

Essais de charges dynamiques sur des couvertures d'immeubles à usage commercial

par *A. Baskaran*

Les toitures monocouches ne se comportent pas comme les multicouches. Il est donc nécessaire de mettre en place une méthode d'essai simple pour s'assurer de la bonne tenue de ce type de toiture lorsqu'elle est exposée à une charge dynamique due au vent. La présente mise à jour décrit un nouveau protocole d'essai mis au point dans le cadre d'un projet en consortium soutenu par l'industrie et dirigé par l'Institut de recherche en construction du CNRC.

Incidences du vent sur les toits

Les dommages causés par le vent font l'objet de nombreuses déclarations de sinistres de toitures, mais l'on ne possède pas beaucoup de renseignements sur la résistance au vent des toits monocouches souvent installés sur les immeubles à usage commercial ou industriel à faible pente. Toutefois, il est connu que les toits monocouches ne réagissent pas au vent comme les toits multicouches classiques.

Le vent qui souffle sur un immeuble doté d'une toiture à faible pente (figure 1a) exerce une pression positive sur le mur face au vent, une pression négative (suction) sur le mur à l'abri du vent et sur les murs parallèles à la direction du vent, et une succion sur la majorité de la surface du toit.

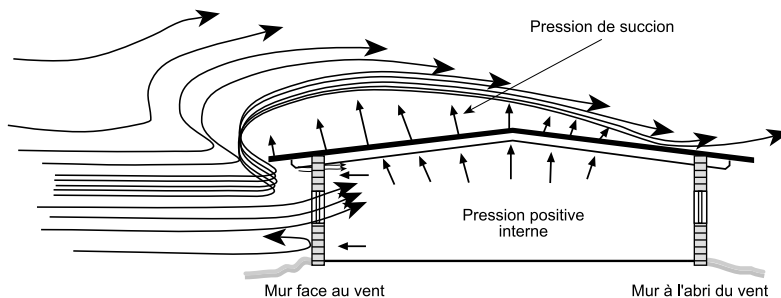


Figure 1a. Succion causée par le vent sur un toit

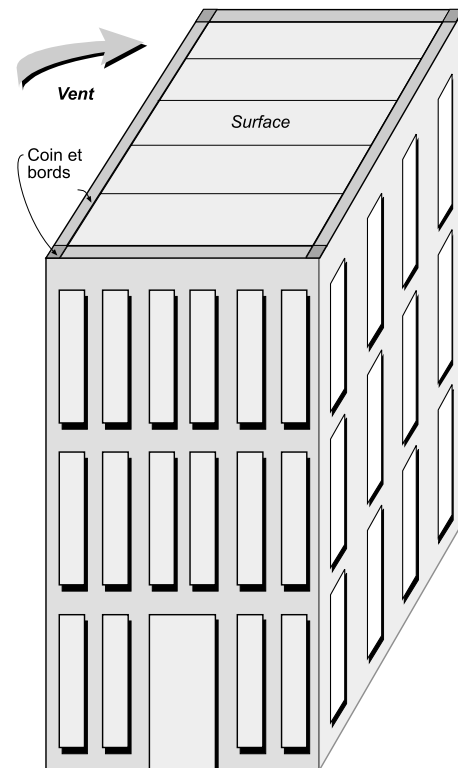


Figure 1b. Les toits d'immeubles à usage commercial, à profil presque plat et à parapet peu élevé, peuvent subir des pressions de succion localisées le long du périmètre du toit

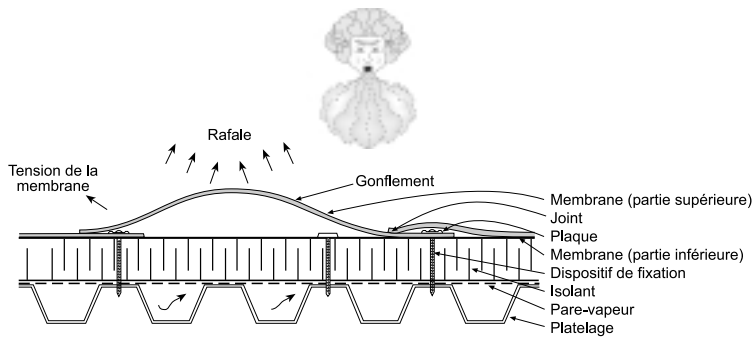


Figure 2. Effet du vent sur les toitures monocouches à ancrage mécanique

La succion produite sur n'importe quel point de la toiture est assujettie à la vitesse et à la direction du vent, à l'intensité de turbulence ou aux rafales, ainsi qu'à la topographie, à la géométrie et aux caractéristiques architecturales de l'immeuble; en outre, cet effet est variable dans le temps. Les toitures des immeubles à usage commercial, au profil presque plat et dont le parapet est peu élevé, sont susceptibles de subir de fortes pressions de succion localisées le long de leur périmètre (figure 1b).

Des membranes étanches sont fixées au platelage par des dispositifs de fixation (figure 2). Une autre couche de membrane chevauche les points d'ancrage et les couches supérieure et inférieure sont soudées l'une à l'autre. La succion causée par le vent soulève la membrane à maintes reprises entre les points d'ancrage, ce qui cause l'étirement et le gonflement de la membrane. L'intensité de la succion causée par le vent et les propriétés élastiques de la membrane déterminent l'amplitude du gonflement.

Chacun des composants de toit contribue à la résistance à la force d'arrachement du vent comme l'illustre le schéma des maillons de résistance à cette force (figure 3). Tous les maillons de résistance doivent rester interreliés pour que le système de couverture soit durable et reste en place. Il y a défaillance

lorsque la force d'arrachement du vent est supérieure à la résistance de l'un de ces maillons, quel qu'il soit. Par exemple, il y a défaillance de la toiture lorsqu'un dispositif de fixation (maillon 4) s'arrache du platelage même si la membrane et ses joints sont en bon état. Dans le même ordre d'idée, il est question de défaillance lorsqu'un joint (maillon 2) cède sous l'effet de rafales, alors que les autres composants restent intacts.

Essai et homologation des toitures monocouches

Lorsqu'il conçoit une nouvelle toiture, le concepteur consulte un code du bâtiment pour déterminer la pression du vent admissible de la région et sélectionne un type de couverture ainsi que des éléments (p. ex., espacement des dispositifs de fixation) convenant aux charges dynamiques climatiques de la région. Pour déterminer la fiabilité, les fabricants de systèmes monocouches mettent des échantillons à l'essai conformément aux méthodes uniformisées servant à certifier que les systèmes peuvent résister aux surcharges admissibles dues au vent. Cependant, les méthodes d'essai actuelles comportent des limites.

Méthodes d'essai nord-américaines

Les normes d'homologation actuellement utilisées en Amérique du Nord pour déterminer les valeurs d'arrachement sous l'action du vent des toitures monocouches comprennent celles qui sont utilisées par Factory Mutual (FM)⁵ et Underwriters' Laboratories⁷. Bien qu'elles soient faciles à mettre en application, ces normes visent les couvertures multicouches et ne simulent pas les charges dynamiques du vent qui causent la défaillance des toitures monocouches fixées mécaniquement.

Méthodes d'essai européennes

La méthode d'essai courante en Europe (Union européenne pour l'agrément technique dans la construction – UEAtc)⁴ simule mieux les conditions réelles de vent que les méthodes nord-américaines et, par conséquent, donne de meilleures estimations de la

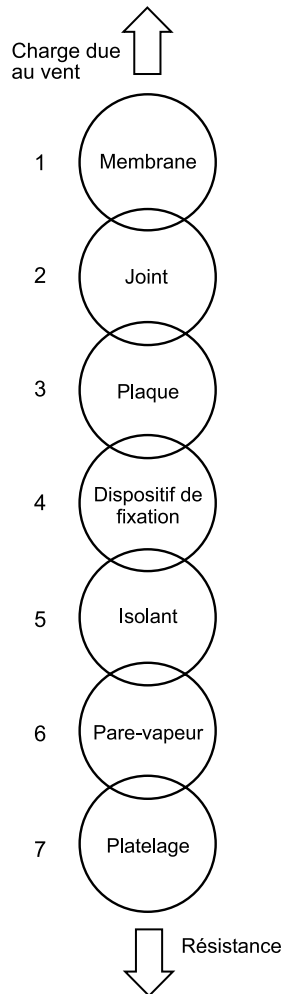


Figure 3. Schéma des maillons de résistance des toitures monocouches

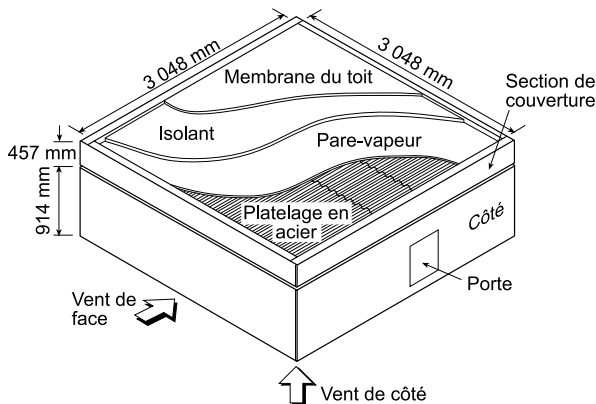


Figure 4. Modèle de soufflerie

résistance réelle des toits à l'arrachement sous l'action du vent. La méthode européenne utilise un cycle de charges de pression basé sur des données météorologiques de façon à simuler la charge dynamique du vent et tient compte de la hauteur et des bords du bâtiment; toutefois, la méthode est très chronophage. Par exemple, il faut près de trois heures pour exécuter un cycle de l'UEAtc comportant 1 415 rafales et l'étude complète des données peut prendre jusqu'à 50 heures.

Protocole d'essai SIGDERS

Pour élaborer une méthode d'essai plus efficace servant à homologuer les toitures monocouches à ancrage mécanique, l'IRC a

Le projet SIGDERS visait l'élaboration d'une méthode présentant les particularités suivantes :

- simuler les effets réels du vent
- reproduire les modes de défaillance observés dans des conditions réelles
- être plus facile à réaliser en laboratoire que cela ne l'est actuellement
- permettre des variantes dans la composition des toitures
- donner des résultats rapidement
- se conformer aux exigences de la plupart des codes du bâtiment nord-américains

formé un consortium appelé SIGDERS (Groupe d'intérêt spécial pour l'évaluation dynamique des systèmes de couverture).

La première phase de la recherche consistait à faire des essais en grandeur réelle sur des couvertures monocouches à membranes en PVC et en EPDM non renforcé (figure 4) en soufflerie. Des conditions de vent régulier et de rafales ont été simulées et les pressions ont été mesurées à différents endroits de façon à relever les fluctuations de la toiture monocouche.

La répartition moyenne type de la pression du vent de face et du vent latéral est illustrée à la figure 5. Les pressions causées par le vent sont négatives (suction) et plus élevées près des bords et des coins que sur la surface du toit. Les essais ont démontré que les membranes EPDM subissent une pression moyenne supérieure à celle subie par les

membranes en PVC exposées aux vents de face et obliques.

S'appuyant sur les résultats des essais en soufflerie, sur l'étude des normes existantes et des simulations par ordinateur et grâce à l'installation d'essai dynamique de systèmes de couverture de l'IRC, les chercheurs de l'IRC ont mis au point une méthode d'essai qui permet de soumettre les systèmes de couverture à n'importe quelle pression du vent admissible. Cette méthode³, représentée à la figure 6, comporte huit séquences de charge pendant lesquelles un système de couverture est soumis à des rafales simulées. Les séquences de charge sont regroupées en cinq niveaux différents (A à E).

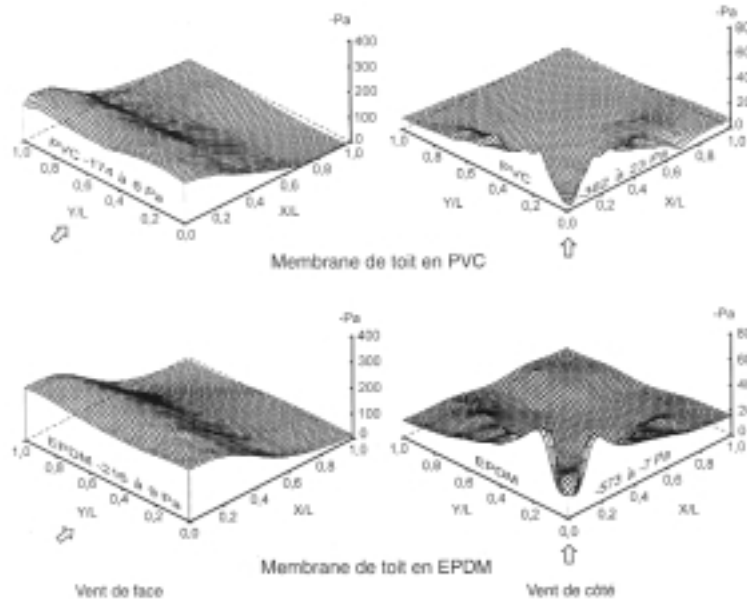


Figure 5. Répartition des pressions du vent mesurées en soufflerie sur toits grandeur nature

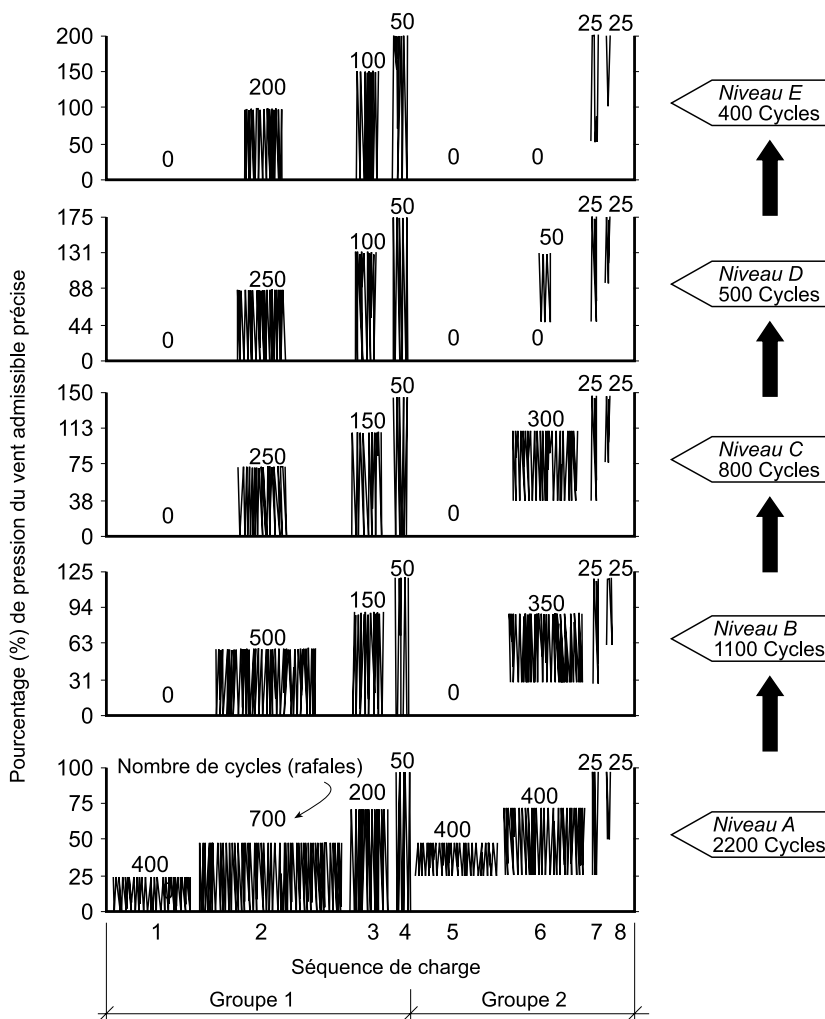


Figure 6. Cycle de charge aérodynamique du SIGDERS

Chaque niveau d'essai compte deux groupes de cycles : cycles du groupe 1 simulant la *suction causée par le vent* sur une toiture et cycles du groupe 2 simulant les *effets des fluctuations du vent* combinées à une pression intérieure constante sur un immeuble. Chaque groupe consiste en quatre séquences de charge dans lesquelles la pression oscille entre zéro et une pression déterminée. Les variations de pression interne permises sont explicitement indiquées dans les normes nord-américaines sur les vents ainsi que dans le Code national du bâtiment (CNB)^{1,6}, et sont prises en considération dans le protocole d'essai SIGDERS.

Chacune des séquences de charge est exécutée à une pression correspondant à un pourcentage de la pression du vent admissible stipulée par les codes du bâtiment et les

normes applicables pour un type d'immeuble donné à un endroit particulier. Au commencement, les pressions sont les plus basses et augmentent graduellement d'un niveau à l'autre. Par exemple, les essais du niveau A comprennent une séquence de 400 cycles (rafales) à 25 % de la pression du vent admissible, une autre séquence de 700 cycles à 50 % de la pression éolienne admissible, et ainsi de suite pour un total combiné de 2 200 cycles.

Pour évaluer la résistance maximale du système de couverture, les essais commencent au niveau A. Si tous les maillons de résistance (figure 3) restent interreliés, on considère que le toit a « réussi » l'essai et on lui attribue une cote. L'essai passe au niveau suivant, niveau auquel la pression augmente (voir figure 6).

Comparaison des protocoles d'essai

L'installation d'essais dynamiques de systèmes de couverture de l'IRC, utilisée pour l'élaboration du cycle de charge SIGDERS, a permis de comparer les résultats obtenus au moyen du cycle de charge SIGDERS à ceux des méthodes de l'UEAtc et de FM. Le tableau 1 établit la comparaison entre les paramètres et les attributs d'essai et les protocoles d'essai FM⁵, UEAtc⁴ et SIGDERS². Comme l'illustre le tableau, le protocole

d'essai de charges dynamiques SIGDERS touchant les toitures monocouches reproduit les modes de défaillance semblables à ceux du protocole UEAtc, mais il présente plusieurs avantages supplémentaires, notamment la prise en considération du flottement de la membrane et la réduction considérable de la durée d'exécution des essais.

Avantages du protocole d'essai SIGDERS

Le soutien au projet SIGDERS apporté par les associations de couvreurs a fait découvrir un besoin réel de nouvelles méthodes qui garantissent que les systèmes de couverture résistent à de fortes rafales de vent. Le nouveau protocole d'essai permet d'éliminer les limites des méthodes d'essai actuelles. Le protocole a été présenté à

Tableau 1. Caractéristiques des méthodes d'essai de FM, de l'UEAtc et du SIGDERS

Paramètre	FM	UEAtc	SIGDERS
Données source	s.o.	Données climatiques sur le vent	Antécédents de pressions sur les toits
Rapport avec la vitesse du vent	Oui	Non	Oui
Rapport avec les codes et normes applicables	Non	Non	Oui
Pression interne	Non	Non	Oui
Fluctuations reliées aux fréquences élevées	Non	Oui	Non
Flottement de membrane	Non	Non	Oui
Durée de l'essai*	< 0,5 heure	55 heures	5 heures
Nombre maximal de rafales	s.o.	Non	5 000
Rafales de faible intensité (<40 % de la pression d'essai)	s.o.	71 % des cycles d'essai	18 %
Rafales d'intensité moyenne (40-75 % de la pression d'essai)	s.o.	28 % des cycles d'essai	68 %
Rafales de forte intensité (>75 % de la pression d'essai)	s.o.	1 % des cycles d'essai	14 %
Correction de température	Non	Oui	Non
Correction de taille d'échantillon	Non	Oui	Oui
Produit final	Évaluation statique	Charge admissible d'attache	Évaluation dynamique
*Varie selon le système de couverture			

l'Association canadienne de normalisation afin qu'elle l'adopte comme norme nationale au Canada. Il est probable que d'autres instances nord-américaines profiteront également de ces travaux de recherche. Le protocole d'essai fournit aux fabricants l'assurance que leurs produits ont été efficacement mis à l'essai et aux propriétaires d'immeubles que les toitures bénéficient d'une durée utile accrue.

SIGDERS a récemment publié un rapport² décrivant les méthodes d'utilisation du cycles de charges dynamiques, d'installation de toitures et d'établissement des rapports sur les données d'essai. Lorsque le protocole d'essai SIGDERS sera devenu une norme nationale, les fabricants seront en mesure de faire tester leurs produits et, après les homologations nécessaires, les concepteurs pourront préciser les toitures qui respectent les exigences SIGDERS.

Résumé

Le nouveau protocole d'essai SIGDERS a été mis au point par l'IRC en collaboration avec les fabricants, les propriétaires d'immeubles et les associations de couvreurs; il doit faciliter l'évaluation de la résistance maximale d'un système de couverture à membrane souple exposé à des charges dynamiques. Après avoir été mis en œuvre à titre de norme nationale, le protocole devrait améliorer la prévisibilité et la durée utile des couvertures.

Ouvrages de référence

1. ASCE. « Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures ». Norme ASCE 7-98, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 1997, p. 13.
2. Baskaran, A. et Nabhan, F. Méthode d'essai normalisée pour la résistance dynamique à l'arrachement dû au vent des systèmes de couverture à membranes attachées mécaniquement, Rapport interne IRC-IR 699, Conseil national de recherches du Canada, Institut de recherche en construction, Ottawa, 2000.

3. Baskaran, A. et Chen, Y. « Wind Load Cycle Development for Evaluating Mechanically Attached Single-Ply Roofs », *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 77-78, 1998, p. 83-96.
4. Baskaran, A. et Lei, W. « A New Facility for Dynamic Wind Performance Evaluation of Roofing Systems ». Débats du quatrième symposium international sur les techniques de couverture, NRCA/NIST, Washington, DC, 1997, p. 168-179.
5. Factory Mutual Research, Approval Standard: Class I Roof Covers (4470), avril 1986.
6. Code national du bâtiment du Canada 1995, Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa. Aussi, Commentaires sur le calcul des structures (partie 4).
7. Underwriters' Laboratories Inc., Standard for Uplift Pressure of Roof Assemblies (UL 560), 1996.

Composition du consortium SIGDERS :

Fabricants

Atlas Roofing Corporation
 Canadian General Tower Ltd.
 Carlisle SynTec Incorporated
 GAF Materials Corporation
 GenFlex Roofing Systems
 Firestone Building Products Company
 IKO Industries Ltd.
 Johns Manville
 Sarnafil
 Soprema Canada
 Stevens Roofing Systems
 Vicwest Steel

Propriétaires d'immeubles

Société canadienne des postes
 Ministère de la Défense nationale
 Travaux publics et Services
 gouvernementaux Canada

Associations

Association canadienne des
 entrepreneurs en couverture
 Institut canadien de la tôle d'acier
 pour le bâtiment
 Industrial Risk Insurers
 National Roofing Contractors'
 Association
 Roof Consultants Institute

A. Baskaran, Ph.D., est agent de recherche principal au sein du programme Enveloppe et structure du bâtiment, à l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches du Canada.

© 2002
 Conseil national de recherches du Canada
 Novembre 2002
 ISSN 1206-1239