une journée. Cet air peut transporter une quantité considérable d'eau.

**6 m x 6 m x 6 m ou 20 pi x 20 pi x 20 pi*

Fuites d'air et condensation

Figure 4 – Givre sous les combles attribuable aux fuites d'air.



Si cette quantité d'air devait s'échapper par un mur extérieur, elle pourrait passer sous la rive des plaques de plâtre à la jonction du mur et du plancher et parvenir jusque dans la cavité murale. À partir de là, elle pourrait passer entre la sablière et le revêtement intérieur de finition en plaques de plâtre, se rendre sous les combles, puis à l'extérieur par un aérateur de toit. Si cet air était humide, une quantité considérable d'humidité serait transmise à l'extérieur ou se déposerait sous forme de condensation.

Par exemple, si l'air intérieur enregistre une température de 21 °C (70 °F) et une HR de 30 %, on peut déterminer que 530 grammes (environ 1 lb) d'eau seront évacués à l'extérieur en une journée. Par contre, si la température extérieure est de -10 °C (14 °F) et que la température de la sous-face du toit se trouve sous le point de rosée des fuites d'air, soit à 3 °C (37 °F), il est tout à fait possible qu'une quantité considérable des 530 grammes se condense sur la face inférieure du support de couverture et se transforme en givre. C'est le processus généralement associé à la formation de condensation et de givre sous les combles et dans les cavités des murs extérieurs.

Fuites d'air et énergie

Lorsque l'air s'échappe par l'enveloppe du bâtiment jusqu'à l'extérieur, le bâtiment perd de l'énergie calorifique l'hiver et de l'énergie de conditionnement d'air l'été. L'énergie calorifique ainsi évacuée se compose habituellement de la chaleur sensible (énergie requise pour élever la température d'un gaz) autant de l'air humide que de la chaleur latente de vaporisation (énergie requise pour transformer l'eau à l'état liquide en vapeur). En perdant de sa teneur en eau par voie de condensation, en s'exfiltrant l'air humide libère également de la chaleur. Il s'agit là de la chaleur de fusion alors que la vapeur d'eau (humidité) passe de l'état de vapeur à l'état liquide (condensation). Lorsque de l'air sec sert à ventiler une zone humide, l'humidité doit absorber la chaleur de l'air environnant pour vaporiser l'eau contenue dans la zone humide.

Par exemple, si l'air extérieur enregistre une température de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, une HR de 80 % et s'infiltré dans un petit bâtiment commercial à un débit de 250 L/s, il faudra environ 9,38 kW d'énergie pour élever la température de l'air extérieur à $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. De même, si l'air qui s'infiltré est humidifié pour passer d'une HR de 80 % et d'une température de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ à une HR de 30 % et à une température de $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, il faudra environ 2,48** kW d'énergie pour produire de la vapeur d'eau supplémentaire et élever le degré d'humidité relative à 30 % à une température de $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sur une période de 24 heures, la chaleur sensible et latente totale requise sera de 285 kWh par jour ou $((9,38 + 2,48)\text{ kW} \times 24$.*

* $(1,21 \times 250 \times (21 - (-10)))\text{ kW}^{(14)}$

** $(3000 \times 2,3 \times (0,0046 - 0,0013))^{(14)}$

Si le taux de fuite et la température extérieure demeurent constants pendant un mois, un petit bâtiment commercial requérant une alimentation en air frais de 250 L/s (infiltration + alimentation) aura besoin de 8 682 kWh pour chauffer et humidifier l'air infiltré. **Les vérifications du rendement énergétique de bâtiments commerciaux indiquent que les fuites d'air constituent un élément important de la consommation énergétique, représentant entre 15 et 35 % du coût annuel total de l'énergie dans les bâtiments commerciaux équipés d'installations de chauffage et de conditionnement d'air. L'absence d'un système d'étanchéité à l'air risque de gonfler indûment les coûts énergétiques du chauffage et du conditionnement d'air.**

Trous, ouvertures et parcours de fuites d'air

L'air peut s'échapper de l'enveloppe du bâtiment en empruntant bon nombre de trous, d'ouvertures ou de parcours. Par exemple, l'air peut s'infiltrer dans un mur extérieur par les chantepleures du parement en brique, par les imperfections des agrafes de liaisonnement de la brique et jusque dans les espaces comblés d'isolant thermique. Il peut parvenir dans une pièce par une prise de courant ou par en-dessous du revêtement en plaques de plâtre du mur extérieur. En revanche, il peut s'exfiltrer par les imperfections du dormant ou sous la pièce d'appui d'une fenêtre jusque dans les cavités murales, pour remonter jusque dans le mur en surélévation pour enfin s'échapper de la face inférieure du solin de couronnement métallique. Dans ces exemples, il est difficile d'évaluer l'aire transversale effective et la longueur du flux, mais il se produira, à coup sûr, des fuites d'air et de la condensation risque de s'accumuler dans les murs extérieurs au cours de l'hiver.

L'air fuyant par l'enveloppe du bâtiment doit trouver une ouverture ou un parcours pour parvenir de l'autre côté. Les ouvertures ou parcours de fuites peuvent être directs, diffus ou se faire par débit canalisé.

Figure 5 – Mouvement direct



Une ouverture directe

prend généralement la forme d'un trou, d'une fissure ou d'un joint qui permet de voir de l'autre côté (Figure 5 – Mouvement direct). Le circuit du flux est alors court et direct. En l'occurrence, les fuites d'air peuvent se rendre directement jusqu'à l'extérieur sans laisser trop de condensation dans le toit ou le mur extérieur, mais elles donnent lieu à une perte d'énergie calorifique et d'humidité en provenance de l'intérieur. Si l'air qui s'échappe contient

Figure 6 – Mouvement d'air par diffusion



plus d'humidité que ce que peut supporter l'air extérieur à cette température, il se manifestera sous forme de brouillard.

Le mouvement d'air par diffusion se caractérise par le cheminement de l'air à travers un matériau de construction pour ainsi passer de part en part. Par exemple, l'air peut être forcé de traverser un mur en blocs de béton, l'isolant en fibre de verre (Figure 6 – Mouvement d'air par diffusion), le papier de construction et le revêtement intermédiaire en panneau de fibres .

Le débit canalisé représente le type le plus courant d'ouverture ou de parcours de fuite. Il se caractérise par un parcours sinueux depuis une ouverture d'un côté du plancher ou du toit jusqu'à une autre ouverture de l'autre. Ces parcours comprennent les fuites d'air jusque dans les prises de courant, les trous de passage des câbles, la base du revêtement de finition en plaques de plâtre, le cheminement par un orifice de ventilation du parement ou le long des cannelures d'un platelage en acier et nombre d'autres circuits

Figure 7 – Débit canalisé



de flux. Des ouvertures ou parcours de fuites peuvent se créer après la construction en raison du retrait différentiel que le bois subit en s'asséchant, de la dilatation thermique et de la contraction des éléments du parement, ou du fléchissement de panneaux sous l'effet du vent. Les parcours de fuites d'air canalisés sont les plus difficiles à trouver. Lorsqu'on parvient à les trouver, ils sont souvent scellés à l'entrée ou à la sortie des ouvertures du parcours de fuites. (Figure 7 – Débit canalisé)

Différence de pression d'air

Trois principaux phénomènes expliquent la différence de pression d'air dans un bâtiment : *l'effet de tirage (ou de cheminée)*, le vent et le système de ventilation. La différence nette de pression d'air agissant sur le mur ou le toit peut résulter de la combinaison des trois et elle peut varier d'un endroit de l'enveloppe du bâtiment à l'autre. L'ampleur de la différence peut également dépendre considérablement de la forme du bâtiment, de l'exposition, de la hauteur et des conditions locales de température et d'humidité extérieures (Figure 8).

Figure 8 – l'effet de tirage

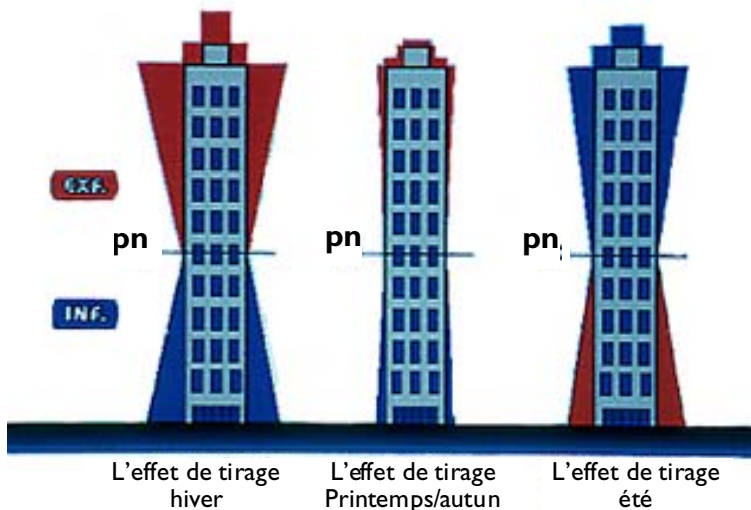
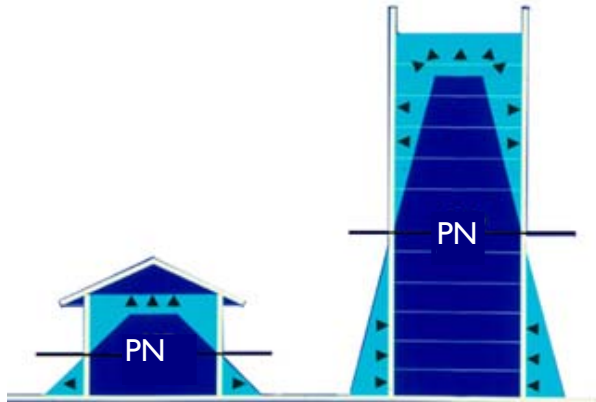


Figure 9 – l'effet de tirage



L'effet de tirage se produit dans tous les bâtiments en hiver comme en été. Il s'agit du mouvement naturel d'une masse d'air à une température donnée (volume d'air du bâtiment) de s'élever ou de s'abaisser dans une autre masse d'air à une température différente (l'air extérieur). En hiver, l'air du bâtiment s'élève et s'échappe du bâtiment. Ce phénomène découle de la différence de densité entre l'air intérieur et l'air extérieur qui occasionne une légère surpression vers l'extérieur en partie supérieure du bâtiment tout en exerçant une légère dépression vers l'intérieur à la base. Il en résulte une infiltration d'air au bas du bâtiment et une exfiltration en partie supérieure. En été, l'effet est inversé.

L'endroit du bâtiment où la différence de pression est nulle s'appelle le plan neutre (PN).

En règle générale, l'effet de tirage en partie supérieure d'un bâtiment de 10 étages assez étanche à l'air, d'une hauteur de 30 m (environ 98 pi), le plan neutre se situant tout juste au-dessus du 1^{er} étage, à 3 m au-dessus du niveau du sol (environ 10 pi), occasionne une différence de pression d'air positive (vers l'extérieur) d'à peu près 50 Pa (1 lb/pi²) au niveau du toit lorsque la température extérieure est de -20 °C et que l'air intérieur enregistre 20 °C. Cette différence de pression se maintient contre le toit et le mur extérieur tant que la différence de température demeure et que les fuites d'air s'échappant par l'enveloppe du bâtiment demeurent faibles. Dès que la température extérieure change, il en va de même de l'effet de tirage. Il diminue à mesure que la température extérieure se réchauffe et augmente à mesure que la température extérieure baisse. **En général, l'effet de tirage est la force la plus importante à l'origine des fuites d'air des bâtiments, étant donné que l'importance et la direction de la différence de pression sont maintenues pendant des mois.**

Le vent exerce sa pression sur un bâtiment en stagnant sur une surface ou une façade. Lorsqu'il agit sur un bâtiment, le vent entraîne une augmentation de la pression d'air sur la façade du bâtiment exposée au vent et une diminution de la pression sur la façade du bâtiment sous le vent. De même, un toit plat enregistre généralement une diminution de pression (ou force de soulèvement) induite par le vent balayant la surface du toit.

En soufflant sur la surface d'un bâtiment, le vent s'infiltré jusqu'à l'intérieur du côté exposé au vent, alors qu'une certaine quantité d'air intérieur s'échappe à l'extérieur du côté sous le vent et peut-être même par le toit. À mesure que l'air s'infiltré dans le bâtiment et s'en échappe, la pression intérieure monte ou baisse jusqu'à ce que l'équilibre se fasse entre l'infiltration totale et l'exfiltration totale. La pression intérieure découle de l'équilibre entre l'infiltration et l'exfiltration d'air. En règle générale, la pression intérieure chute légèrement par rapport aux pressions du vent autour et au-dessus d'un bâtiment.

Le vent suscite la plus importante différence de pression d'air sur les murs extérieurs et le toit d'un bâtiment. Il n'est pas exceptionnel de choisir comme charge de base une pression du vent variant entre 0,5 kPa et 1,0 kPa (10 et 20 lb/pi²) pour la majorité des

bâtiments au Canada. Les rafales de vent peuvent être deux fois et demie plus élevées que la charge de base. **Bien qu'on s'attende à ce que le parement et les murs extérieurs puissent résister à cette charge, ce sera le système d'étanchéité à l'air qui devra tolérer la majorité de cette charge s'il se révèle continu et étanche à l'air et que le parement extérieur est ventilé à l'extérieur.** Par contre, pour résister à une telle charge, le système d'étanchéité à l'air doit bénéficier d'un appui structural ou être fixé. Les charges dues au vent peuvent déplacer la membrane d'étanchéité à l'air ou entraîner la rupture des membranes et panneaux et occasionner des fuites en permanence.

Pressurisation attribuable à l'action des ventilateurs. L'air de ventilation du bâtiment est assuré par les ventilateurs qui servent à alimenter, évacuer ou à faire circuler l'air à l'intérieur. Les ventilateurs d'alimentation en air de compensation et d'extraction d'un bâtiment peuvent être réglés de façon à susciter une surpression (l'alimentation en air de compensation supérieure à l'extraction) pour ainsi pressuriser le bâtiment. La plupart des bâtiments commerciaux, y compris les bâtiments de moyenne ou de grande hauteur, sont ainsi réglés dans le but de réduire l'infiltration d'air dans le vestibule, occasionnée par l'effet de tirage. Le réglage des ventilateurs permet également de susciter une dépression (l'extraction supérieure à l'alimentation en air de compensation) pour empêcher l'air intérieur humide de s'échapper par le toit ou les murs extérieurs. À titre d'exemple, un tel réglage peut s'utiliser pour une piscine intérieure en milieu climatique froid.

Les ventilateurs suscitent une différence de pression d'air petite, mais tout de même significative, agissant sur l'enveloppe du bâtiment. La différence de pression d'air doit entrer en ligne de compte lors de la conception de l'enveloppe du bâtiment. Puisque le bâtiment requiert un système d'étanchéité à l'air, le concepteur de l'installation de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air doit être informé que l'équilibre de la ventilation ne doit pas uniquement prendre en considération l'équilibre du débit massique de l'air à l'intérieur du bâtiment, mais également l'équilibre de la pression du bâtiment si le débit d'alimentation en air de compensation diffère du débit d'extraction d'air. La pression du bâtiment exceptionnellement élevée attribuable à la conception et au fonctionnement de l'installation de ventilation occasionne de plus en plus de problèmes de condensation dans le toit et les murs extérieurs. La condensation découle de l'exfiltration d'air intérieur à travers les petits défauts du système d'étanchéité à l'air en raison de la pressurisation élevée du bâtiment en résultant.

Exigences en matière de conception

Le système d'étanchéité à l'air doit répondre à quatre (4) exigences : la continuité, l'imperméabilité à l'air, la résistance et la durabilité.

La continuité suppose que l'étanchéité à l'air du mur soit ininterrompue et raccordée à celle du toit, des fenêtres et des éléments sous le niveau du sol. La continuité ne doit pas nécessairement être assurée partout par les mêmes matériaux, sauf que chaque matériau constitutif doit être raccordé aux autres dans un plan continu d'étanchéité à l'air. Par exemple, l'étanchéité à l'air au pourtour du toit doit être raccordée à celle du mur extérieur.

L'imperméabilité à l'air signifie que les matériaux et le système d'étanchéité à l'air ne doivent pour ainsi dire pas laisser échapper d'air. En règle générale, le système d'étanchéité à l'air ne doit pas présenter une perméabilité à l'air supérieure à $0,1 \text{ L/s.m}^2$ à une différence de pression d'air de 75 Pa dans le cas des bâtiments enregistrant un degré d'humidité modéré. Pour parvenir à ce niveau de performance, le concepteur doit arrêter son choix sur des matériaux dont la perméabilité à l'air est inférieure à $0,1 \text{ L/s.m}^2$ à 75 Pa. On peut maintenant obtenir ce genre de renseignement pour bon nombre de matériaux de construction types.

La Société canadienne d'hypothèques et de logement a mené plusieurs études visant à mettre au point une méthode d'essai et à obtenir la perméabilité à l'air de différents matériaux de construction. De quarante à cinquante matériaux de construction types ont été conditionnés à une température et degré d'humidité normalisés. Ils ont ensuite été fixés à l'appareillage d'essai, essentiellement un boîtier métallique pouvant être pressurisé ou dépressurisé pour forcer l'air à traverser le matériau à l'essai dans l'une ou l'autre direction. La quantité de fuites d'air en décollant a été convertie en cote de perméabilité à l'air (tableau 2).

Tableau 2 Perméabilité à l'air de certains matériaux de construction
(où le taux est exprimé en L/s.m² à 75 Pa et AFM signifie aucune fuite mesurable)

N°	Matériau	Taux
1	membrane de couverture lisse de 2 mm	AFM
2	membrane modifiée appliquée au chalumeau (matelas en fibre de verre)	AFM
3	membrane modifiée appliquée au chalumeau (matelas de polyester)	AFM
4	membrane modifiée autocollante de 1,3 mm	AFM
5	pellicule de polyéthylène de 1,5 mm (0.006 po)	AFM
6	feuille d'aluminium	AFM
7	support en contreplaqué de 9,5 mm (3/8 po)	AFM
8	plaque de plâtre revêtue d'aluminium	AFM
9	isolant de polystyrène extrudé de 38 mm	AFM
10	isolant d'uréthane revêtu d'aluminium	AFM
11	panneau de ciment de 12,7 mm	AFM
12	plaque de plâtre revêtue d'aluminium de 12,7 mm	AFM
13	isolant THERMOLITE	0,0036
14	membrane TYVEK	0,0039
15	support en contreplaqué de 8,0 mm	0,0067
16	panneau de copeaux de 16 mm	0,0069
17	plaque de plâtre hydrofuge de 12,7 mm	0,0091
18	panneau de copeaux de 11 mm	0,0108
19	isolant ISOCLAD	0,0114
20	membrane d'oléfine filée-liée	0,0130
21	panneau de particules de 12,7 mm	0,0155
22	plaque de plâtre de 12,7 mm	0,0196
23	panneau de particules de 15,9 mm	0,0260
24	panneau dur trempé de 3,2 mm	0,0274
25	membrane TYVEK pour usage commercial	0,005
26	isolant de polystyrène expansé de type II	0,1187
27	feutre de couverture de 30 lb	0,1873
28	feutre bitumé non perforé de 15 lb	0,2706
29	feutre bitumé perforé de 15 lb	0,3962
30	isolant GLASCLAD	0,4480
31	panneau de fibres de 11 mm	0,8223
32	panneau de fibres bitumé de 11 mm	0,8285
33	polyéthylène perforé n° 1	3,2307
34	polyéthylène perforé n° 2.	4,0320
35	isolant de polystyrène expansé de type I.	12,2372
36	planches bouvetées	19,1165
37	isolant de fibre de verre	36,7327
38	isolant de vermiculite	70,4926
39	isolant cellulosique	86,9457

La résistance signifie que le système d'étanchéité à l'air doit être fixé à un appui structural et doit pouvoir résister au fléchissement, à la fissuration, à la rupture ou à l'arrachement excessifs aux points d'attache. Le système d'étanchéité à l'air doit pouvoir tolérer la plus importante charge de pression d'air escomptée, provenant généralement du vent, tant vers l'intérieur que vers l'extérieur, sans se détacher de son appui. Il doit également être en mesure de résister aux charges de pointe dues au vent, à un effet de tirage soutenu ou à une charge de pressurisation soutenue sans afficher de défaillance par fluage (décollement graduel de la membrane de son appui).

La durabilité requiert que le système d'étanchéité à l'air et ses composants soient conçus et réalisés de manière à remplir leur fonction prévue pour la durée du bâtiment, mais plus particulièrement pour la durée de l'enveloppe du bâtiment. Il doit donc être constitué de matériaux solides et robustes, offrant une résistance suffisante à différentes charges climatiques. En revanche, son emplacement au sein de l'enveloppe du bâtiment doit lui permettre de pouvoir être réparé selon les besoins ou entretenu à un coût raisonnable.

Système d'étanchéité à l'air

Figure 10 - Exigences complexes pour assurer la continuité du système d'étanchéité à l'air



Le système d'étanchéité à l'air doit faire partie intégrante du toit, des murs extérieurs ou des fenêtres de l'enveloppe du bâtiment (Figure 10). Le système d'étanchéité à l'air ne représente pas la combinaison des matériaux composant ces ensembles de construction, mais plutôt un plan spécifique de matériaux composant le toit, les murs extérieurs ou les fenêtres retenus pour remplir les fonctions d'étanchéité à l'air dans chacun des

ensembles de construction. Par exemple, le béton d'un mur extérieur en béton coulé sur place isolé et pourvu d'un parement, peut être désigné comme l'élément d'étanchéité à l'air du mur extérieur. C'est parce que le béton est continu et imperméable à l'air, en plus d'offrir un appui structural convenable et d'être durable. De même, une tôle disposée du côté extérieur avec membrane autocollante sur les joints, le tout fixé à une ossature d'acier, peut être désignée comme le système d'étanchéité à l'air pour les mêmes raisons que celles qui ont été invoquées précédemment. (Fig. 11).

Figure 11 - Système d'étanchéité à l'air en tôle



Figure 12



Par contre, une pellicule de polyéthylène ne convient pas comme matériau d'étanchéité à l'air pour les bâtiments commerciaux construits avec des matériaux incombustibles tels le béton, l'acier, le verre et l'aluminium, en raison de sa trop grande fragilité, de la difficulté d'en assurer la continuité aux points de pénétration et aux joints (Figure 12), mais, fait encore plus important, à cause de l'appui structural insuffisant qu'offre la membrane contre les déformations attribuables

aux pressions du vent. Pourtant, elle convient tout à fait comme pare-vapeur.

L'étanchéité à l'air du mur extérieur doit être raccordée à celle du toit. C'est parfois difficile à réaliser parfaitement si l'on confond les fonctions d'étanchéité à l'air et de pare-vapeur. Par exemple, la membrane d'imperméabilisation du toit est fort probablement appelée à remplir la fonction d'étanchéité à l'air puisqu'elle doit être étanche à la pluie ou à la neige fondue. Dans une telle enveloppe de bâtiment, la membrane du toit (étanchéité à l'air) doit être raccordée à l'étanchéité à l'air du mur extérieur (peut-être le béton d'un mur de contreventement). Étant donné cependant que la plupart des murs extérieurs de bâtiments commerciaux se terminent par un mur en surélévation, l'étanchéité à l'air du mur extérieur doit se prolonger jusqu'à la membrane du toit, sinon la membrane du toit doit se prolonger jusqu'à l'étanchéité à l'air du mur extérieur.

Dans certains cas, les deux fonctions et les différents types de matériaux doivent être raccordés par un troisième matériau, en l'occurrence de la tôle, de l'aluminium, une membrane élastomère ou un joint de calfeutrage. En pareil cas, nous considérons le troisième matériau comme un élément de liaison. Veuillez prendre note qu'un élément de liaison est également soumis aux quatre (4) exigences conceptuelles de l'étanchéité à l'air. La liaison est parfois appelée élément structural accessoire devant être mis en oeuvre lors de l'exécution de la structure pour que les matériaux du système d'étanchéité à l'air, la membrane du toit et/ou la membrane

du mur extérieur puissent être rattachés à l'élément de liaison au cours des étapes ultérieures de la construction.

Le système d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment n'est pas une option. Il s'agit plutôt d'une exigence obligatoire de l'enveloppe du bâtiment visant à limiter les fuites d'air. Sa conception doit faire appel à des matériaux robustes, il doit être placé dans une partie protégée du toit ou du mur extérieur et être accessible pour fins d'entretien ou de réparation.

Systeme d'étanchéité à l'air et pare-vapeur

Il arrive parfois de confondre les fonctions d'étanchéité à l'air et de pare-vapeur. Il importe de prendre note qu'il existe une différence appréciable entre les deux fonctions et entre les matériaux et les systèmes assurant ces fonctions. Il est toutefois à noter que ces fonctions peuvent également être assurées par un seul matériau ou système, à condition de bien comprendre les différences fonctionnelles et de choisir les caractéristiques des matériaux selon les besoins. En fait, le matériau ou le système cumulant les fonctions d'étanchéité à l'air et de pare-vapeur doit présenter, d'une part, une faible perméance à l'air pour résister au passage de l'air occasionné par une différence de pression et, d'autre part, une faible perméance à la vapeur d'eau pour résister au passage de la vapeur d'eau par diffusion lorsqu'il est soumis à une différence d'humidité (pression de vapeur d'eau) de part et d'autre.

Dans le cas de l'enveloppe du bâtiment où les deux fonctions doivent être assurées par un seul matériau, le plan des matériaux de l'étanchéité à l'air/du pare-vapeur doit se trouver du côté chaud (ou du côté où la pression de vapeur d'eau est élevée) de l'enveloppe du bâtiment, et ce, pour la majorité des types de bâtiments au Canada. Si les fonctions d'étanchéité à l'air et de pare-vapeur doivent être assurées à des emplacements différents, le pare-vapeur doit être mis en oeuvre du côté du mur ou du toit enregistrant une pression de vapeur d'eau élevée, alors que l'étanchéité à l'air peut être disposée à n'importe quel endroit du mur ou du toit. Par contre, l'étanchéité à l'air qui est placée à l'extérieur du plan d'isolation thermique doit être perméable à la vapeur d'eau, sinon elle doit faire en sorte que la vapeur d'eau se diffuse à l'extérieur, d'après les conditions connues de température, d'humidité et de pressions intérieures du bâtiment avant d'être mise en oeuvre à cet endroit.

La perméance à la vapeur d'eau d'un matériau détermine la quantité de vapeur d'eau qui le traverse par diffusion. Cette propriété se mesure à l'aide de la méthode d'essai ASTM E-96. Dans le cadre de cette méthode, on peut spécifier le procédé de mouillage (A) ou le procédé de dessiccation (B). Les deux méthodes d'essai permettent de mesurer le poids de vapeur d'eau traversant une surface donnée du matériau au cours d'un intervalle précis. Le résultat s'exprime généralement en transmission de vapeur d'eau, soit en g/h.m^2 , (grains/h.pi^2) et en perméance à la vapeur d'eau, soit en g/Pa.s.m^2 , (perms, po.lb). La perméance à l'air d'un matériau désigne le débit d'air qui le traverse lorsqu'il est soumis à une différence de pression d'air prescrite. La cote se mesure à l'aide de la méthode d'essai ASTM E-283 et d'une autoclave capable de recevoir 1 m^2 d'échantillons de matériaux de construction. En soumettant un échantillon à une différence de pression et en répétant l'opération plusieurs fois dans les deux directions tout en faisant varier les différences de pression, on mesure les fuites d'air qui traversent l'échantillon, et le

résultat connu sous l'appellation de perméance à l'air s'exprime généralement en L/s.m² à 75 Pa. Les valeurs de perméance à l'air du tableau 2 ci-dessus ont été obtenues de cette façon.

Le Code du bâtiment

Les parties 5 et 9 du Code national du bâtiment du Canada (CNBC) énoncent les exigences en matière d'étanchéité à l'air. En effet, les exigences correspondantes sont énoncées dans la sous-section 9.25.3. de la partie 9 (Maisons et petits bâtiments) du CNBC 1995 et dans la section 5.4. de la partie 5 (Séparation des milieux différents) du CNBC 1995. Le CNBC de 1995 a été adopté par la plupart des provinces canadiennes. Les spécialistes doivent vérifier les exigences du code de chaque province ou territoire où ils exercent leur activité. Le code du bâtiment de l'Ontario de 1997 énonce des exigences semblables dans la **section 5.4. traitant de l'étanchéité à l'air.**

Voici ce que précise le CNBC dans la **partie 9**, à l'article 9.25.3.1, paragraphe 1) : « **Les murs, les plafonds et les planchers isolés doivent comporter un système d'étanchéité à l'air offrant une protection ininterrompue contre le passage des fuites d'air.** » De plus, les articles 9.25.3.2. et 9.25.3.3. renseignent sur les caractéristiques nécessaires pour empêcher les infiltrations d'air et les fuites d'air ainsi que pour assurer la continuité du système d'étanchéité à l'air.

Dans la partie 5, section 5.4., sous-section 5.4.1., Systèmes d'étanchéité à l'air, article 5.4.1.1., Résistance exigée, au paragraphe 1), le CNBC précise : « **Sous réserve du paragraphe 2), tout composant ou ensemble de construction séparant un espace intérieur climatisé de l'extérieur ou un espace intérieur du sol ou encore des milieux intérieurs différents, doit comporter un système d'étanchéité à l'air.** »

Il est de plus précisé au paragraphe 2) : « **Un système d'étanchéité à l'air n'est pas exigé s'il peut être démontré que les fuites d'air n'auront pas d'effets indésirables sur l'un ou l'autre des éléments suivants :**

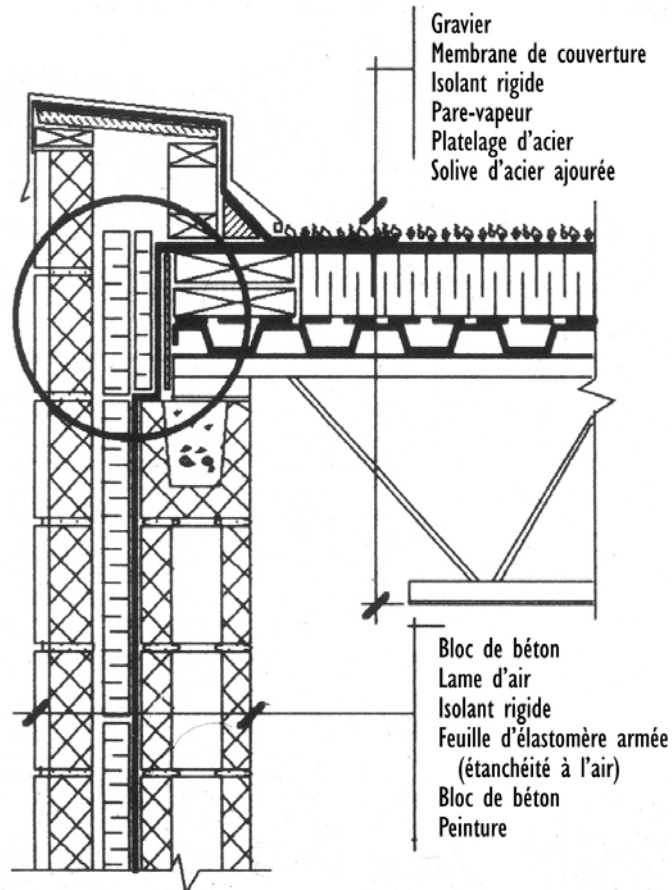
- a) **la santé ou la sécurité des occupants;**
- b) **l'utilisation prévue du bâtiment; ou**
- c) **le fonctionnement des installations techniques. »**

En outre, l'article 5.4.1.2., paragraphes 1 à 11, du CNBC 1995, décrit plus en détail les propriétés des systèmes d'étanchéité à l'air.

Le code du bâtiment requiert de pourvoir d'un système d'étanchéité à l'air l'enveloppe de la plupart des types de bâtiments au Canada. Les documents de conception font généralement état de la façon de réaliser le système d'étanchéité à l'air et de ses exigences normatives ou de performance particulières. Il incombe à l'architecte de produire les documents architecturaux, d'interpréter les exigences d'étanchéité à l'air du code du bâtiment en vigueur et de les appliquer au projet à l'étude. Il est très important d'élaborer à fond les dessins architecturaux, les coupes murales et détails d'exécution de même que les devis.

Plans et devis

Figure 13 - Détail d'exécution précisant la fonction d'étanchéité à l'air



les deux fonctions dans les plans et en particulier si les fonctions doivent être assurées par deux matériaux différents.

Les exigences de performance de l'enveloppe du bâtiment quel qu'il soit et du système d'étanchéité à l'air en particulier doivent être décrites. Les renseignements portant sur le système d'étanchéité à l'air doivent comporter une description générale, les travaux connexes, les matériaux, les ensembles de construction et les normes, s'il y a lieu, et les exigences de mise en oeuvre. Des devis généraux se trouvent dans les sections suivantes du Devis directeur national : section 07271, Étanchéité à l'air, normative ou exclusive, ou section 07272, Étanchéité à l'air selon la performance.

Vérifications, maquettes et mise en service

La mise en place d'un système d'étanchéité à l'air fait partie intégrante de l'enveloppe du bâtiment, mais il ne s'agit pas nécessairement d'un produit ou d'un ensemble de construction spécifique, ni ne relève de la responsabilité d'un sous-traitant particulier engagé dans la réalisation du projet. L'architecte ou le concepteur doit déterminer en compagnie du constructeur la séquence des travaux de construction convenant le mieux

Les épures ou dessins d'exécution illustrent généralement les plans, les élévations, les coupes et détails d'exécution d'un bâtiment proposé. Les plans et les élévations représentent habituellement l'agencement de l'espace et l'aspect général du parement extérieur. Les coupes et les détails d'exécution renseignent sur les ensembles de construction assortis ou non de cotes. De même, les coupes et détails d'exécution décrivent par écrit les matériaux constituant les différents ensembles de construction et détails d'assemblage.

Il vaut mieux indiquer la fonction d'étanchéité à l'air, entre crochets, sous la description des matériaux (Figure 13 – Détail d'exécution précisant la fonction d'étanchéité à l'air). De cette façon, le constructeur est averti de la fonction particulière et de son emplacement dans l'enveloppe du bâtiment. Comme le pare-vapeur risque d'être confondu avec l'étanchéité à l'air, il est préférable d'indiquer

pour mettre en place et à l'essai les matériaux et composants du système d'étanchéité à l'air. Les vérifications d'ordre conceptuel effectuées avec les corps de métier responsables lui indiquera l'importance de la qualité de la mise en oeuvre du système d'étanchéité à l'air et la possibilité d'interruptions de sa continuité. Elles révéleront aussi l'absence de détails d'exécution précis, l'impossibilité de réaliser certains détails d'exécution, en plus de fournir l'occasion de revoir les protocoles pour déterminer la conformité avec les codes du bâtiment en vigueur.

Lorsqu'on doit utiliser un nouvel ensemble de construction ou suivre une nouvelle technique de construction, il est recommandé de prévoir dans les devis une maquette destinée à vérifier la qualité de la construction et les valeurs de performance. Si l'on constate des problèmes au début des travaux de construction, peut-être que des changements conceptuels mineurs pourront être effectués à un coût minime et permettront de mieux comprendre la performance et la durabilité du produit final. La maquette et les essais font appel au traçage à l'aide de fumée pour déceler les principales fuites et les essais de pression visant à déterminer le taux de fuites d'air.

La mise en service du système d'étanchéité à l'air se complique du fait qu'il existe peu d'ensembles d'étanchéité à l'air cotés pour les bâtiments. S'il faut procéder à la mise en service, il vaut mieux commencer par vérifier la conception de l'étanchéité à l'air, puis se livrer sur les lieux à la mise à l'essai des ensembles de construction de la maquette, puis à la mise à l'essai de tout le bâtiment par traçage à l'aide de fumée. On peut obtenir des mesures quantitatives en suivant les deux méthodes ASTM E 283 et ASTM E 330. Elles supposent la mesure des taux de fuites d'air à travers l'enveloppe du bâtiment soumise à une différence de pression d'air spécifiée et la mesure de déformations structurales sous des charges de calcul de pressions d'air de pointe. La méthode ASTM E 330 peut s'appliquer à des sections échantillons du système d'étanchéité à l'air mais NON à l'ensemble du bâtiment.

CCMC

Le Centre canadien de matériaux de construction (CCMC), qui fait partie de l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches du Canada, offre un service d'évaluation, le Recueil d'évaluations de produits concernant les nouveautés et les innovations en matière de matériaux de construction, de produits, systèmes et services, à tous les membres de l'industrie canadienne de la construction. Le Centre s'acquitte de ces tâches en faisant de la recherche, des investigations et des essais sur les caractéristiques des matériaux ou systèmes. Il met l'accent sur la performance et la durabilité des produits, systèmes et services et publie ses fiches d'évaluation tous les trimestres. Ces fiches comprennent les matériaux et systèmes d'étanchéité à l'air de différents fabricants. Pour obtenir une liste complète des produits, vous n'avez qu'à consulter le site Web à l'adresse suivante : <http://www.nrc.ca/ccmc..>

Pour en savoir davantage sur son processus d'évaluation des systèmes d'étanchéité à l'air, vous devez vous procurer un exemplaire de la publication de l'IRC, *Systèmes d'étanchéité à l'air pour murs de bâtiment de faible hauteur : Performance et évaluation*, NRCC 40635F.

Questions

Question 1 – Comment l'infiltration d'air entraîne-t-elle la formation de glaçons sur le parement ?

Question 2 – Quel était le taux de fuites d'air maximal recommandé pour les enveloppes de bâtiments lors du séminaire de l'IRC tenu en 1986 pour les bâtiments enregistrant un degré d'humidité moyen ?

Question 3 – Le CCMC a proposé quatre taux de fuites d'air permmissibles pour les bâtiments. Le plus important correspondait à $0,2 \text{ L/s.m}^2$. Quel est le taux d'assèchement minimal (cote en perm) des matériaux situés à l'extérieur du plan d'isolation associé à ce débit d'air?

Question 4 – Si l'air fuit à un débit de $2,4 \text{ L/s}$ pendant une journée, quel est le taux de renouvellement d'air d'une maison de 100 m^2 présentant des plafonds d'une hauteur de $2,4 \text{ m}$, une aire de plancher de 100 m^2 et un sous-sol chauffé présentant un plafond d'une hauteur de $2,1 \text{ m}$?

Question 5 – Si l'exfiltration d'air correspond à un débit de $2,4 \text{ L/s}$ pendant une journée, quelle est la quantité de vapeur d'eau rejetée à l'extérieur si l'intérieur enregistre une température de $21 \text{ }^\circ\text{C}$ et un degré d'humidité relative de 30% ?

Question 6 – Si l'exfiltration d'air correspond à un débit de 250 L/s pendant une journée et que l'air doit être chauffé de $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, 80% HR à $21 \text{ }^\circ\text{C}$, 30% HR, quelle quantité d'énergie calorifique faut-il fournir pour chauffer et humidifier l'air de la maison pendant un mois ?

Question 7 – Quel est le type le plus commun de trou, d'ouverture ou de parcours de fuites d'air d'une enveloppe de bâtiment ?

Question 8 – Dans quelle direction l'air s'échappe-t-il en partie supérieure du mur extérieur d'un bâtiment en raison de l'effet de tirage par une journée d'été sans vent ?

Question 9 – Pourquoi faut-il fixer ou appuyer le système d'étanchéité à l'air du mur ou du toit?

Question 10 – Il peut arriver que l'installation de ventilation pressurise trop le bâtiment (pression intérieure supérieure à la pression extérieure). Quel effet peut-elle exercer sur l'enveloppe du bâtiment ?

Question 11 – Quelle est la perméabilité à l'air d'un panneau de copeaux de 16 mm ?

Question 12 – Dans quelles partie et section du CNBC 1995 trouverez-vous les exigences d'étanchéité à l'air des bâtiments commerciaux ?

Question 13 – Quelle section du répertoire normatif traite de l'étanchéité à l'air ?

Question 14 – Quelles sont les unités de perméance à la vapeur d'eau et les unités de perméance à l'air ?

Pour connaître les réponses aux questions, veuillez consulter le site Web de votre association professionnelle.

Bibliographie

1. Fuites d'air dans les bâtiments, Digeste de la construction au Canada n° 23F du Conseil national de recherches du Canada, par A.G. Wilson, 1961.
2. Importance de la prévention des fuites d'air, Digeste de la construction au Canada n° 72F du Conseil national de recherches du Canada, par G. K. Garden, 1961.
3. Effet de cheminée dans les bâtiments, Digeste de la construction au Canada n° 104F du Conseil national de recherches du Canada, par A. G. Wilson et G. T. Tamura, 1968.
4. Un pare-air pour l'enveloppe du bâtiment : Compte rendu du Regard 86 sur la science du bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, NRCC 22943F, ISSN 0835-653X, compte rendu n° 13, Ottawa, janvier 1989.
5. La différence entre un pare-vapeur et un pare-air, par R. L. Quirouette, Notes sur la construction n° 54, (BPN 54F) du Conseil national de recherches du Canada, juillet 1985, ISSN 0701-5216.
6. Perméance à l'air des matériaux de construction : Rapport sommaire, rapport de recherche de la SCHL rédigé par Air Ins Inc., le 17 juin 1988.
7. Airtightness Tests on Components Used to Join Different or Similar Materials of the Building Envelope, rapport de recherche de la SCHL, rédigé par Air Ins Inc., le 27 septembre 1991.
8. Projet de recherche pour la SCHL : Essais sur les éléments d'étanchéité II, rapport de recherche de la SCHL rédigé par Morrison Hershfield Ltd., le 31 mars 1993.
9. Mise en service et vérification des fuites d'air de l'enveloppe du bâtiment, rapport de recherche de la SCHL rédigé par Morrison Hershfield Ltd., le 29 novembre 1993.
10. Field Investigation Survey of Air Tightness, Air Movement and Indoor Air Quality in High-Rise Apartment Buildings: Summary Report, rapport de recherche de la SCHL, rédigé par Wardrop Engineering Inc., juillet 1993.
11. Air Leakage Control: Guidelines for Installation of Air Leakage Control Measures in Commercial Buildings, rapport de recherche de Travaux publics et Services gouvernementaux, rédigé par Canam Building Envelope Specialists Inc., et autres.
12. Mise au point de procédés et de méthodes d'essai visant l'évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie, rapport de recherche de la SCHL rédigé par ORTECH International, le 2 novembre 1990.
13. Exigences structurales des pare-vent, rapport de recherche de la SCHL rédigé par Morrison Hershfield Ltd., le 13 août 1991.
14. Air Leakage and Ventilation, Chapter 11 of a Building Science for a Cold Climate by N. B. Hutcheon and G. O. Handegord, 1983.
15. Ventilation and Infiltration, Chapter 25 of the ASHRAE Fundamentals Volume, 1997.
16. Systèmes d'étanchéité à l'air pour murs de bâtiment de faible hauteur : Performance et évaluation, publié par l'Institut de recherche en construction du CNRC, NRCC 40635F, mars 1997.