



CONCEPTION, SÉLECTION ET MISE EN SERVICE DES FENÊTRES

Par Alex McGowan

Objectifs d'apprentissage

Après avoir parcouru l'article, le lecteur comprendra mieux :

1. la différence entre la performance « selon la cote » et la performance réelle de la fenêtre en service;
2. les divers systèmes d'évaluation (cote) utilisés pour définir la performance des fenêtres;
3. les paramètres de conception liés à la performance des fenêtres;
4. comment spécifier le niveau de performance des fenêtres dans le devis;
5. les méthodes permettant de vérifier les fenêtres à pied d'œuvre et de les mettre en service.



Figure 1 — Ensemble Koo's Corner à Vancouver

Résumé

Bien que les concepteurs puissent avoir recours à des directives de conception appropriées, comme le *Handbook of Fundamentals* publié par l'ASHRAE, pour choisir le verre, l'assemblage et les intercalaires qui conviennent, comment peuvent-ils avoir la certitude que les fenêtres, une fois posées, afficheront la performance attendue?

Les processus d'attribution de cote au Canada et aux États-Unis ne constituent que des lignes directrices et des « indices de performance, pas nécessairement des indicateurs de la performance des fenêtres une fois en service. Les cotes s'adressent davantage aux consommateurs qu'aux concepteurs. C'est pourquoi les concepteurs et les rédacteurs de devis doivent les utiliser avec prudence, en sachant bien ce qu'elles indiquent – et ce qu'elles n'indiquent pas.

Le présent article formule certains conseils pour éviter les surprises lorsque les fenêtres arrivent sur le chantier. Il est possible d'en prévenir un bon nombre et le rédacteur, en rédigeant adéquatement le devis, diminuera la frustration et réduira le coût inhérent à la pose d'une fenêtre qui n'atteint pas la performance souhaitée. Lorsque le concepteur des fenêtres n'est pas celui qui rédige le devis, il importe que le premier comprenne bien les exigences du rédacteur de devis. Le présent article porte sur cette question.

Introduction

Bon nombre de concepteurs de bâtiments sont sensibilisés à l'importance des fenêtres par rapport à la performance de l'environnement bâti. Les déperditions et les gains de chaleur par les fenêtres sont de 20 à 30 fois ceux des murs. Lorsque la performance des fenêtres est adéquate, les appareils de chauffage et de climatisation sont en mesure d'assurer un niveau de confort raisonnable, sans que les coûts d'exploitation ne soient excessifs.

Bien que les hausses récentes des frais énergétiques, de même que les systèmes d'évaluation des bâtiments, comme LEED Canada, aient sensibilisé davantage les intervenants sur l'importance de la performance énergétique de l'enveloppe du bâtiment, comment un concepteur peut-il s'assurer de l'atteinte et du maintien de ces niveaux de performance?

Le concept le mieux intentionné n'est valable que sur papier si le concepteur ne met pas en œuvre les mesures qui s'imposent pour veiller à ce que la performance des fenêtres, une fois posées, soit celle qui était souhaitée à l'étape de la conception, et que ce niveau de performance se maintienne tout au long de la durée utile du bâtiment.

Le présent article examine les paramètres de performance à considérer à l'étape de la conception d'un bâtiment pour définir les niveaux de performance souhaités. Il traite également de la spécification de ces paramètres dans les documents d'exécution et de la façon de préciser le niveau de performance souhaité à l'entrepreneur ou au constructeur.

Finalement, il se penche sur les façons tout indiquées d'assurer la qualité au moyen d'essais sur le terrain pour déterminer si le produit fini présente la performance souhaitée.

I. Paramètres de performance — étape de la conception

Pour déterminer la performance souhaitée d'une fenêtre, le concepteur doit pouvoir préciser les indices de performance appropriés. Non seulement le concepteur doit-il comprendre ce que les divers indices de performance servent à mesurer, mais encore doit-il comprendre *comment* quantifier et mesurer ces indices, et comment spécifier les paramètres d'intérêt.

Les paramètres indiqués ci-après sont d'intérêt pour déterminer la performance d'une fenêtre. Ils sont quantifiables et il est possible de les spécifier conformément à des processus

existants normalisés. Les paramètres précédés d'une flèche sont ceux qui peuvent être vérifiés sur place une fois la fenêtre en service.

Les différents paramètres dont il faut tenir compte sont regroupés en catégories. La figure 2 illustre les paramètres de conception regroupés selon les exigences du code du bâtiment (Réglementation), les facteurs liés à l'énergie (Conditions climatiques) et les questions qui relèvent du confort des occupants (Utilisateurs). Remarquez que ce dernier groupe englobe tous les paramètres illustrés, car toutes ces questions sont d'intérêt pour les utilisateurs – même s'ils n'en sont pas toujours conscients. Le concepteur doit parfois sensibiliser les occupants à l'importance de tous ces éléments.

Paramètres climatiques

Tous ces paramètres de conception sont tributaires des conditions climatiques locales. Ils représentent l'interaction de la fenêtre avec les conditions locales et c'est pourquoi il est important que le concepteur se familiarise avec les données climatiques – fourchette de températures, heures d'ensoleillement, vitesse des vents et direction des vents dominants, intensité des précipitations de pluie, simultanéité vent-pluie, surcharges de neige et durée de la période de chauffage.

Tableau I — Paramètres de performance d'une fenêtre

<ul style="list-style-type: none"> ■ facteur U ■ coefficient d'apport par rayonnement solaire ¹ ↷ fuites d'air ↷ étanchéité à l'eau ■ surcharges dues du vent ■ condensation 	<ul style="list-style-type: none"> ↷ facilité de manœuvre ■ couleur/esthétique ■ transmission de la lumière visible ↷ transmission du son ■ résistance aux chocs ↷ sécurité/entrée par effraction ■ résistance au feu
---	--

¹ Le coefficient d'apport par rayonnement solaire est la quantité de gain solaire d'une fenêtre divisée par la quantité totale d'énergie solaire disponible à sa surface extérieure.

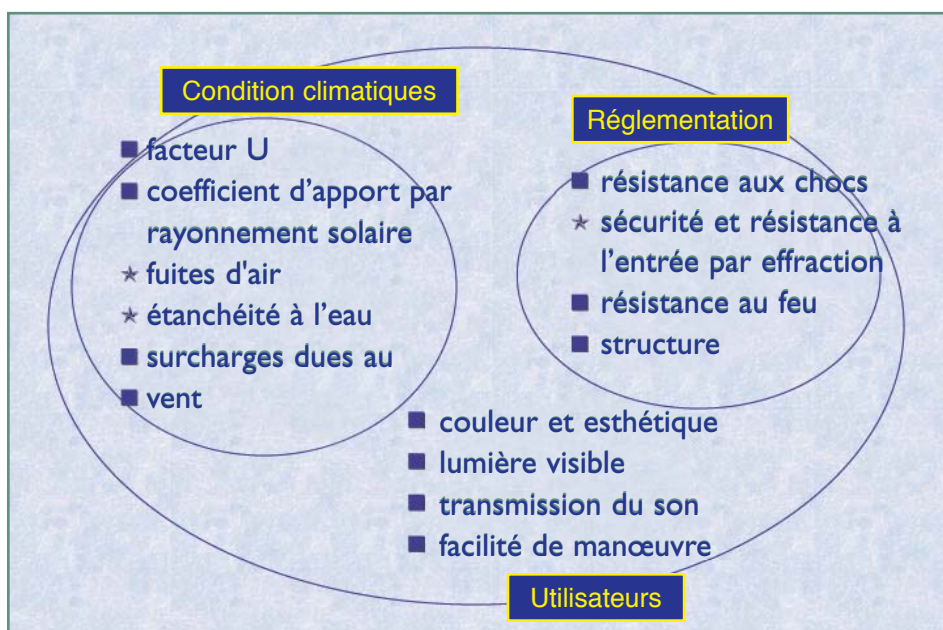


Figure 2 — Paramètres de performance d'une fenêtre

Facteur U

Le facteur U est une mesure de la quantité des déperditions de chaleur résultant de la conduction et de la convection. C'est la valeur inverse de la valeur R, qui mesure la résistance thermique (c.-à-d. $U=1/0R$), de sorte qu'une fenêtre ayant un facteur U élevé aura une faible valeur R. On préfère parler de facteur U lorsqu'on fait référence aux fenêtres. Si un facteur U est exprimé en unités impériales de $BTU/(h \cdot pi^2 \cdot ^\circ F)$, il faut le multiplier par 5,678 pour le convertir en unités métriques de $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Un bref examen des unités révèle l'utilité du facteur U. Qu'il soit exprimé en unités métriques ou anglaises, le facteur U mesure un taux de transfert de chaleur par unité de surface, et par différence de degré de température. Ainsi, en multipliant le facteur U par la surface de la fenêtre et la différence de température appropriée (soit la valeur moyenne, pour obtenir des résultats « types », ou le plus grand écart de température pour l'emplacement en question, pour obtenir la pire situation) on obtient un taux de

déperdition de chaleur exprimé en watts ou en BTU/h. Ce taux de déperdition de chaleur (en hiver) doit être contrebalancé par un apport de chaleur équivalent provenant d'une source auxiliaire quelconque, comme une chaudière ou un aérotherme, pour maintenir la température à la température de la pièce.

Attention

Il est possible que certains fabricants de fenêtres ayant toujours indiqué des valeurs R qui se rapportaient au centre du vitrage fassent maintenant référence au facteur U du centre du vitrage lorsqu'ils décrivent leur produit. Ce facteur ne tient pas compte de la déperdition de chaleur par le dormant et le châssis, qui peut être importante. Il est plus approprié d'utiliser le facteur U global du produit.

Les facteurs U et les valeurs R sont déterminés par des essais physiques (essais de l'ASTM ou de l'AAMA) ou par simulation informatique, à l'aide des programmes *FRAME* et *VISION*, tels que définis dans la norme CSA A440.2.

Le programme *VISION* évalue le centre du vitrage de la fenêtre et le programme *FRAME* analyse l'assemblage du dormant et du châssis, et la rive du vitrage (la partie vitrée à moins de 63,5 mm [2,5 po] de la ligne de vision de la fenêtre). Aux États-Unis, on utilise des programmes appelés *THERM* et *WINDOW* pour générer les valeurs qui servent à la simulation informatique. Ces valeurs des composants sont pondérées selon la superficie pour définir un facteur U qui s'applique à l'ensemble de la fenêtre, de la porte ou de tout autre élément de l'enveloppe du bâtiment qui fait l'objet de la simulation.

Il existe trois sources de référence pour les valeurs U globales des fenêtres :

1. la *Certified Products List* (première édition, janvier 1995) de l'Association canadienne des manufacturiers de portes et de fenêtres (ACMPF);
2. le *Handbook of Fundamentals* de l'ASHRAE;
3. le *Certified Products Directory* du National Fenestration Rating Council des États-Unis.

Les données qui figurent dans ces trois sources de référence ont été générées par simulation informatique (à l'aide des programmes *FRAME* et *VISION* au Canada et des programmes *THERM* et *WINDOW* aux États-Unis). La liste de produits certifiés par l'ACMPF fournit également des données sur le coefficient d'apport par rayonnement solaire, les cotes A, B et C (l'étanchéité à l'air, la résistance à la pluie poussée par le vent et à la flèche attribuable au vent), les cotes énergétiques et, dans certains cas, la résistance à la condensation (voir les sections suivantes).

Coefficient d'apport par rayonnement solaire

Le coefficient d'apport par rayonnement solaire est la quantité de rayonnement solaire incident à la surface extérieure d'une fenêtre qui est transmise par la fenêtre et qui se présente sous forme de gains solaires dans le bâtiment. Il s'exprime en fraction décimale et sa valeur varie entre 0,0 et 1,0 (du complètement opaque au complètement transparent). D'un point de vue pratique, le coefficient d'apport par rayonnement solaire variera entre 0,20 pour un système de verre réfléchissant et teinté, et 0,87 pour un vitrage simple.

Les textes plus anciens traitent du coefficient d'ombrage, qui est le coefficient d'apport par rayonnement solaire d'une fenêtre donnée par rapport à celui d'une fenêtre à vitrage simple dans les mêmes conditions. En multipliant le coefficient d'ombrage par 0,87, on obtient une valeur relativement proche du coefficient d'apport par rayonnement solaire pour la plupart des systèmes de vitrage.

Il faut utiliser le coefficient d'apport par rayonnement solaire du produit global lorsque l'on fait référence aux fenêtres. Le coefficient d'apport par rayonnement solaire global comprend les gains solaires provenant du dormant et du châssis (peu important, il va sans dire) et les gains provenant du vitrage, et il est moins élevé que le coefficient d'apport par rayonnement solaire du centre du vitrage. Le chapitre sur la « fenestration » du *Handbook of Fundamentals* de l'ASHRAE (chapitre 31 dans l'édition de 2005) est une bonne source de renseignements sur les valeurs du coefficient d'apport par rayonnement solaire. Il importe de ne pas confondre le coefficient d'apport par rayonnement solaire avec la transmission de la lumière visible, abordée plus loin dans le présent article.

Étanchéité à l'air

Une fuite d'air s'entend d'un mouvement incontrôlé de l'air, y compris sa chaleur et son humidité, depuis l'intérieur à l'extérieur du bâtiment, ou l'inverse.

L'air conditionné d'un espace occupé peut migrer dans l'enveloppe ou à l'extérieur du bâtiment : c'est ce que l'on appelle l'exfiltration. L'air extérieur non conditionné peut quant à lui s'infiltrer dans le bâtiment.

L'infiltration et l'exfiltration sont toutes deux sources de dommages à l'enveloppe du bâtiment, parce qu'elles rompent l'équilibre entre la température et la pression de vapeur d'eau, qui caractérise un mur bien conçu.

En hiver, l'exfiltration transporte de l'air intérieur humide vers l'extérieur, où il risque de condenser dans le mur extérieur. Le cas échéant, l'humidité cause des dommages, favorise l'apparition de moisissures et entraîne d'autres conséquences indésirables.

Les infiltrations d'air en été ont le même effet dans les bâtiments climatisés. Les infiltrations d'air en hiver refroidissent certaines surfaces à l'intérieur du bâtiment, ce qui peut produire de la condensation. Cette condensation endommage les revêtements intérieurs et favorise l'apparition de moisissures qui appauvrissent la qualité de l'air intérieur. Pour de plus amples renseignements sur les effets des fuites d'air sur la performance des murs, voir l'article intitulé *Comment conserver les murs secs* affiché sur le site Web de la SCHL sous la rubrique Perfectionnement à l'intention des architectes, à l'adresse : <http://www.cmhc.ca/ft/prin/coco/toenha/peinar/index.cfm>

Par ailleurs, le chauffage ou la climatisation de l'air extérieur incontrôlé pour maintenir les conditions voulues à l'intérieur du bâtiment entraînent également des coûts

supplémentaires. En fait, les fuites d'air représentent jusqu'à un tiers de la facture de chauffage d'une résidence, et les fenêtres et leur raccordement au mur sont les principales sources des fuites d'air (les fenêtres ouvrantes sont les plus sujettes aux fuites). C'est pourquoi la plupart des fenêtres sont munies de joints d'étanchéité et de coupe-froid pour empêcher les fuites d'air là où le verre est installé dans le châssis (ou le dormant, dans une fenêtre panoramique) et à la rencontre du châssis et du dormant dans une fenêtre ouvrante.

Le joint d'étanchéité du vitrage (entre le verre et le dormant ou le châssis) est souvent constitué d'un ruban adhésif sur les deux côtés fait d'un composé de butyle, bien que certains soient composés de vinyle souple. Le joint de vinyle est de type en U, qui glisse dans le châssis (ou directement dans le dormant s'il s'agit d'une fenêtre panoramique) et accepte le vitrage pour former un ensemble étanche à l'eau et à l'air, ou un assemblage de type compressible à ailettes coextrudé sur une parclose en PVC (voir figure 3a et b).

Il y a une plus grande variété de joints d'étanchéité pour les châssis des fenêtres ouvrantes. La plupart des fenêtres ont deux joints : un qui empêche les infiltrations d'air (le coupe-froid principal) et un qui empêche la pénétration de l'humidité. Ce dernier devrait être situé du côté extérieur du coupe-froid dans une fenêtre correctement conçue. Le coupe-froid principal est souvent composé de vinyle compressible ou d'une garniture de mousse (souvent revêtue de vinyle pour empêcher les dommages causés par l'humidité), mais c'est parfois aussi un joint d'étanchéité en vinyle à doubles ailettes. La photo de la figure 3b montre un coupe-froid compressible qui agit comme coupe-froid principal entre le dormant et le châssis d'une fenêtre ouvrante.



Figure 3a — Détails de vitrage de fenêtre. Joint d'étanchéité en U.

La protection contre l'humidité devrait être conçue pour empêcher l'humidité (par exemple, la pluie poussée par le vent) de pénétrer à l'intérieur du bâtiment par la fenêtre, mais elle doit aussi permettre d'évacuer l'eau de la fenêtre vers l'extérieur. L'humidité emprisonnée risque d'endommager les fenêtres en bois, ce qui peut engendrer des problèmes de qualité de l'air intérieur.

La protection contre l'humidité ne doit pas être étanche à l'air, car la manœuvre de la fenêtre créerait une pression entre les deux joints d'étanchéité, ce qui pourrait emprisonner l'humidité dans le dormant de la fenêtre. La protection contre l'humidité de la Figure 3b est un double joint : le joint en accordéon empêche l'eau de pénétrer dans le châssis et le coupe-froid à balayage en polyester agit comme pare-pluie (tout en permettant à l'eau qui se serait introduite fortuitement de s'échapper du châssis). Pour de plus amples renseignements, consultez l'étude intitulée *Les fenêtres et leur étanchéité à l'eau : Étude portant sur la fabrication, la construction et la conception de l'interface, ainsi que sur la pose et l'entretien*, que l'on peut se procurer auprès de la SCHL. La conception de la protection contre l'humidité devrait tenir compte du gel (qui peut former



Figure 3b — Joints d'étanchéité compressibles coextrudés.

des barrières de glace), de l'accumulation de saleté et de peinture, et de tous des éléments susceptibles de colmater les orifices d'évacuation et d'empêcher le drainage.

Les coupe-froid à balai sont souvent utilisés comme protection contre l'humidité et en fait, ils sont préférables aux coupe-froid compressibles ou à ailettes à cette fin : par temps froid, l'humidité sur la pièce d'appui gèle les coupe-froid, et ceux qui sont fait de vinyle se brisent plus facilement à la manœuvre de la fenêtre que ceux de type à balai.

Les coupe-froid à balai sont également utilisés dans les fenêtres coulissantes, parce que les coupe-froid compressibles et les coupe-froid à ailettes nuisent au bon fonctionnement de la fenêtre. L'utilisation du coupe-froid à balai comme principal joint d'étanchéité à l'air est la cause majeure des fuites d'air relativement importantes des fenêtres coulissantes.

La norme CSA A440 attribue les cotes A à l'étanchéité à l'air des fenêtres. Cette cote comporte trois niveaux, A1, A2 et A3, et la cote A3 est attribuée à la fenêtre qui offre la plus grande étanchéité à l'air. Cette classification se rapporte à la mesure de la quantité d'air qui s'échappe lorsqu'une fenêtre est soumise à une différence de

pression d'air normalisée (75 Pa, ce qui équivaut à peu près à un vent soufflant directement sur la fenêtre à une vitesse de 40 km/h ou 25 milles/h). Une fenêtre de dimensions normalisées fait l'objet d'essais conformément à une méthode normalisée (ASTM E283) sous des pressions positives et négatives, et la cote A est attribuée selon la moyenne des résultats des essais.

Les valeurs de la cote A sont les suivantes pour les fenêtres ouvrantes seulement :

A1 = 2,79 m³/h par mètre de longueur de fente

A2 = 1,65 m³/h par mètre de longueur de fente

A3 = 0,55 m³/h par mètre de longueur de fente

Par ailleurs, un taux « fixe » de 0,25 m³/h par mètre de longueur de fente s'applique aux fenêtres fixes et un taux « tempête » s'applique aux panneaux résistants aux tempêtes seulement. Dans ce contexte, la « longueur de fente » est la longueur d'une fente par laquelle on s'attend à ce que l'air fuie. Dans une fenêtre ouvrante, cette longueur correspond au périmètre du châssis et dans une fenêtre fixe, elle correspond au périmètre de la ligne de vision du vitrage.

À noter que pour se conformer à tout code de construction fondé sur le Code national du bâtiment du Canada, toutes les fenêtres doivent respecter les exigences minimales de la norme CSA A440. Cela signifie qu'elles doivent à tout le moins obtenir la cote A1, qui est un strict minimum : une fenêtre qui n'obtient que la cote A1 laissera passer suffisamment d'air pour faire bouger les rideaux – même lorsqu'elle est fermée. Le programme « Energy Star » exige un niveau de performance minimal de A2, reconnaissant ainsi l'importance de réduire les fuites d'air pour atteindre de hauts rendements énergétiques.

Tableau 2 — Normes relatives aux cotes B - Résister à de la pluie poussée par le vent

Cote B	Aucune fuite à une pression différentielle de	Vitesse du vent équivalente approximativement (km/h)
B1	150 Pa	57
B2	200	66
B3	300	80
B4	400	93
B5	500	104
B6	600	114
B7	700	123

Même s'il n'est pas nécessaire d'évaluer les fenêtres selon les niveaux A, B et C de la norme CSA A440, les fabricants doivent être en mesure de montrer (si la demande en est faite) que leur fenêtre satisfait aux exigences de la norme. La plupart des fabricants font procéder à des essais sur leurs produits pour s'assurer qu'ils respectent cette exigence. Il est donc possible, généralement, d'obtenir un rapport d'essai et il faudrait en faire la demande. Cette question est examinée plus à fond dans la section « Spécifier les cotes A, B et C ».

Étanchéité à l'eau

La cote B de la norme CSA A440 définit la capacité d'une fenêtre à résister à de la pluie poussée par le vent, mais elle ne mesure pas comment la fenêtre se comportera une fois posée dans l'assemblage mural. Tout comme la cote A qui porte sur les fuites d'air, la cote B est déterminée d'après les résultats d'essais en laboratoire. Les normes relatives aux cotes B figurent au tableau 2.

L'essai consiste à lancer un jet d'eau sur la face extérieure d'une fenêtre à une pression déterminée pendant au moins 15 minutes et à exercer une pression d'air différentielle, dans l'objectif de simuler des conditions de vent et de pluie. La méthode d'essai est décrite dans la norme ASTM E547. La fenêtre est cotée selon la pression différentielle la plus

élevée qu'elle peut atteindre sans AUCUNE infiltration d'eau.

À noter que l'expression « infiltration d'eau » peut avoir plusieurs significations. Selon les critères de réussite-échec de la norme ASTM E1105, l'infiltration d'eau est définie comme étant l'infiltration de l'eau au-delà de la saillie le plus à l'intérieur du produit faisant l'objet de l'essai, à l'exclusion de la garniture intérieure et de la quincaillerie. La norme CSA A440 définit l'infiltration d'eau comme suit :

- l'eau s'est infiltrée par la fenêtre et a mouillé les surfaces intérieures de la pièce
- OU
- l'eau s'est infiltrée par la fenêtre jusque dans le mur sous l'appui de la fenêtre
- OU
- l'eau demeure emprisonnée dans la fenêtre lorsque l'on élimine la pression d'air différentielle à la fin de l'essai.

De toute évidence, les critères de la norme A440 sont plus exigeants que ceux de la norme E1105 et le concepteur doit être en mesure de plus clair sur les critères qui importent le plus relativement à la performance de la fenêtre.

Tout comme pour la cote A, une fenêtre doit obtenir la cote B1 pour satisfaire aux exigences minimales de la norme A440 (et

par conséquent, aux exigences du code du bâtiment). La norme A440 comprend un *Guide de l'utilisateur*, CSA A440.1 – qui offre une certaine assistance à la conception, en proposant une cote B appropriée à l'emplacement et à la hauteur du bâtiment. L'examen de la norme A440.1 permet de mieux atteindre les objectifs spécifiques du processus de conception. Pour des conseils sur l'utilisation de la valeur de conception, une fois obtenue, voir la section intitulée « Spécifier les cotes A, B et C ».

Surcharges dues au vent

La troisième cote, c'est-à-dire la cote C, se rapporte à la résistance de la fenêtre aux surcharges dues au vent. La cote C est déterminée selon l'essai décrit dans la norme ASTM E330. La fenêtre est soumise à des pressions de vent très élevées et l'importance de la flèche (flexion latérale des éléments du châssis ou du dormant) est mesurée. La flèche d'aucun composant du châssis ne doit excéder 1/125^e de la longueur de ce composant, et la flèche d'un meneau ne peut excéder 1/175^e de la longueur de cet élément sous une pression donnée, pour que la fenêtre obtienne la cote C appropriée. La résistance de la fenêtre à « l'éclatement » (lorsque la fenêtre se brise ou que le châssis manœuvrable s'extirpe du dormant) est ensuite évaluée. La cote C est également attribuée pour l'éclatement, selon le tableau suivant

Tableau 3 — normes relatives à la cote C - Résistance de la fenêtre aux surcharges dues au vent

Pour les bâtiments de la « Partie 9 »	Pour les autres bâtiments	Flèche du châssis de L/125 sous une pression de	Flèche du meneau de L/175 sous une pression de	Pression d'éclatement
Tempête				750 Pa
C1	C1	500 Pa	1 000 Pa	1 500
C2	C2	750	1 330	2 000
C3	C3	1 200	2 000	3 000
	C4	1 600	2 660	4 000
	C5	2 000	3 330	5 000

Une fenêtre doit obtenir la cote C1 pour satisfaire aux exigences minimales de la norme A440 (et par conséquent, aux exigences du code du bâtiment). La norme A440 comprend un *Guide de l'utilisateur* (CSA A440.1) qui offre une certaine assistance à la conception, en proposant une cote C appropriée à l'emplacement et à la hauteur du bâtiment. L'examen de la norme A440.1 permet de mieux atteindre les objectifs spécifiques du processus de conception. Pour des conseils sur ce qu'il faut faire avec la valeur de conception, une fois obtenue, voir la section intitulée « Spécifier les cotes A, B et C ».

Risques de condensation

Chaque fois que la température de surface d'une partie quelconque de la fenêtre est suffisamment basse, l'humidité contenue dans l'air de la pièce se condensera sur la surface froide. Si la condensation se produit suffisamment longtemps, elle peut créer une quantité d'eau assez importante qui risque d'endommager les revêtements intérieurs, de favoriser la croissance de moisissure et, si l'eau s'infiltre à l'intérieur du mur sous la fenêtre, cela risque d'endommager le mur. Bien que de nombreux facteurs influent sur la formation de la condensation (p. ex., la présence de rideaux, la circulation de l'air dans la pièce, le niveau d'humidité à l'intérieur), la fenêtre elle-même contribue au problème si

les surfaces sont trop froides. Par conséquent, il peut être utile d'évaluer les risques de condensation d'une fenêtre donnée.

La norme CSA A440 décrit une méthode pour mesurer les risques de condensation d'une fenêtre. Une fenêtre est vérifiée dans une chambre d'essai à boîtier chaud, ses températures de surface sont mesurées à des endroits précis et une moyenne pondérée de la température de la surface intérieure est déterminée. « L'indice de température » est ensuite calculé selon la formule suivante :

$$IT = (T_s - T_e) \div (T_i - T_e) \times 100 \quad <1>$$

dans laquelle T_i et T_e sont respectivement la température de l'air intérieur et de l'air extérieur exprimées en °C, et T_s est la température moyenne de la surface intérieure mesurée dans l'essai.

Pour les conditions normalisées où $T_i = 21$ °C et $T_e = -18$ °C, l'indice de température sera déterminé comme suit :

$$IT = [(T_s + 18) \div 39] \times 100 \quad <2>$$

L'IT n'est pas d'ordre dimensionnel et représente la température de la surface intérieure par rapport aux températures de l'air intérieur et de l'air extérieur. Si l'IT = 0, cela signifie que la $T_s = -18$ °C, ce qui équivaut à l'absence de fenêtre du tout (parce que la température de la surface intérieure est la même que la température extérieure). Si l'IT = 100, cela signifie que $T_s = +21$ °C,

la même température que l'air ambiant dans la pièce. Une telle fenêtre serait théoriquement un isolant parfait et obtiendrait la meilleure cote possible. L'IT varie donc entre 0 et 100, et l'IT d'une fenêtre courante à double vitrage clair dans un dormant métallique est d'environ 40.

On suppose que l'IT est indépendant de la T_i et de la T_e , de sorte que pour des conditions ambiantes données de T_i et T_e , on pourrait utiliser l'équation <1> pour calculer T_s à partir d'un IT connu.

Par exemple, dans des conditions où $T_e = -9$ °C à Vancouver et $T_i = 20$ °C, il faut que $T_s = 2,6$ °C pour que l'IT soit de 40. Cette information n'est pas suffisante pour prédire les risques de condensation. Il faut également connaître l'humidité relative ou la température du point de rosée de l'air ambiant. Un taux d'humidité relative de 30 % (raisonnable pour Vancouver en hiver) donne une température de point de rosée d'environ 11 °C. La température de la surface estimée $T_s = 2,6$ °C est bien en deçà de la valeur du point de rosée et on pourrait donc s'attendre à ce qu'il se forme beaucoup de condensation sur cette fenêtre.

Il n'y a pas d'exigence minimale en matière d'IT et la méthode d'essai de la résistance à la condensation n'est pas obligatoire en vertu de la norme CSA A440, ni aux termes du code du bâtiment. Le guide de

l'utilisateur de la norme A440 donne quelques conseils sur l'utilisation de ce paramètre et il y a peu à ajouter sur ce sujet dans le présent article.

Aspects réglementaires

Certains paramètres de performance sont dictés par les codes de bâtiment locaux. Ils découlent généralement de préoccupations liées à la vie et à la sécurité des occupants, comme les exigences en matière d'incendie ou de résistance à l'entrée par infraction. Pour certaines autorités compétentes, la résistance au choc est un aspect important. Par exemple, dans le comté de Dade, en Floride, les fenêtres doivent faire l'objet d'un essai de résistance aux chocs selon lequel on lance un morceau de bois de dimensions courantes dans la fenêtre à l'aide d'un canon à ressort pour simuler les débris transportés par le vent lors d'un ouragan. Les fenêtres munies de verre trempé ou de verre feuilleté peuvent réussir cet essai, mais il faut généralement qu'elles soient dotées de volets en acier. Cette information n'est peut-être pas d'intérêt direct pour les lecteurs canadiens, mais elle rappelle néanmoins aux concepteurs qu'ils doivent connaître les exigences des codes locaux.

La norme CSA A440 comporte une méthode d'essai permettant d'évaluer la résistance des fenêtres à l'entrée par effraction. L'essai est relativement simple, mais il n'offre pas une garantie de protection contre les entrées par effraction (après tout, la plupart des fenêtres courantes sont dotées de vitrages qui sont relativement faciles à briser). Néanmoins, les concepteurs qui font preuve de diligence raisonnable doivent tenir compte de cet aspect de la performance des fenêtres.

Il est également possible d'évaluer la résistance à l'incendie des fenêtres. La plupart des fenêtres au dormant en vinyle ne

réussiraient pas l'essai, mais elles peuvent tout de même être posées dans des bâtiments protégés par des extincteurs automatiques à eau. Encore une fois, il incombe au concepteur de connaître les exigences de l'autorité compétente locale.

La norme A440 comporte plusieurs essais sur la sécurité, notamment les essais de chute libre, de blocage, de résistance et de rigidité du châssis, de résistance des moustiquaires, de facilité de manœuvre et d'arrachement du châssis. Ces essais visent à assurer qu'une fenêtre une fois posée procurera un degré de satisfaction raisonnable sous des conditions d'utilisation normale, et un degré de satisfaction limité sous des conditions abusives ou de mauvais fonctionnement.

Les fenêtres qui n'utilisent pas les matériaux, les produits de préservation, les revêtements et autres éléments précisés dans la norme A440 ne s'y conforment pas et ne satisfont pas aux exigences du code du bâtiment. En plus de satisfaire à des critères de performance (les cotes minimales A1, B1 et C1 et plusieurs critères liés au blocage, à la facilité de manœuvre et autres), une fenêtre doit aussi être conforme à des critères normatifs (matériaux, épaisseur minimale des composants, dégagement du vitrage, etc.) pour respecter les codes locaux. Les concepteurs de fenêtres et les rédacteurs de devis doivent donc bien connaître tous les aspects des critères énumérés dans la norme A440.

Critères d'intérêt pour les utilisateurs

Tous les paramètres de conception abordés dans le présent article sont d'intérêt pour les utilisateurs, mais ces derniers sont enclins à accorder plus d'importance à certains aspects moins techniques de la performance des fenêtres que nous abordons brièvement ci-dessous.

Couleur et aspect esthétique

C'est l'aspect le plus apparent d'une fenêtre. On peut peindre ou teindre les fenêtres en bois et le résultat durera plusieurs années. Les choix de couleur pour les fenêtres de métal et les fenêtres en bois revêtues de métal sont restreints, mais les fabricants offrent des revêtements métalliques dans une gamme de couleurs de plus en plus vaste. La plupart des fenêtres en vinyle sont blanches, mais certaines sont maintenant disponibles dans des couleurs neutres, comme le beige et le brun clair. L'application d'une feuille métallique sur les fenêtres de vinyle permet aux fabricants d'offrir des dormants de couleur plus foncée et donne une apparence de bois que certains consommateurs trouvent attrayante.

Lorsqu'il est question de couleur, il est important de tenir compte de la différence de perception d'une couleur sous un éclairage naturel et sous un éclairage artificiel, et de la probabilité que la fenêtre conserve sa couleur au fil du temps. Les fenêtres en vinyle étaient autrefois sujettes à la décoloration, mais elles le sont beaucoup moins maintenant, à cause des nouveaux additifs.

Confort thermique

Les fenêtres éconergétiques tiennent compte de bien des aspects de la performance liés au confort thermique des occupants. Les fenêtres qui affichent une faible valeur isolante ont des surfaces froides qui refroidissent l'air de la pièce à proximité de la fenêtre. Cet air refroidi devient plus dense et tombe sur la fenêtre, devenant de plus en plus froid et accélérant le processus de refroidissement. Un occupant assis près d'une telle fenêtre ressentira le courant d'air et éprouvera de l'inconfort. Le courant d'air ne sera peut-être pas assez fort pour faire bouger les rideaux (à moins que la fenêtre ne soit très grande et très froide),

mais il sera suffisamment important pour causer de l'inconfort. Par une journée froide (ou en soirée), les occupants placés près de la fenêtre rejettent de la chaleur vers celle-ci plus qu'ils n'en rejettent dans le reste de la pièce, car la surface de la fenêtre est plus froide que les autres surfaces de la pièce. Ils percevront un refroidissement. Bien sûr, les fenêtres ayant une faible résistance thermique perdent plus d'énergie, ce qui augmente les coûts de chauffage. Et, comme nous l'avons déjà mentionné, les surfaces des fenêtres froides augmentent les risques de condensation. Il n'y a pas d'indice de performance qui permet de spécifier directement le confort thermique d'une fenêtre. Pour assurer le confort thermique des occupants, il faut bien comprendre l'interaction entre la fenêtre et le comportement des occupants et choisir un ensemble de dormant et vitrage qui répond aux besoins des occupants.

Lumière visible

La transmission de la lumière visible est la fraction de lumière visible que la fenêtre laisse pénétrer dans le bâtiment. Une fenêtre qui laisse pénétrer beaucoup de rayonnement solaire contribue à la charge de refroidissement, mais une fenêtre qui laisse pénétrer de la lumière visible peut, en fait, réduire la charge de refroidissement si elle est conçue pour que l'éclairage naturel permette de réduire la quantité d'éclairage artificiel utilisée. Moins d'éclairage artificiel signifie moins de chaleur générée par la lumière, ce qui se traduit par une plus faible charge de refroidissement et une moins grande consommation d'électricité. Cette question est examinée plus en profondeur dans la section « Teintes, revêtements et films ».

Transmission du son

Les fenêtres peuvent également laisser pénétrer beaucoup de bruits extérieurs si elles sont fabriquées principalement de matériaux

légers et résilients (verre, métal, vinyle et autres) plutôt que de matériaux massifs et insonorisants. Cela vaut particulièrement pour les fenêtres ouvrantes, puisque le coupe-froid, s'il n'est pas posé adéquatement, laissera pénétrer l'air et le son. Toutes les vibrations de son qui peuvent être transmises directement par les interstices et les fentes de la fenêtre entraîneront du bruit dans le bâtiment.

De nombreux facteurs peuvent avoir une incidence sur la transmission de bruit par les fenêtres :

- il est possible que l'installation de la fenêtre ne soit pas adéquate;
- au fil du temps, les garnitures, les joints d'étanchéité et autres composants s'usent, ce qui augmente les risques de transmission du son;
- le gauchissement de la fenêtre ou le retrait important du bâtiment peut empêcher les fenêtres ouvrantes de bien fermer ou créer des interstices dans le châssis, ce qui augmente la transmission du son.

On a mis au point un indice de performance qui détermine la transmission du son de tous les composants d'un bâtiment. La norme ASTM E90 définit l'indice de transmission sonore (ITS) comme étant la quantité moyenne de bruits empêchée de pénétrer à 18 différentes fréquences, mesurée en décibels. L'ITS est une échelle logarithmique semblable à l'échelle Richter qui s'applique aux tremblements de terre. À une tranche de 10 points d'ITS correspond une réduction du bruit de 50 %, à une tranche de 20 points, une réduction de 75 %, à une tranche de 30 points, 87,5 %, et ainsi de suite. Les valeurs types de l'ITS d'une fenêtre varient de 18 à 50, la valeur la plus élevée étant celle qui réduit le plus la transmission du son.

Une fenêtre jalousie, ou une fenêtre à persiennes, a un ITS d'environ 18, et elle atténue très légèrement le bruit. Une fenêtre type à vitrage simple affiche un ITS de 22 à 26 et laisse entendre clairement les voix de l'extérieur. Le verre feuilleté apporte une certaine amélioration, mais les fenêtres à vitrage double offrent une bien meilleure insonorisation.

Les valeurs de l'ITS des fenêtres standard à double vitrage varient de 28 à 35, si l'étanchéité à l'air est adéquate. Les fenêtres dont le verre est plus épais et dont l'espacement des panneaux est plus grand obtiendront un ITS plus élevé. Les fenêtres à verre triple ont un ITS plus élevé que les fenêtres à double vitrage, surtout si l'espacement entre les trois panneaux est différent.

Comme l'ITS est une valeur logarithmique, les fenêtres à l'indice le plus élevé coûtent de plus en plus cher. Pour déterminer la valeur souhaitable de l'ITS, on se basera sur le bruit extérieur ambiant et sur l'usage prévu du bâtiment. Par exemple, il serait difficile d'obtenir un niveau de bruit acceptable dans une maison située près des pistes d'un aéroport. D'autre part, il ne serait pas justifié, sur le plan économique, de poser des fenêtres dont l'ITS est supérieur à 50 dans un bâtiment situé près d'un parc ou d'un cimetière. Enfin, il est possible d'améliorer l'insonorisation par l'utilisation judicieuse de rideaux ou de stores à enroulement automatique installés (surtout) à l'extérieur.

Pour de plus amples renseignements, consultez le rapport de la SCHL intitulé *Pouvoir insonorisant des fenêtres dans les ensembles résidentiels*, ou la publication du Conseil national de recherches Canada intitulée *Laboratory Measurements of the Sound Insulation of Building Façade Elements* (en anglais seulement).

2. Spécifier la performance attendue

Spécifier les cotes A, B et C

Il importe de savoir que les cotes A, B et C ne visent pas à indiquer la performance en service. La norme CSA A440 se veut un guide du consommateur, conçu pour aider les acheteurs à évaluer une fenêtre par rapport à une autre, en vertu des résultats obtenus lors d'essais normalisés.

Prenons l'exemple des évaluations de consommation de carburant des véhicules : elles sont déterminées par une série normalisée de conditions qui permettent au consommateur de comparer le rendement du carburant des véhicules. Toutefois, nous ne nous attendons pas (ou ne devrions pas nous attendre) à atteindre ce rendement sur la route, car le rendement du carburant est déterminé sous des conditions contrôlées, dans un laboratoire d'essais dynamométriques. Sous des conditions réelles, divers facteurs auront une incidence sur la consommation d'essence, notamment les collines, les courbes, les signaux d'arrêt, le comportement des autres conducteurs et les variations de température (pour n'en nommer que quelques-uns).

De la même façon, la performance d'une fenêtre, déterminée selon un essai en laboratoire ne peut servir à prédire la performance en service. L'essai est réalisé sur une fenêtre de dimensions précises, sous des conditions de laboratoire contrôlées, mais une fois en place, elle n'a pas toujours les mêmes dimensions et sera soumise à diverses conditions météorologiques. La fenêtre ayant fait l'objet d'essais est bien étanchéisée dans la chambre d'essai, mais la fenêtre en service ne sera peut-être pas aussi étanche à son pourtour (interface mur-dormant de la fenêtre). Il est aussi possible que la fenêtre évaluée en laboratoire ait été renforcée à la

dimension de l'essai, mais pas à la dimension en place (ou vice versa), ce qui peut être source d'importantes différences sur le plan de la performance. Le système de cotes est donc valide aux fins de la comparaison de produits, mais doit être utilisé avec beaucoup de prudence comme outil de conception.

Il faut tenir compte de quatre points importants concernant les cotes et la performance en service :

1. La performance de la fenêtre en service n'est généralement pas aussi bonne que celle indiquée par la cote.

L'interface entre le mur et le dormant de la fenêtre offre des parcours additionnels aux infiltrations d'eau et d'air, et la fenêtre ne sera pas fixée de manière aussi rigide au mur qu'elle ne l'était dans la chambre d'essai (en fait, elle ne doit pas être fixée aussi solidement, car il faut prévoir un peu de jeu pour le mouvement lors de la pose).

Le *Guide de l'utilisateur* de la norme A440.1 convient toujours pour déterminer les cotes A, B et C souhaitées pour un emplacement donné et les dimensions du bâtiment, mais il ne faut pas oublier qu'elle définit maintenant la performance requise pour la fenêtre une fois posée. Par conséquent, si l'objectif consiste à vérifier la performance en service, il faut exécuter l'essai selon la valeur de conception indiquée dans la norme A440.1, mais spécifier une fenêtre ayant une cote plus élevée. Ainsi, si la norme A440.1 suggère une fenêtre de cote B3 dans une situation donnée, il faudra procéder à l'essai ASTM E1105 (voir la section 3) à 300 Pa pour déterminer si le produit répond aux exigences de la cote B3, mais spécifier plutôt une fenêtre dont la cote est B4 ou B5, pour veiller à obtenir la performance souhaitée.

2. Il importe de comprendre comment les essais ont été réalisés.

La taille de l'échantillon, les conditions dans lesquelles l'essai se déroule, les données réelles mesurées (par opposition aux cotes A, B ou C) et la présence ou l'absence de renfort ont toutes une incidence sur les résultats de l'essai, et ces renseignements ne sont disponibles que dans le rapport d'essai complet.

Le concepteur professionnel qui évalue la cote d'une fenêtre doit se procurer un exemplaire du rapport complet faisant état des essais réalisés selon la norme A440.. Ce rapport est émis par un laboratoire d'essais agréé par le Conseil canadien des normes et comprend tous les renseignements relatifs au produit évalué. Les résultats des essais devraient également comprendre des dessins de coupes transversales, qui sont utiles pour déterminer comment la fenêtre posée a été fixée et quels joints d'étanchéité et composants de renfort étaient en place durant l'essai.

Il importe de savoir si la fenêtre a été renforcée lorsque la performance énergétique est un critère. Le facteur U d'une fenêtre en vinyle peut être considérablement réduit si les composants extrudés comportent des renforts en acier. Le concepteur sera alors devant un dilemme : il doit choisir entre le produit renforcé (qui a un facteur U plus élevé) et le produit non renforcé, qui ne répond peut-être pas aux exigences minimales de la norme A440.

Il faut également tenir compte du fait que la fenêtre peut avoir été évaluée comme partie d'un ensemble. La norme A440 le permet, mais chaque fenêtre de l'ensemble doit avoir été mise à l'essai

individuellement. Cela signifie, par exemple, qu'une fenêtre dont la moitié est à battant et la moitié est fixe peut comporter des cotes A, B et C, mais la partie à battant et la partie fixe doivent avoir été évaluées séparément pour démontrer la conformité à la norme A440.

3. Au Canada, toutes les fenêtres ont des cotes A, B et C.

Tous les codes du bâtiment au Canada exigent que les fenêtres répondent aux critères minimaux des cotes A1, B1 et C1 de la norme A440. Ainsi, toutes les fenêtres doivent faire l'objet d'essais pour prouver leur conformité à la norme avant d'être offertes dans le commerce.

Vu cette exigence des codes, les rapports d'essais de tous les produits cotés sont disponibles et les concepteurs professionnels devraient insister pour y avoir accès. S'il n'y a aucun rapport d'essai, le concepteur devrait se questionner sur les fondements selon lesquels le produit a été évalué.

4. Toutes les fenêtres soumises aux essais en vertu de la norme A440 sont de dimensions normalisées.

Bien que le rapport d'essai confirme les dimensions de la fenêtre, pour se conformer à la norme A440, les essais

portent sur des fenêtres ayant les dimensions normalisées. Si-dessous (remarque : les dimensions des fenêtres sont toujours indiquées de la même façon, soit largeur x hauteur) :

Avant d'exiger dans un devis qu'une fenêtre ait des cotes A, B et C particulières, le concepteur doit s'assurer qu'un tel produit est offert sur le marché. Il est inutile de spécifier une fenêtre A3 B7 C5 (les niveaux de performance les plus élevés pour chacun des paramètres) si un tel produit n'existe pas.

De plus, le concepteur qui demande un produit aux cotes de performance les plus élevées sans tenir compte du prix ne rend pas le meilleur service à son client. En outre, il amène l'entrepreneur à penser qu'il n'a pas pris le temps d'examiner les exigences conceptuelles. Les prix des soumissions risquent d'être déterminés en conséquence.

Spécifier la performance thermique : facteur U et coefficient d'apport par rayonnement solaire

Comme nous l'avons indiqué précédemment, la performance thermique des fenêtres est évaluée à l'aide du facteur U et du coefficient d'apport par rayonnement solaire de l'ensemble de la fenêtre, au lieu du centre du verre. Il est parfois difficile d'obtenir des mesures vérifiées du facteur U et du coefficient

d'apport par rayonnement solaire, sauf si une fenêtre particulière à laquelle s'intéresse le concepteur (ayant le système de vitrage voulu) a été évaluée, et ce n'est pas toujours le cas. Même si les méthodes permettant de déterminer ces deux indices de performance sont définies dans la norme CSA A440.2, elles ne sont pas obligatoires, de sorte que les résultats des essais sur toutes les fenêtres et les options de vitrage ne sont pas nécessairement disponibles au Canada.

Aux États-Unis, le National Fenestration Rating Council (NFRC) publie une liste de produits certifiés dans laquelle les valeurs des facteurs U et les coefficients d'apport par rayonnement solaire sont indiqués. Cette liste peut être un guide utile. Toutefois, les fabricants canadiens ne sont tenus de se conformer aux exigences du NFRC que s'ils exportent leurs produits aux États-Unis. La CSA et le NFRC tentent d'harmoniser les dimensions des produits soumis aux essais et les méthodes d'essai. Les méthodes du NFRC présentent un atout précieux pour le rédacteur de devis et le concepteur, car l'exigence d'apposer une étiquette sur chaque produit permet de vérifier facilement si le produit expédié au chantier est bien celui qui a été spécifié.

L'étiquette apposée sur la plupart des produits canadiens n'indique cependant pas le facteur U ni le coefficient d'apport par rayonnement solaire (voir Figure 4). Il n'est donc pas si utile de spécifier ces paramètres, car il est difficile de les vérifier directement à pied d'oeuvre.

À coulisse verticale (à simple ou double guillotine) :	1 000 x 1 600 mm
À coulisse horizontale :	1 600 x 1 000 mm
À battants :	700 x 1 600 mm
En saillie (auvent ou soufflet) :	1 000 x 1 000 mm
Fixe (panoramique) :	2 000 x 2 000 mm

Vérifiez les dimensions de la fenêtre mise à l'essai par rapport à ces dimensions. Généralement, les cotes A, B et C sont considérées comme étant valides pour toutes les fenêtres de dimensions égales ou inférieures à ces dimensions normalisées. Pour déterminer la cote réelle des fenêtres de plus grandes dimensions, il faut procéder à des essais distincts.

Il est toutefois possible de vérifier le produit livré en examinant la facture ou le bordereau d'expédition ou encore en examinant les étiquettes d'expédition sur les produits lorsqu'ils arrivent au chantier. Le nom ou numéro du modèle devrait y apparaître, ainsi que le type de verre. Ce sont donc les renseignements qui devraient figurer au devis. Nous examinerons brièvement les choix de verre, ci-dessous, mais les concepteurs devraient consulter des sources d'information plus détaillées pour en savoir davantage (voir la Bibliographie).

Systèmes de vitrage

La plupart des systèmes de vitrage sont faits de verre, à l'exception de certains vitrages résistant aux bris qui sont faits de polycarbonate, d'acrylique ou de verre lamellé. Le type de verre utilisé (par exemple, composition chimique et traitement à la chaleur) a peu d'incidence sur la performance thermique de la fenêtre. Nous examinons ici des fenêtres dotées de vitrages sodocalciques de silice standard, ce qui correspond à la plupart des produits vitrés.

Il existe plusieurs types de traitement du verre :

- **Le verre recuit** est le plus répandu, la recuisson faisant partie du processus normal de fabrication du verre. Le verre est refroidi graduellement sous des conditions contrôlées pour enlever les contraintes indésirables et disperser les contraintes résiduelles mineures uniformément dans tout le verre refroidi, ce qui réduit au minimum le risque d'éclatement spontané.
- **Le verre traité à la chaleur** est chauffé à une température proche de sa température de ramollissement, puis refroidi rapidement pour emprisonner les efforts de compression. Le verre chauffé au centre rétrécit en refroidissant, soumettant les

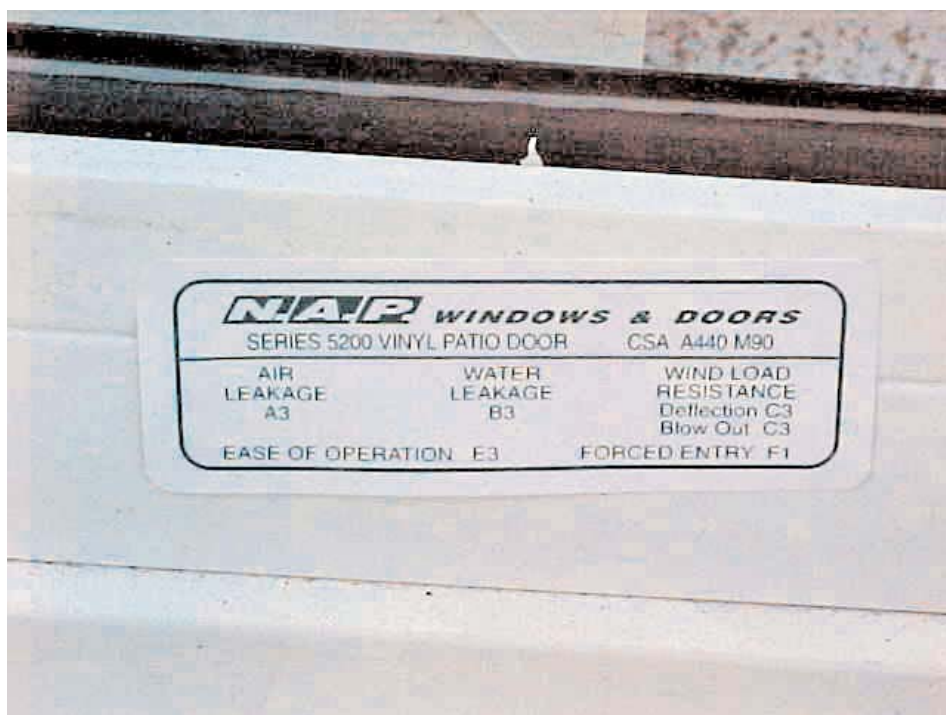


Figure 4 — Une étiquette type sur une fenêtre canadienne indique les données relatives à la norme CSA 440, mais ne précise ni le facteur U, ni le coefficient d'apport par rayonnement solaire.

surfaces extérieures du verre à un effort de compression. Si les surfaces extérieures du verre sont refroidies très rapidement pour conserver un effort de compression très élevé, on obtient du **verre trempé**; autrement, on obtient du **verre à résistance accrue par traitement thermique**. Il importe de retenir que le verre trempé (et, dans une moindre mesure, le verre à résistance accrue par traitement thermique) peut résister à des charges dues aux chocs et au vent et à des variations de température plus élevées que le verre recuit ordinaire.

- **Le verre flotté**, qui contrairement à ce que pensent certaines personnes, n'a pas subi un traitement particulier, car tout le verre fabriqué selon la technologie moderne est du verre flotté. Le nom décrit simplement le processus de fabrication. Le verre liquide « flotte »

au-dessus d'un bassin de métal en fusion, généralement de l'étain, et l'étain liquide et le verre liquide forment des surfaces parfaitement plates. Le verre est retiré d'une extrémité de l'étain liquide, puis il refroidit et durcit graduellement pour devenir une feuille de verre.

- **Le verre autonettoyant** est recouvert d'un revêtement spécial sur ses surfaces extérieures. Ce revêtement réagit aux rayons ultraviolets du soleil et décompose la poussière organique par une réaction chimique photocatalytique (une réaction chimique catalysée par la radiation des ultraviolets). Le revêtement du verre permet également à la pluie de couler en nappe et d'enlever la saleté sans laisser de traces. Ainsi, le verre recouvert de ce revêtement spécial autonettoyant reste propre plus longtemps que le verre normal, en autant qu'il soit exposé à la pluie.

Il existe plusieurs types de vitrages isolants, qui se distinguent selon le nombre de feuilles de verre, la teinte, l'utilisation de remplissage au gaz plutôt qu'à l'air, les revêtements transparents sur les surfaces de verre pour réduire la déperdition ou le gain de chaleur et les films minces suspendus entre les feuilles de verre pour réduire le mouvement du gaz dans le vitrage isolant. Les films suspendus sont souvent revêtus pour réduire davantage la déperdition de chaleur. Examinons chacun de ces types de vitrage isolant.

Nombre de couches

La plupart des codes de construction ne permettent pas la pose de fenêtres à verre simple dans les petits bâtiments (« partie 9 ») à cause des risques liés à la condensation. Il faut donc choisir des fenêtres à double vitrage, au minimum, le vitrage isolant étant le vitrage le plus usuel. Un vitrage isolant peut comprendre plusieurs feuilles, bien que les aspects pratiques limitent le maximum de feuilles à quatre. Les feuilles multiples de verre réduisent la chaleur non pas à cause du verre additionnel (en fait, le verre est un bon conducteur de chaleur), mais plutôt parce que le verre emprisonne des couches additionnelles d'air isolant. Les fenêtres à double vitrage (deux feuilles de verre) sont plus courantes, mais on trouve maintenant de plus en plus de fenêtres à triple vitrage dans certaines régions, notamment au Manitoba. Une fenêtre à double vitrage munie d'une contre-fenêtre constitue en fait un système à triple vitrage et est généralement considérée comme telle.

Les vitrages isolants à quadruple vitrage sont rares, mais la tendance se renverse, surtout depuis qu'on installe de minces pellicules de plastique plutôt que d'ajouter des feuilles de verre. Une fenêtre avec

quatre feuilles de verre est lourde et difficile à déplacer, à poser et à manoeuvrer. Par contre, une fenêtre pourvue de deux feuilles de verre et deux pellicules pèse environ le même poids qu'une fenêtre à double vitrage, mais offre la performance d'une fenêtre à quadruple vitrage.

Teintes, revêtements et pellicules

La manière la plus efficace de modifier la performance thermique du vitrage est d'utiliser divers pigments dans le verre et dans les revêtements d'oxyde apposés sur les surfaces du verre. On utilise souvent les teintes et les revêtements réfléchissants à des fins esthétiques (pour leur apparence externe ou pour contrôler l'éblouissement) ou à des fins architecturales dans les produits commerciaux. Toutefois, ils servent principalement à contrôler les gains solaires, surtout dans les bâtiments commerciaux de grandes dimensions ou à haute densité, lorsqu'on se préoccupe de la climatisation. Le verre teinté absorbe une partie de l'énergie solaire qui frappe sa surface extérieure (la partie absorbée donne au verre sa couleur). Cette énergie est ensuite rayonnée à nouveau, la moitié environ vers l'extérieur, pour réduire la charge de climatisation. Le verre réfléchissant se sert d'un revêtement métallique comme d'un miroir pour réfléchir les gains solaires loin du bâtiment. Le défi est de trouver du verre qui amenuise les gains solaires sans réduire de manière importante la transmission de la lumière visible : autrement, tout semble grisâtre aux occupants.

Le verre qui transmet beaucoup de lumière visible permet au concepteur d'utiliser stratégiquement « l'éclairage naturel » et de réduire l'utilisation de l'éclairage artificiel, ce qui diminue les gains de chaleur provenant des appareils d'éclairage et, par

conséquent, la charge de climatisation. Le choix du vitrage tout indiqué peut donc diminuer les coûts d'exploitation des bâtiments commerciaux, en réduisant la consommation électrique liée à l'éclairage et à la climatisation. Le verre qui absorbe ou qui réfléchit une partie du spectre solaire (la partie qui cause les gains de chaleur solaire) et permet à une autre partie (la lumière visible) de le traverser est appelé « verre à sélectivité spectrale ». On l'utilise comme moyen de régulation solaire dans les bâtiments commerciaux. On l'utilise également pour assurer l'intimité, pour bloquer la lumière visible tout en laissant passer les gains solaires, notamment dans des bâtiments résidentiels, lorsqu'on veut assurer l'intimité dans les salles de bains ou les chambres tout en obtenant les gains solaires.

La technologie du revêtement du verre utilise couramment des pellicules d'oxyde métallique pour réduire le transfert de chaleur rayonnante par la cavité du vitrage, réduisant ainsi la déperdition de chaleur par rayonnement durant la nuit et les gains de chaleur solaire durant le jour. On peut utiliser des couches de différents oxydes métalliques pour déterminer quelles parties du spectre seront transmises par le verre et quelles parties seront réfléchies ou absorbées. Ces pellicules sont appelées des revêtements à faible émissivité.

Les revêtements à faible émissivité sont la méthode la plus couramment utilisée pour contrôler la performance thermique du vitrage isolant dans les habitations et les petits bâtiments commerciaux. Il existe plusieurs types différents de revêtements à faible émissivité. Les « revêtements durs » sont des revêtements durables cuits dans le verre, et leur émissivité varie de 0,2 à 0,6. Comme ils sont assez robustes, on peut les utiliser dans des contre-fenêtres amovibles.

Tableau 4 — Effets des revêtements à faible émissivité

Endroit où est appliqué le revêtement (surface n°)	Facteur U, (W/m ² ·°C)	Coefficient d'apport par rayonnement solaire	Température de la paroi n° 4 (°C)
Aucun revêtement	2,81	0,76	7,3 °C
n° 1 (paroi extérieure)	2,78	0,58	7,5
n° 2 (paroi intérieure de la vitre extérieure)	1,79	0,58	12,1
n° 3 (paroi extérieure de la vitre intérieure)	1,79	0,63	12,1
n° 4 (paroi intérieure)	2,09	0,61	1,5

Les « revêtements mous » sont pulvérisés sur le verre selon une méthode de dépôt à la vapeur. Ils sont en fait des films métalliques et non pas des oxydes métalliques, de sorte qu'ils s'oxydent à l'air et sont plutôt fragiles (ils ne peuvent donc être utilisés qu'à l'intérieur d'un vitrage isolant). S'il est oxydé, le revêtement à faible émissivité donnera au verre une teinte brunâtre ou jaunâtre. L'émissivité des revêtements mous se situe entre 0,04 et 0,20 et ils ont une valeur U plus faible que les revêtements durs, mais ils réduisent également davantage les gains solaires.

Les récentes percées dans la technologie des revêtements ont donné lieu à la fabrication de revêtements durs à faible émissivité (entre 0,17 et 0,20) qui allient une grande durabilité et un faible facteur U à des gains solaires raisonnablement élevés.

L'emplacement du revêtement à faible émissivité a également son importance pour assurer la performance du système de vitrage. Il est d'usage de numéroter les feuilles de verre et les parois depuis l'extérieur vers l'intérieur. Ainsi, la paroi de verre la plus à l'extérieur, celle qui donne dehors, est toujours appelée la paroi no 1. Dans une fenêtre à double vitrage, la paroi qui donne dans la pièce est la paroi no 4 (dans une fenêtre à triple vitrage, elle serait la paroi no 6). Le tableau 4 illustre l'effet de placer un revêtement à faible émissivité

sur les diverses parois d'un système à double vitrage. Tous les systèmes de vitrage du tableau ont été évalués à une température intérieure de 21 °C et à une température extérieure de -18 °C, les conditions normalisées étant établies dans la norme CSA A440.2. On aborde ici l'effet sur les vitrages. C'est pourquoi les valeurs qui apparaissent au tableau ne s'appliquent qu'au centre du vitrage.

Un revêtement appliqué sur la paroi no 1 réduit très peu le facteur U et il n'est pas recommandé. Un revêtement appliqué sur la paroi no 2 réduit les gains solaires et est donc utile dans les bâtiments non résidentiels ou pour régler le problème de surchauffe des résidences qui ont de grandes surfaces vitrées.

La meilleure option dans les climats nordiques ou lorsqu'on vise à réduire la charge de chauffage, consiste à appliquer le revêtement sur la paroi no 3. Le revêtement à faible émissivité appliqué sur la paroi no 3 d'une fenêtre à double vitrage offre le plus grand coefficient d'apport par rayonnement solaire (le gain solaire le plus élevé) et le plus faible facteur U (les déperditions par conduction les moins élevées) parmi toutes les options. Certains fabricants ont signalé une hausse des bris de verre (qu'ils attribuent à un plus grand effort thermique) lorsque le revêtement à faible émissivité était appliqué sur la paroi no 3, mais le phénomène est assez rare.

Un revêtement à faible émissivité appliqué sur la paroi no 4 réduit le transfert de chaleur par rayonnement entre la pièce et la fenêtre, de sorte que sa température se rapproche davantage de la température extérieure. Dans l'exemple illustré au tableau 4, le verre est plus froid, ce qui entraîne de la condensation et l'inconfort des occupants. C'est pourquoi il n'est pas recommandé d'appliquer un revêtement à faible émissivité sur la paroi intérieure du vitrage d'une fenêtre. Des fabricants offrent des films à appliquer sur des fenêtres existantes. Ces produits sont utiles dans certains projets de rénovations éconergétiques (pour réduire l'éblouissement, les gains solaires ou les déperditions de chaleur), mais il vaut mieux choisir le système de vitrage adéquat dès le départ et éviter les coûts additionnels de ces films appliqués ultérieurement. Ces films coûtent parfois assez cher et ils doivent être appliqués correctement pour être d'une utilité quelconque : leur coût ne se justifie que dans les projets de rénovation (et même là, il vaut souvent mieux remplacer le vitrage isolant par un système de vitrage adéquatement choisi).

Le *Handbook of Fundamentals* d'ASHRAE comporte un tableau assez utile des valeurs des options de vitrage types pour une variété de dormants de fenêtres. Il conviendrait de commencer avec le *Handbook* pour déterminer l'incidence de différents choix

de verre sur le facteur U et le coefficient d'apport par rayonnement solaire de toute la fenêtre, puis de préciser les choix en communiquant avec les fabricants de fenêtres particulières pour discuter de leurs produits. Une fois le vitrage choisi, il est plus facile de spécifier les choix de verre (et les gaz de remplissage, les intercalaires, etc.) et de vérifier que ces composants sont visibles à pied d'oeuvre, dans le produit fini.

Pose des fenêtres

Selon plusieurs enquêtes résidentielles sur le terrain réalisées par la SCHL, au moins 25 % des problèmes et des dommages subis par les composants sensibles à l'humidité dans les murs extérieurs sont directement attribuables aux infiltrations d'eau par les fenêtres ou les interfaces fenêtres-murs. Bien que certains dommages dans les murs soient en partie attribuables à des sources d'humidité intérieures, la pénétration de la pluie par les interstices extérieurs, les détails de conception et de construction inappropriés, et un mauvais concept de gestion de l'eau sont les causes les plus importantes des problèmes d'humidité dans les murs extérieurs.

Une récente étude de la SCHL, *Les fenêtres et leur étanchéité à l'eau (2003)*, a montré que les parcours de fuite qui présentent les risques les plus élevés de dommages aux zones sensibles à l'humidité sont ceux par les fenêtres (L4) ou par l'interface fenêtre-mur (L5) (voir Figure 5).

Il arrive que l'eau s'infilte dans certaines cachées longues périodes sans que nul ne s'en aperçoive, causant ainsi des dommages sérieux qui occasionnent des réparations coûteuses. Les parcours de fuite L1, L2 et L3 (pénétration de l'eau par la partie fixe du châssis, par l'ouvrant et par l'interface fenêtre-mur, respectivement) ne présentent

pas des risques aussi élevés de dommages subséquents, mais il ne faut pas les ignorer si l'eau pénètre à l'intérieur.

Cette eau pourrait causer des dommages importants aux revêtements intérieurs comme les plaques de plâtre, les moquettes, les parquets en bois dur, les appuis en bois et les garnitures. Elle pourrait également nuire au confort des occupants par la mauvaise qualité de l'air intérieur, les taux élevés d'humidité relative à l'intérieur et la prolifération de la moisissure qui s'ensuivent. Heureusement, l'occupant s'en apercevra, si de l'eau pénètre à l'intérieur de la pièce, et il saura alors qu'il devra régler le problème.

Pour empêcher la pénétration d'eau, il faut appliquer certains principes de base à la conception de l'interface fenêtre-mur. Chacun de ces principes sera examiné en détail.

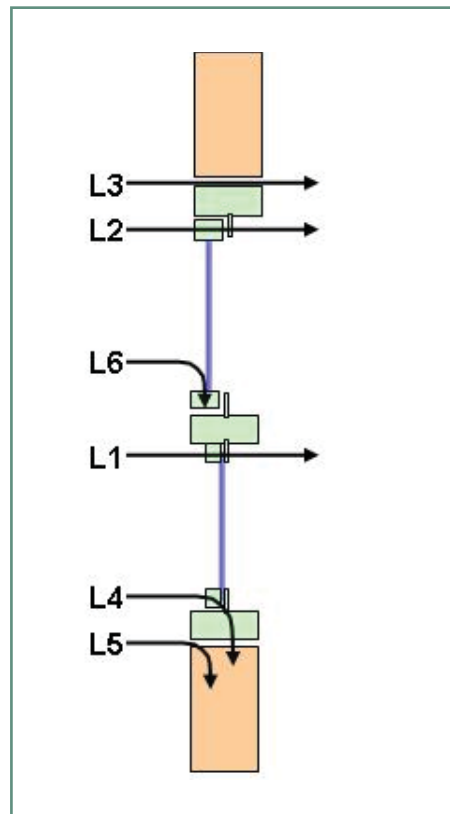


Figure 5 — Parcours de fuite

1. Protéger le bâti d'attente de la fenêtre (qui pourrait se mouiller).
2. Prévoir une protection imperméable sous l'appui pour toutes les ouvertures des fenêtres.
3. Garder étanches et secs les composants du pare-air aux interfaces fenêtres-murs.
4. S'assurer que tous les éléments du mur et de l'interface fenêtre-mur sont chevauchés de manière à déverser l'eau vers l'extérieur.
5. Intégrer des solins au-dessus et à l'appui et à d'autres éléments de conception de façon à évacuer l'eau et protéger les ouvertures de fenêtre contre les infiltrations d'eau.

La pose des fenêtres doit faire partie intégrante de la conception du mur. Il importe d'assurer la continuité des protections essentielles (contre l'air, la vapeur d'eau, l'humidité et surface évacuant l'eau) dans la conception du mur et dans la conception de la fenêtre, et de l'interface fenêtre-mur.

Protéger le bâti d'attente

De récentes expériences en laboratoire réalisées par la SCHL et l'IRC-CNRC, jumelées à des observations antérieures sur le terrain, ont clairement montré que les vices dans l'enveloppe permettent à l'eau d'atteindre la sous-face de la pièce d'appui de la fenêtre; et ce, même lorsque la pluie n'est pas poussée par le vent. Autrement dit, la gravité seule est la force agissante.

Les codes et les normes, y compris le CNB 2005 et la norme CSA440.4 *Installation des fenêtres et des portes*, sont en voie d'exiger une protection contre l'humidité (c.-à-d., des solins sous les appuis) sous les appuis des fenêtres pour récupérer l'eau qui se serait introduite fortuitement et l'évacuer

vers l'extérieur. Les membranes remontent de 150 mm (5,9 po) sur chaque montant.

Si les murs comprennent des coupures de capillarité (vides d'air adéquats) derrière le parement, il est acceptable de drainer l'eau de la pièce d'appui vers la cavité de drainage du mur. Toutefois, il ne convient pas de laisser l'appui de la fenêtre drainer l'eau introduite fortuitement dans les murs étanchés en surface ou les cas où le parement est posé directement sur le revêtement mural intermédiaire. Dans ce cas, il faut plutôt drainer l'appui de fenêtre directement vers l'extérieur. La pièce de sous-appui en pente et le talon ajouteront une protection additionnelle contre l'humidité.

L'eau qui se sera infiltrée fortuitement dans l'appui de la fenêtre doit être dirigée vers un parcours d'évacuation libre ou directement vers l'extérieur. Toutefois, les fenêtres à brides (avec des ailettes intégrées) peuvent empêcher l'eau de s'écouler librement de l'appui. On peut favoriser le drainage en écartant la fenêtre du mur à l'aide de fourrures ou en enlevant la bride de la pièce d'appui, si ces mesures n'ont pas d'incidence sur les garanties de la fenêtre. (Même un faible espace entre la bride et la membrane de revêtement intermédiaire sera suffisant pour favoriser le drainage.)

Pare-air à l'interface fenêtre-mur

Il est de pratique courante de gérer la pénétration de l'eau de pluie en étanchéisant et en imperméabilisant l'interface entre le devant de la fenêtre et le bâti d'attente.

Cette pratique est surtout courante dans la pose des fenêtres munies d'une bride des immeubles résidentiels de faible hauteur. Les installateurs de fenêtres appliquent généralement un mastic d'étanchéité à l'arrière de la bride sur tout le périmètre de la fenêtre, puis ils placent la fenêtre dans le

bâti d'attente, et pressent la bride contre la membrane de revêtement ou le revêtement intermédiaire, puis la fixent au mur. Ils posent ensuite une membrane autocollante ou une bande adhésive sur la bride pour la sceller à la membrane de revêtement et offrir ainsi une protection additionnelle contre la pénétration d'eau.

Les essais en laboratoires de la SCHL et de l'IRC-CNRC ont montré que la création du plan d'étanchéité à l'air décrit ci-dessus, dans un endroit exposé à l'eau, n'empêche pas totalement les infiltrations d'eau de pluie. Tout comme pour les murs étanchés en surface, toute rupture dans le plan de la plus grande chute de pression poussera l'eau dans le mur.

L'essai a montré que les infiltrations d'eau seront considérablement réduites si l'on veille à ce que le plan d'étanchéité à l'air soit continu, sec et tiède (par exemple), et que la chute de pression à travers l'interface avant entre la fenêtre et le mur demeure faible. À titre d'exemple, le pare-air principal est situé à l'arrière de l'interface fenêtre-mur et il n'y a aucun joint d'étanchéité entre la bride de la fenêtre et le mur. Il importe que le pare-air à l'interface fenêtre-mur soit continu – plus le pare-air est étanche, moins il risque de se produire des infiltrations d'eau.

Chevauchement pour évacuer l'eau

Les membranes de revêtement, qu'elles soient en polymère ou à base de papier, doivent être chevauchées aux joints pour que l'eau s'écoule loin du mur interne. Les membranes de revêtement à l'endroit des montants doivent chevaucher les prolongements de la membrane imperméable à l'emplacement de la pièce d'appui. À la partie supérieure de la fenêtre, les membranes de revêtement doivent chevaucher les brides de la fenêtre et les solins de tête.

Solins

Il faut installer des solins de tête au-dessus des fenêtres lorsque la distance verticale entre le bas du débord de toit (soffite) et le dessus de la garniture est plus grande que le quart de la largeur du débord de toit. Les solins adéquatement conçus et installés présentent les caractéristiques suivantes :

- ils sont continus au-dessus de la fenêtre;
- ils se prolongent jusqu'au parement du mur adjacent;
- ils intègrent des talons ou digues;
- ils ont une pente de 6 % (après le retrait prévu du bâtiment);
- ils comprennent un larmier qui fait saillie de 10 mm au-dessus de l'élément (la fenêtre) et se projette de 5 mm au-delà de la face de celle-ci.

Il faut également munir de talons ou de digues les solins des pièces d'appui pour évacuer l'eau du mur sous la fenêtre.

Généralités

La Figure 6 illustre les diverses étapes de la pose d'une fenêtre selon cette stratégie de gestion de l'eau. (Les détails de pose particuliers varieront toutefois selon le projet et le type de fenêtre.) Il est important d'appliquer les mastics d'étanchéité aux endroits et aux moments appropriés du processus de pose pour assurer la continuité du pare-air. Dans le cas d'une fenêtre en métal, la coupure thermique doit être bien située au-dessus de l'isolant dans le mur, pour maintenir la continuité de la protection thermique, à défaut de quoi il se créera un pont thermique qui entraînera une déperdition de chaleur importante et des problèmes de condensation.

La pose inadéquate peut également compromettre la performance de la fenêtre. Ainsi, la fixation ou le calage inadéquat du dormant risquent d'altérer le bon fonctionnement des fenêtres ouvrantes, et il faudra peut-être déployer une grande force pour ouvrir ou fermer les fenêtres pivotantes (à battant) ou les fenêtres à auvent. La norme CSA A440.4 constitue un relativement bon guide d'installation.

Il faut examiner les détails d'installation d'un produit donné dès l'étape de la conception pour s'assurer qu'ils n'entreront pas en conflit avec les applications prévues. Par exemple, il n'est pas recommandé d'utiliser une plaque d'ancrage pour fixer le sommet de la fenêtre, car il est difficile de poser un joint d'étanchéité à l'air et à l'eau autour de ce type d'ancrage.

Pour de plus amples renseignements sur le sujet, consultez le rapport de la SCHL intitulé *Conception de joints durables entre les fenêtres et les murs*.

Il est fortement recommandé d'installer un modèle en vraie grandeur lors de la construction. Tous les intervenants (concepteur, installateurs, entrepreneur, etc.) pourront ainsi examiner les détails et la séquence de pose. Il convient également de soumettre le modèle à un essai sur place pour raffiner les détails d'installation de manière à ce qu'une fois posée, la fenêtre réussisse l'essai E1105 (voir la section 3). Il est souvent utile de photographier chaque étape de la pose, surtout s'il est prévu que des installateurs additionnels s'ajouteront au personnel de l'entrepreneur. Les nouveaux ouvriers pourront examiner les photographies de la maquette en plus des instructions relatives à la pose.

En règle générale, le devis devrait faire référence aux méthodes d'installation prévues dans la norme CSA A440.4, mais il se peut que certains détails particuliers à l'ouvrage exigent une attention particulière. Dans la mesure du possible, les concepteurs et les rédacteurs de devis doivent maintenir une philosophie de conception qui assure la continuité du pare-air, de la protection thermique, du pare-vapeur et de la protection anti-intempéries.

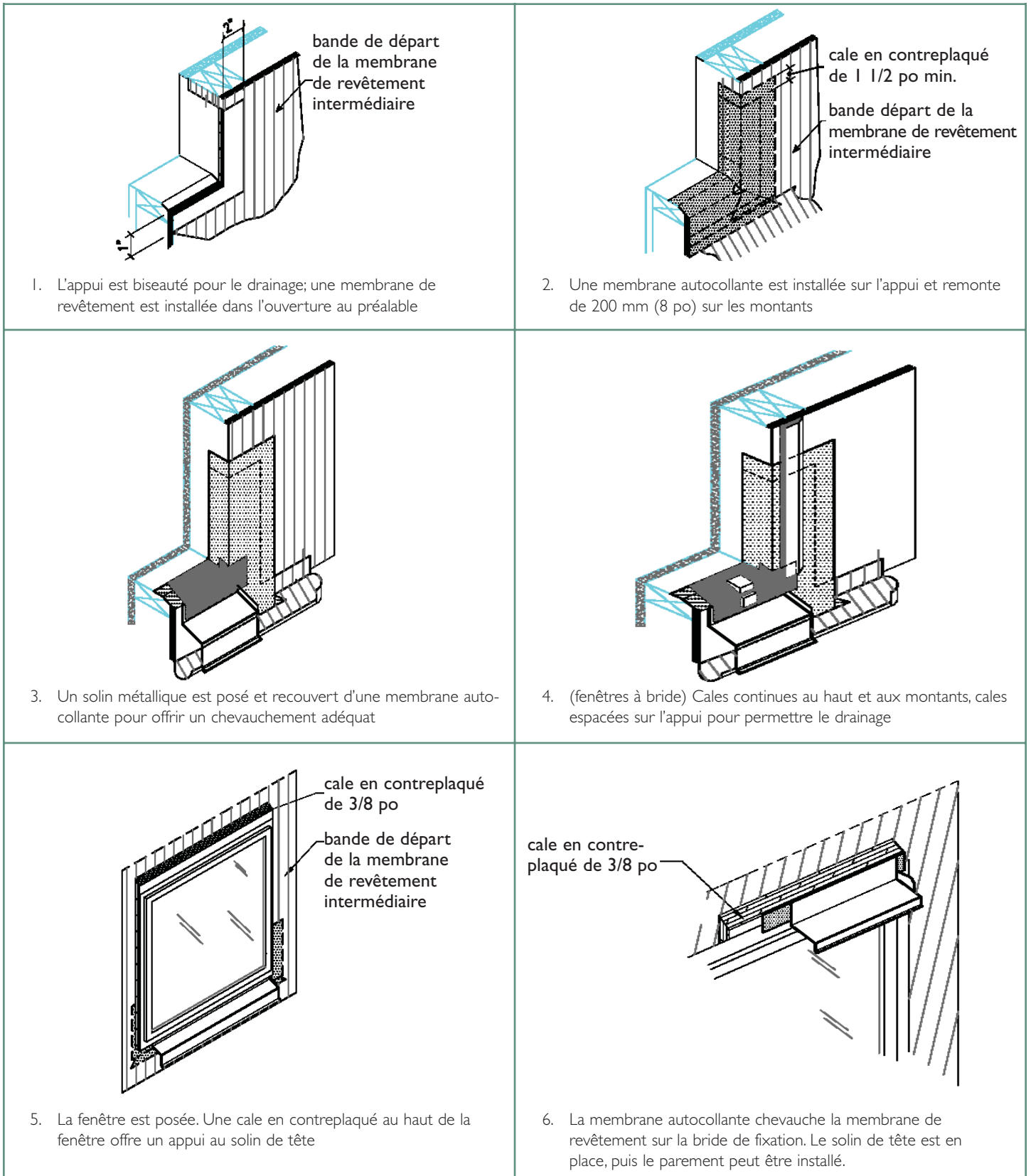


Figure 6 — Étapes de pose d'une fenêtre

Aide-mémoire pour la rédaction d'un devis sur les fenêtres

La liste qui suit est un guide général pour la rédaction des devis sur les fenêtres. Ces suggestions ne sont pas dans un ordre particulier et il faudra parfois ajouter des éléments additionnels pour certains ouvrages.

- Il est essentiel de mesurer les bâtis d'attente sur place pour s'assurer que les fenêtres seront bien ajustées. Cette responsabilité incombe généralement à l'entrepreneur ou à l'installateur.
- Dans la mesure du possible, les fenêtres doivent être expédiées au chantier juste avant qu'elles soient posées. Elles doivent être entreposées à la verticale, dans un endroit propre et sec, loin de toute source possible de bris.
- Les dessins d'atelier des fenêtres sont souvent utiles. Les dessins d'exécution portent sur certains aspects de la conception (détails d'imperméabilisation, aspects d'ordre structural, etc.) d'une fenêtre générique. Les dessins d'atelier illustrent comment intégrer la fenêtre particulière à l'assemblage de mur, y compris les charges structurales, l'ancrage et le drainage des éléments creux.
- Le fournisseur de la fenêtre devrait fournir des renseignements sur les méthodes d'entretien recommandées afin de donner une longue durée utile aux produits en service.
- Le concepteur devrait obtenir les rapports complets des essais en laboratoire relatifs aux cotes A, B et C (à moins qu'il ne possède déjà ces renseignements).
- Le devis devrait indiquer quels essais seront effectués sur le terrain (voir la section 3. Atteindre la performance à pied d'œuvre), le niveau de performance attendu et la fréquence des essais. Le devis devrait indiquer qui procédera aux essais et quels seront les critères de réussite ou d'échec. Il devrait en outre préciser ce qui arrivera si les fenêtres ne réussissent pas l'essai et doivent faire l'objet d'un autre essai.
- Le fournisseur des fenêtres devrait indiquer clairement toutes les garanties applicables et fournir tous les renseignements pertinents par écrit. Il faut examiner toutes les instructions de pose et d'entretien pour s'assurer qu'elles ne contiennent aucune directive qui annulera les garanties.
- S'il est permis de poser des produits « équivalents » ou des produits de « substitution approuvés », le concepteur devrait clairement énoncer les paramètres qui définissent la performance souhaitée. Par exemple, si la résistance à la pluie poussée par le vent est d'importance primordiale, il devra préciser clairement la cote B souhaitée. Ainsi, si l'entrepreneur propose un produit de remplacement, il saura quels renseignements fournir au concepteur pour lui permettre d'évaluer l'équivalence du produit. À noter que c'est l'entrepreneur qui doit soumettre une telle documentation à l'examen du concepteur et que le concepteur n'a pas à se procurer lui-même les données appropriées pour déterminer si le produit proposé par l'entrepreneur est acceptable.
- Le devis de pose devrait préciser que les chapeaux et les parcours de drainage connexes ne doivent pas être obstrués.
- Le devis devrait préciser que la quincaillerie doit être ajustée correctement et que les fenêtres doivent être nettoyées avant l'achèvement de l'ouvrage.
- Le devis devrait préciser le type de revêtement à faible émissivité (le cas échéant) et indiquer le nom et l'émissivité du produit, ainsi que les surfaces devant être revêtues.

3. Atteindre la performance à pied d'œuvre

Fort d'un concept adéquat et d'un devis clair, il ne reste qu'à confirmer que la fenêtre est bien posée pour être certain d'avoir obtenu la performance souhaitée.

D'abord, essayez de confirmer que les fenêtres expédiées au chantier sont bien celles qui ont été spécifiées. Vérifiez les étiquettes des fenêtres (voir Figure 4), les factures ou les bordereaux d'expédition pour vous assurer que les fenêtres sont bien celles du modèle et du fabricant spécifiés et qu'elles comportent bien le vitrage demandé. Il est impossible de vérifier les revêtements à faible émissivité juste à les regarder, mais il y a des façons de déterminer si un revêtement à faible émissivité a été appliqué (sans toutefois pouvoir confirmer qu'il s'agit du revêtement spécifié). On peut utiliser à cette fin un appareil électronique portable disponible dans le commerce qui indiquera en outre sur quelle paroi il a été apposé (Figure 7).



Figure 7 — Selon le voyant à DEL qui s'allume, l'utilisateur peut déterminer sur quelle paroi a été appliqué le revêtement à faible émissivité.

Il est possible de faire la même vérification sans appareil spécial, à l'aide d'une simple lampe de poche, d'un briquet au butane ou d'une autre source de lumière (Figure 8). En tenant la source de lumière au bon angle, on voit sa réflexion sur chaque paroi. S'il n'y a pas de revêtement à faible émissivité, les images seront semblables, mais s'il y a un tel revêtement, la réflexion de la source

de lumière sur cette surface sera différente. Un revêtement à faible émissivité réduit la quantité d'énergie transmise dans la partie du spectre de grande longueur d'onde, de sorte que ces grandes longueurs d'onde seront réfléchies et que l'image apparaîtra plus rouge que les autres. Il est plus facile de bien voir les reflets si on place une surface noire derrière la fenêtre.



Figure 8 — Vue de l'intérieur, la réflexion indique qu'un revêtement à faible émissivité est présent sur la paroi n°3

Après avoir vérifié que le produit a bien été appliqué et à l'endroit voulu, il est possible d'effectuer plusieurs essais pour en vérifier la performance. Comme l'indique la Figure 2, ces essais portent sur la transmission du bruit, l'étanchéité à l'air, la facilité de manœuvre et l'étanchéité à l'eau.

Transmission du bruit

La norme ASTM E966 permet d'évaluer en place l'indice de transmission du son (ITS) qui a été évalué en laboratoire. À l'aide d'un décibelmètre et d'une source de bruit calibrée, on prend plusieurs mesures à l'intérieur et à l'extérieur, puis la réduction des décibels est calculée par ordinateur et convertie en une cote d'ITS, selon la norme. Le rédacteur de devis devrait indiquer quels sont les niveaux acceptables et ne pas perdre de vue que l'ITS de la fenêtre en place ne sera pas le même que celui de la fenêtre mise à l'essai en laboratoire.

Les essais effectués à pied d'œuvre devraient également porter sur l'interface fenêtre-mur. Les résultats de ces essais ne confirmeront pas la cote de la fenêtre, mais indiqueront sa performance réelle.

Étanchéité à l'air

Il existe dans le marché des appareils portatifs composés d'un aspirateur et d'un débitmètre d'air calibré qui permettent de vérifier l'étanchéité à l'air. L'utilisateur doit créer une chambre pour isoler l'échantillon à tester – ce peut être une fenêtre ou une bande de fenêtres ou quelque autre assemblage. Il est possible d'isoler la fenêtre ou d'inclure l'interface fenêtre-mur, compte tenu de l'étanchéisation entre la chambre et le mur.

On mesure la fuite d'air requise pour maintenir une différence de pression à l'aide du débitmètre d'air. Le résultat peut être exprimé en tant que flux (L/s ou m³/h)

ou en tant que flux par unité de surface ($L/s/m^2$ ou $m^3/h/m^2$, ce qui est plus courant dans les essais des portes), ou encore selon la norme A440, en unités de m^3/h par mètre de longueur de fente. Ces résultats peuvent être comparés à la cote A, en n'oubliant pas que les mesures sur le terrain seront probablement plus élevées que les mesures prises sur l'échantillon lors des essais en laboratoire.

Il est possible de détecter les fuites en générant une petite quantité de fumée à l'extérieur à l'aide d'un crayon fumigène, mais il est généralement plus facile de détecter les fuites à l'aide d'un test d'infiltrométrie. Le crayon fumigène peut toutefois servir à repérer les fuites d'air et à les colmater, s'il y a lieu.

Facilité de manœuvre

Les personnes âgées et les occupants aux prises avec des difficultés physiques accordent de l'importance à ce critère. On peut vérifier la fenêtre en appliquant un dynamomètre à la quincaillerie de manœuvre. L'appareil mesure la quantité de force requise pour initier le mouvement et pour le maintenir. Le résultat doit être inférieur aux valeurs établies dans la norme A440. La norme définit également où prendre les mesures, selon le type d'organe de manœuvre de la fenêtre.

Idéalement, laissez aussi les occupants essayer de manœuvrer la fenêtre. Souvent, ils vous feront des commentaires utiles par rapport à l'angle requis de la force exercée ou par rapport à l'effort de manœuvre nécessaire pour ouvrir, fermer ou verrouiller la fenêtre.

À noter que la facilité de manœuvre est généralement une exigence opposée aux exigences d'étanchéité à l'air et d'étanchéité à l'eau qui supposent que la fenêtre aura des joints étanches (et, en conséquence, sera généralement difficile à manœuvrer). Il est possible de résoudre la question en choisissant adéquatement la quincaillerie de manœuvre, mais le meilleur test est celui qui est réalisé sur la fenêtre en service.

Étanchéité à l'eau

La résistance à la pluie poussée par le vent est un critère particulièrement important dans les régions côtières, mais les fuites d'eau ne sont jamais les bienvenues, peu importe l'endroit. Il est donc important d'évaluer correctement la performance des fenêtres posées par rapport à ce critère. La norme ASTM E1105 est la version

sur le terrain de l'essai E547, qui sert à déterminer la cote B de la norme A440. Un jet d'eau est appliqué uniformément sur la paroi extérieure de la fenêtre à un taux normalisé et la fenêtre est assujettie à une différence de pression pour simuler les pressions du vent. La pression est exercée en cycles afin de simuler les surcharges dues aux rafales : la norme A440 exige quatre cycles de cinq minutes avec la différence de pression et une minute sans différence de pression, l'application du jet d'eau demeurant continue tout au long de l'essai. Le Guide de l'utilisateur de la norme A440.1 donne les valeurs de différence de pression de l'essai. Puisque ces différences de pression sont maintenues pendant les quatre périodes de cinq minutes, il faut surveiller continuellement la différence de pression (voir Figure 9).



Figure 9 — Essai E1105 sur une fenêtre : la différence de pression est continuellement contrôlée à l'aide du manomètre à droite

Avant de procéder à cet essai, il faut conditionner la fenêtre. Selon la norme E1105, il faut ouvrir, fermer et verrouiller la fenêtre cinq fois, pour s'assurer que la quincaillerie fonctionne bien et que les joints ne sont pas trop étanches (ce qui pourrait nuire à la facilité de manœuvre).

Il faut observer attentivement la fenêtre pour repérer tout signe de fuite. Il sera plus facile de l'examiner si on a préparé une chambre d'essai faite de feuilles de polycarbonate ou d'acrylique. À noter que les critères de réussite et d'échec de la norme A440 et ceux de l'essai E1105 ne sont pas les mêmes. La norme A440 définit la fuite d'eau comme :

- de l'eau qui pénètre dans l'assemblage de la fenêtre et qui mouille les surfaces intérieures de la pièce;
- de l'eau qui s'infiltré par la fenêtre dans le mur situé sous la pièce d'appui;

OU

- de l'eau emprisonnée dans la fenêtre après avoir annulé la différence de pression.

Chacune de ces infiltrations est considérée comme un échec en vertu de la norme A440. L'essai aux termes de la norme E1105 ne considère quant à lui que la première situation comme étant un échec et ne fait pas mention des deux autres situations. Il importe donc de définir les critères de

réussite et d'échec AVANT le début de l'essai, préférablement dans le devis. De plus, le dernier de ces critères est quelque peu subjectif : si l'eau est toujours dans l'assemblage, mais que les chantepleures fonctionnent bien et que l'eau s'évacue (de sorte qu'elle sera éventuellement drainée à l'extérieur de l'assemblage), l'essai pourrait être considéré comme une réussite, même s'il reste de l'eau après la dernière minute du cycle sans pression ce qui, d'une manière stricte, serait considéré comme un échec.

À noter qu'il faut calibrer l'appareillage nécessaire à l'essai E1105, et qu'il faut le calibrer tous les six mois pour s'assurer que le jet d'eau est constant.

Bibliographie

CSA A440. *Fenêtres*. Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ont., 2000 (dernière version – la norme est régulièrement mise à jour).

CSA A440.2. *Rendement énergétique des fenêtres et autres systèmes de fenestration*, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ont., 2004 (dernière version – la norme est régulièrement mise à jour).

CSA A440.4. *Installation des fenêtres et des portes*, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ont., 1998 (dernière version – la norme est régulièrement mise à jour).

ASTM E1105. *Standard Test Method for Field Determination of Water Penetration of Installed Exterior Windows, Skylights, Doors, and Curtain Walls by Uniform or Cyclic Static Air Pressure Difference*, ASTM International, West Conshohocken, Penn., 2000 (dernière version – la norme est régulièrement mise à jour).

ASHRAE. *Handbook of Fundamentals*, American Society for Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2005 (dernière version – le manuel est régulièrement mis à jour).

McGOWAN, Alex. *Energy-Efficient Residential and Commercial Windows Reference Guide*, Association canadienne de l'électricité, Montréal, 1995.

CARMODY, John, S. SELKOWITZ, D. ARASTEH et L. HESCHONG. *Residential Windows: A Guide to New Technology and Energy Performance*, deuxième édition, W.W. Norton & Company Inc., New York, 2000.

KERR, Dale. *Comment conserver les murs secs*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, Ottawa, novembre 2004.

RDH BUILDING ENGINEERING LIMITED. *Les fenêtres et leur étanchéité à l'eau : Étude portant sur la fabrication, la construction et la conception de l'interface, ainsi que sur la pose et l'entretien*. Société canadienne d'hypothèques et de logement, Ottawa, novembre 2003.

MJM ACOUSTICAL CONSULTANTS. *Pouvoir insonorisant des fenêtres dans les ensembles résidentiels*. Société canadienne d'hypothèques et de logement, Ottawa, 1997.

BRADLEY, J.S. et J.A. BIRTA. *Laboratory Measurements of the Sound Insulation of Building Façade Elements*, Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches Canada, Ottawa, octobre 2000.

AIR-INS, Inc. *Conception de joints durables entre les fenêtres et les murs*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, Ottawa, 1999.

Questions

1. **Que signifient les cotes A, B et C d'une fenêtre?**
2. **Quels sont les niveaux les plus élevés des cotes A, B et C? Est-ce toujours une bonne idée de spécifier les niveaux de performance les plus élevés? Pourquoi?**
3. **Quels sont les trois facteurs susceptibles d'entraîner des différences entre les valeurs cotées et la performance attendue en service?**
4. **Nommez trois façons de déterminer s'il y a un revêtement à faible émissivité sur un vitrage.**
5. **Quelle est la différence entre le verre à résistance accrue par traitement thermique et le verre trempé?**
6. **Quelle est la différence entre le verre flotté et le verre recuit?**
7. **Quel est le paramètre de conception le plus souvent utilisé pour définir les gains solaires : le coefficient d'ombrage ou le coefficient d'apport par rayonnement solaire? Pourquoi?**
8. **Donnez l'unité de mesure du facteur U? Quelle est la relation entre le facteur U et la valeur R?**
9. **Qui est généralement responsable de s'assurer que les fenêtres ont les bonnes dimensions pour s'ajuster dans le bâti d'attente d'un bâtiment?**
10. **Quel est le critère de réussite ou d'échec d'un essai EI 105? En quoi ce critère diffère-t-il de celui de la norme CSA A440?**