

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Pressions du vent et phénomènes d'aspiration sur les toits Dalglish, W. A; Schriever, W. R.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40002052>

Digeste de la construction au Canada; no. CBD-68F, 1967-10-01

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=f548112e-b5f0-4420-97ae-5e348d464243>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=f548112e-b5f0-4420-97ae-5e348d464243>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

CBD 68F

Pressions du vent et phénomènes d'aspiration sur les toits

Publié à l'origine en octobre 1967

W.A. Dalglish et W.R. Schriever

Veillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

Les toits des maisons sont exposés au danger d'endommagement lorsque le vent souffle avec une violence d'ouragan. La plupart des personnes ont une notion vague de ce fait, mais ignorent la nature et la répartition des forces engendrées par le vent. La question est complexe; une étude correcte de toit doit cependant reposer sur une connaissance suffisante de la circulation de l'air autour des bâtiments. L'objet du présent digeste est d'aider le lecteur à l'acquérir.

Les effets les plus frappants de l'action du vent sur les toits consistent dans les dommages causés par des vents extrêmement violents. Leur étude permet de tirer trois enseignements:

1. Il arrive souvent que des toits entiers soient soulevés et arrachés d'un bâtiment; le vent doit donc exercer sur les toits de puissants efforts de soulèvement plutôt que des pressions.
2. Les dommages sont souvent concentrés sur de petites sections voisines des angles et des faîtes. Les forces exercées par le vent ne sont donc pas uniformément réparties, mais présentent des valeurs extrêmes dans certaines zones.
3. Les dommages sont parfois limités au revêtement externe du toit (bardeaux ou multicouche) et n'affectent pas la totalité de l'assemblage qui constitue la toiture. Il doit donc exister une différence de pression entre les deux faces du revêtement d'étanchéité du toit plutôt que de part et d'autre de l'ensemble de la toiture.

Les pressions positives du vent, c'est-à-dire les forces exercées sur le toit et dirigées vers le bas, n'engendrent presque jamais de dommages. S'il arrive qu'elles prennent naissance, elles sont normalement neutralisées par le fait que les toitures canadiennes sont prévues pour résister aux pressions vers le bas exercées par la neige.

Les dommages causés à la construction par des vents très violents (heureusement assez rares) constituent l'effet le plus visible du vent sur les toits, mais les vents modérés jouent eux aussi

un rôle dans la situation d'ensemble. On doit également tenir compte des mouvements de l'air à travers les espaces vides des combles. Il peut d'autre part exister des ouvertures, soit ménagées à dessein, soit dues à des causes accidentelles. Les mêmes systèmes de pressions engendrés par le vent, auxquels sont dues les charges supportées par les constructions, peuvent donc, même en cas de vitesse modérée du vent, contraindre l'air à s'écouler des régions de haute pression vers les régions de basse pression. Aussi faut-il tenir compte du facteur vent lorsqu'on choisit les dimensions et situations des ouvertures de ventilation. Des cas divers peuvent naturellement se présenter. C'est ainsi qu'en cas de faibles vitesses du vent, la surpression produite par appareillage mécanique et régnant à l'intérieur du bâtiment peut être du même ordre de grandeur que les différences de pression dues au vent. Il en est de même de l'effet de tirage en hiver. En principe, cependant, il est préférable de placer les orifices d'évacuation dans des zones où règne un état d'aspiration continue, c'est-à-dire indépendante de la direction du vent.

Répartition des pressions sur les toits

Les *valeurs absolues* des pressions et aspirations sont proportionnelles au carré de la vitesse du vent. Mais il importe de noter que, pour la plupart des constructions et bâtiments à "arêtes vives", la *répartition* des pressions et aspirations ne varie pas avec la vitesse. On peut aisément exprimer les répartitions des pressions indépendamment des vitesses du vent en divisant les pressions induites par le vent par la "pression de stagnation", $\frac{1}{2} \rho v^2$ où ρ représente la densité de l'air et v la vitesse du vent.

La pression de stagnation représente l'énergie cinétique totale du vent; on l'utilise comme valeur de base de la pression dans les calculs d'architecture. C'est celle qui s'exerce sur une surface perpendiculaire au vent lorsque cette surface contraint le vent à demeurer complètement "stagnant". Pour calculer les pressions ou dépressions réelles exercées par le vent sur des surfaces de bâtiments, on multiplie les pressions de stagnation par des coefficients de pression ou facteurs de forme convenablement choisis d'après la surface étudiée. On mesure les pressions et dépressions par rapport à la pression barométrique dans l'écoulement d'air non perturbé, à laquelle on attribue la valeur de zéro de référence. La répartition des pressions est loin d'être uniforme, mais, en vue de simplifier les calculs lors d'un projet de construction, on utilise des coefficients moyens de pression applicables aux surfaces totales des toits et des murs.

On trouve, dans le supplément n° 3 au Code national de la construction, des coefficients de pression convenant à des formes particulières de bâtiments. Ils ont été déduits d'essais sur maquettes en soufflerie. Pour une situation géographique déterminée, il est également nécessaire de disposer de données météorologiques; elles indiqueront la vitesse de vent à utiliser dans les études de bâtiments. Des recherches sur les lieux sont enfin parfois recommandables. Elles permettent de déterminer le cas échéant les effets de protection contre le vent, ou de guidage du vent dans des étranglements, que pourraient produire sur le bâtiment à construire les constructions existant dans le voisinage.

Il ressort de ce qui précède que l'exécution d'un dessin de toit tenant compte des effets du vent est une tâche très difficile exigeant la collaboration de trois différents spécialistes. S'il ne dispose pas de données techniques, l'architecte est insuffisamment armé pour préparer des plans. Mais il lui incombe de toutes manières de se procurer et d'utiliser toutes informations nécessaires pour préparer un projet de toit. Il arrive que les données dont il a besoin ne soient pas disponibles ou ne puissent être obtenues que par des essais en soufflerie aérodynamique. Dans tous les cas le travail du projeteur sera grandement facilité s'il possède de bonnes connaissances de base. Elles doivent porter sur les lois régissant la répartition des pressions sur les bâtiments, ainsi que sur les lieux et époques où peuvent survenir des conditions atmosphériques causant un sérieux danger potentiel.

Notions de base

La figure n° 1 représente le cas le plus simple d'un élément à arêtes vives faisant obstruction à un écoulement d'air au-dessus du sol. L'élément obstrucateur est un mur infiniment long, de

sorte que l'écoulement d'air n'est que bi-dimensionnel. Le mur modifie la quantité de mouvement de l'écoulement en repoussant vers le haut les filets fluides. Il en résulte une pression positive sur le mur. Il existe, en avant du mur de la figure n° 1, une région tourbillonnaire triangulaire, où l'air emprisonné est soumis à une pression qui est positive si on la compare à la pression régnant dans l'écoulement d'air non perturbé.

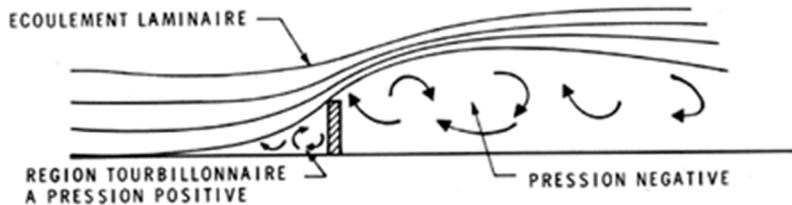


Figure 1. Ecoulement de l'air au-dessus d'un mur de grande longueur.

Les filets fluides indiquent non seulement la direction de l'écoulement d'air, mais aussi les changements de vitesse. Plus ils sont serrés, plus grande est la vitesse dans la section considérée. Ceci résulte de ce qu'à hauteur d'une section quelconque, la même quantité de fluide doit passer entre deux filets fluides. En tout point d'un écoulement laminaire, la pression peut être calculée en fonction de la vitesse des particules; l'énergie totale, somme de l'énergie cinétique et de l'énergie due à la pression, est en effet constante.

Les relations mathématiques entre les vitesses d'un point à un autre, de même que la constance de l'énergie totale, ne peuvent pas toujours être utilisées pour calculer la répartition des pressions. Ce calcul n'est possible que si le courant de fluide se partage entre une zone d'écoulement laminaire, et une zone de turbulence contenant l'élément obstrucuteur. Si cet élément affecte une forme aérodynamique, les filets fluides peuvent longer sa surface. Il ne se forme pas dans ce cas de régions tourbillonnaires.

Bien qu'on ne puisse ordinairement pas en obtenir une connaissance exacte, la forme de la couche-limite séparant les régions tourbillonnaires des régions à écoulement laminaire devrait en principe intervenir dans le calcul des vitesses et pressions. En pratique, lorsqu'on étudie les répartitions des pressions sur des formes à arêtes vives, on ne recourt pas à l'analyse mathématique; on utilise de préférence des expériences en soufflerie sur maquettes à l'échelle. Si les idées qui précèdent ont été exposées, ce n'est pas en vue de permettre au lecteur de calculer les distributions des pressions, mais seulement pour lui donner une description qualitative de l'écoulement de l'air autour des bâtiments. Il lui sera ainsi plus aisé de comprendre la signification des répartitions de pression que révéleront les essais en soufflerie.

Concernant l'emploi des notions de base qui précèdent, la suggestion ci-après pourra être utile, car elle fournit une représentation visuelle des points où se produisent les pressions et les aspirations. Partout où la couche-limite de l'écoulement laminaire est repoussée vers le haut, il se produit une pression; si, au contraire, elle est repoussée vers le bas, une aspiration prend naissance. Plus la courbure de la couche-limite est accentuée, plus les pressions ou aspirations ont des valeurs élevées.

Applications des notions de base

On peut voir sur la figure n° 1 la forme réelle de l'élément faisant obstruction à l'écoulement de l'air. Il s'agit de matériaux faisant saillie dans la trajectoire de l'écoulement d'air perpendiculairement à la direction de celui-ci. On constate que les filets fluides sont déformés exactement comme si l'élément avait la forme d'une bosse à surface lisse. Les perturbations ainsi créées dans "l'écoulement aérodynamique" donnent lieu à la naissance, à l'avant, d'une région tourbillonnaire à surpression, et, à l'arrière, d'une région tourbillonnaire plus grande à pressions négatives.

Dans le cas de la figure n° 2, l'écoulement est encore bi-dimensionnel. On a représenté un bâtiment entier dont le toit est en pente assez raide pour faire saillie dans la couche-limite de l'écoulement d'air, constituée par le mur de façade seul. Cette situation a pour effet de

repousser davantage encore vers le haut l'écoulement laminaire, de sorte que la pente du toit faisant face au vent est soumise à une pression. Si l'inclinaison du toit diminue, on atteint d'abord une position dans laquelle la pression sur cette rampe devient nulle. Si l'inclinaison décroît encore, la couche-limite du courant est d'abord aspirée vers le bas tandis que l'écoulement d'air continue le long de la pente. La pression se transforme alors en aspiration. Si l'inclinaison décroît davantage, de fortes aspirations locales prennent naissance près de l'avant-toit. Comme le montre la figure n° 3, il se forme soudainement une troisième région tourbillonnaire à fortes pressions négatives.

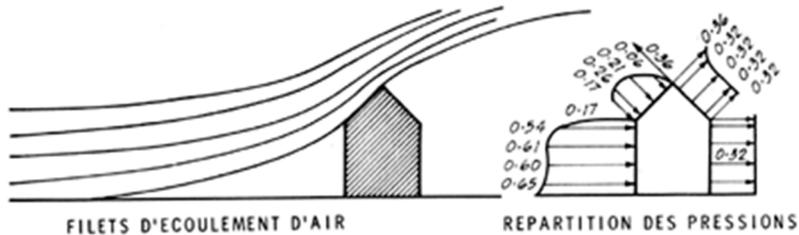


Figure 2. Ecoulement bi-dimensionnel de l'air au-dessus d'un bâtiment (d'après Jensen).

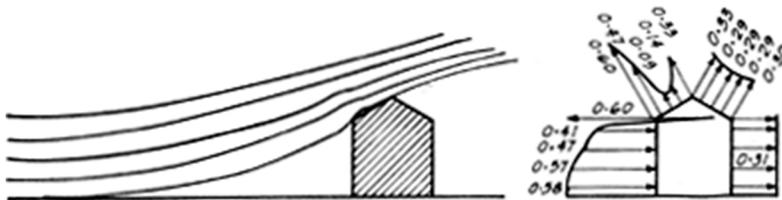


Figure 3. Décollement à l'avant-toit produisant une forte aspiration (d'après Jensen).

Lorsqu'un certain angle critique de pente est atteint, les valeurs maximales d'aspiration se produisent. Si l'angle décroît davantage, la force d'aspiration se relâche. Il en est ainsi lorsque le petit tourbillon fusionne avec le "sillage" plus grand du bâtiment. La toiture entière se trouve alors plongée complètement, dans une région où l'aspiration est assez uniforme et de force modérée. S'il survient, dans cette région, d'autres changements de pente ou de forme, les pressions n'en sont pas grandement affectées.

Adjonction de la troisième dimension

Dans le cas d'un écoulement tri-dimensionnel de fluide, le courant laminaire normal est dévié aussi bien autour des côtés qu'en dessus du bâtiment. Il se produit une séparation aux angles vifs et, sous certaines orientations du vent, il existe une possibilité de réaccrochage du courant aux murs latéraux. Certains paramètres jouent un rôle important dans la détermination de la forme de l'écoulement d'air. Ce sont les rapports existant entre hauteur et largeur du bâtiment, ainsi qu'entre largeur et longueur. A titre d'exemple, la pente critique correspondant à l'aspiration maximale s'exerçant sur le toit (écoulement d'air perpendiculaire aux avant-toits) pour un bâtiment de 100 pieds de largeur et de 250 pieds de longueur sera de 5 degrés pour une hauteur de 12 pieds, 20 degrés pour une hauteur de 100 pieds, et 30 degrés pour une hauteur de 200 pieds.

C'est principalement dans le cas de toits longs et à faible pente que les aspirations maximales se produisent près de l'angle exposé au vent et lorsque celui-ci souffle dans une direction formant un angle de 45 à 50 degrés avec l'avant-toit. C'est ce que représente la vue en plan de la figure n° 4, où sont reportées les isobares. Près d'un angle, on peut observer des aspirations de pointe atteignant -4 fois la pression de stagnation du vent. Un fort tourbillon à pression négative prend en effet naissance à hauteur de l'angle, lorsque l'écoulement d'air s'incurve vers le haut et au-dessus des deux murs exposés au vent, et se divise à hauteur de l'arête vive. Si le toit est long, l'écoulement d'air peut être aspiré de nouveau vers le bas et se réaccrocher à la surface du toit. La région tourbillonnaire est ainsi effectivement emprisonnée de tous côtés. Il

ne peut alors survenir le long du toit aucune inversion d'écoulement qui aurait pour effet de réduire la forte aspiration.

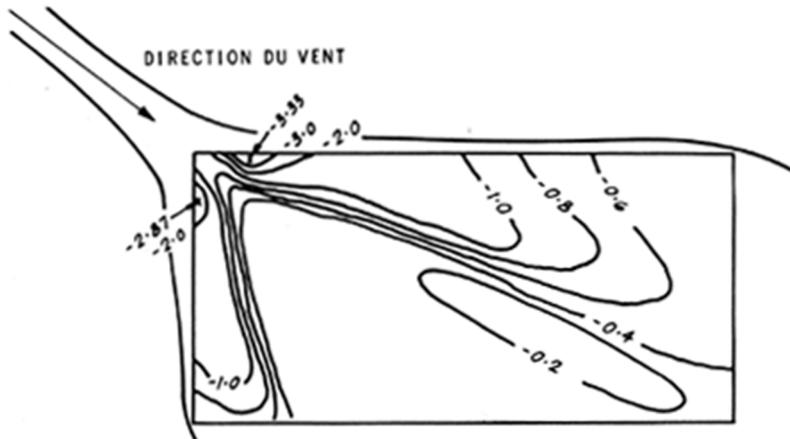


Figure 4. Vue en plan du toit avec répartition des pressions négatives indiquées par les isobares (d'après Leutheusser).

Parapets

On n'a jusqu'à maintenant étudié dans le présent digeste que le cas de toits ne présentant ni parapets ni porte-à-faux. Ces éléments exercent cependant une influence considérable sur la répartition des pressions. Des essais sur maquettes exécutés récemment à l'Université de Toronto indiquent que les parapets peuvent contribuer à réduire les fortes aspirations précédemment décrites. A condition que sa hauteur soit adéquate, un parapet provoque un relèvement de l'écoulement d'air et des couches-limites. La hauteur de ce relèvement peut être assez grande pour empêcher le réaccrochage de celles-ci à la surface du toit. Il se forme ainsi une seule grande région tourbillonnaire "absorbant" la petite région existante qui est solidement emprisonnée.

Si, d'un autre côté, le parapet est trop bas, les aspirations locales peuvent devenir encore plus fortes. A la suite d'essais sur maquettes effectués à l'Université de Toronto, on a mis au point une formule empirique permettant de choisir la hauteur de mur du parapet en fonction des dimensions de la construction. C'est ainsi qu'un bâtiment large de 50 pieds long de 100 pieds et haut de 25 pieds, exige un mur de parapet haut de 5 pieds pour réduire les valeurs maximales locales de l'aspiration de -3.3 à -1.2.

Pressions intérieures

Il a été tacitement admis dans ce qui précède que la pression intérieure du bâtiment égalait la pression barométrique dans l'écoulement non perturbé, c'est-à-dire le niveau de référence ou pression de "référence". Cette hypothèse ne serait cependant exacte que si le bâtiment était hermétiquement fermé, ou si les "fuites" étaient réparties assez uniformément, c'est-à-dire en proportions convenables entre les régions de surpression et les régions d'aspiration. Si les ouvertures prédominent dans une région d'aspiration, la pression intérieure tend à se transformer en aspiration. Si par contre les ouvertures sont principalement situées sur le côté exposé au vent, la pression intérieure deviendra positive.

Positive ou négative, la pression intérieure joue, en ce qui concerne les forces résultantes de soulèvement, un rôle dont l'importance est évidente. Pour prendre un exemple extrême, un hangar d'aéroport, dont les grandes portes sont ouvertes sur le côté faisant face au vent, est soumis à la pression positive de la région tourbillonnaire frontale existant sous le toit. Cette pression s'ajoute à l'aspiration extérieure pour créer une poussée vers le haut. L'effet serait inversé si le vent provenait de la direction opposée. Pour cette raison, et bien qu'évidemment la poussée critique de soulèvement dépende largement de la pression intérieure, il y a lieu, lors de l'exécution des plans, de tenir compte des vents provenant de toutes les directions. Il

importe de connaître avec certitude les éléments du toit qui sont effectivement soumis à des différences de pression. Dans le cas où un élément étanche à l'air ne serait pas simultanément soumis à une charge, des difficultés pourraient se produire.

Conclusion

On s'est proposé, dans le présent digeste, de présenter les notions de base relatives aux effets du vent sur les toitures d'une manière telle que les architectes puissent immédiatement assimiler les exposés détaillés sur la question et apprécier l'influence des différents facteurs qui entrent en jeu. Le cas des tornades mis à part, les charges dues au vent ne donnent pas naissance au Canada à des problèmes particulièrement difficiles pour l'exécution correcte de plans de toitures. Il importe cependant que la nature et les lois fondamentales du phénomène soient comprises. Il est également important de se rappeler que, même si le vent ne souffle pas assez fort pour engendrer des pressions sérieuses sur une construction, il n'en existe pas moins des aspirations et des pressions capables de perturber sérieusement l'efficacité d'une toiture, d'échappement de ventilateurs, d'aérateurs et d'appareils similaires. Rien, dans toutes ces situations, ne peut remplacer une saine compréhension de ce qui se produit réellement lorsque le vent souffle autour d'un bâtiment.

Bibliographie

1. Jensen, M. and N. Franck. Model-Scale Tests in Turbulent Wind. Part II, Phenomena Dependent on the Velocity Pressure; Wind Loads on Buildings. The Danish Technical Press, Copenhagen, 1965.
2. Leutheusser, H. J. The Effect of Wall Parapets on the Roof Pressure-Coefficients of Block-Type and Cylindrical Structures. University of Toronto, Department of Mechanical Engineering, TP 6404, April 1964.
3. Davenport, A. G. Wind Loads on Structures. Division of Building Research, National Research Council, Canada. NRC 5576, March 1960.