

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

La sécurité et les charpentes

Allen, D. E.

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/10.4224/40001028>

Digeste de la construction au Canada, 1973-04

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

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=1a4ca6a8-c80a-44cb-b07c-6e6b013f2d7e>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=1a4ca6a8-c80a-44cb-b07c-6e6b013f2d7e>

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 147F

La sécurité et les charpentes

Publié à l'origine en avril 1973

D. E. Allen

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.

Une des exigences fondamentales visant les ouvrages de génie civil veut qu'ils ne s'effondrent pas, provoquant ainsi la mort, des blessures ou des pertes matérielles. On ne peut cependant garantir l'observation absolue de cette exigence. Des ouvrages se sont déjà effondrés, et même en tenant compte des progrès accomplis dans le domaine de la technologie, d'autres ouvrages connaîtront le même sort. Le présent Digest se propose d'étudier les risques inhérents, les raisons principales qui provoquent les effondrements et l'attention qu'apportent les ingénieurs en construction à circonscrire ces risques. En conclusion, le Digest énumère, à l'intention des concepteurs et des entrepreneurs, une série de causes particulières qui ont provoqué la plupart des effondrements d'ouvrages d'art au Canada.

Risques

L'effondrement des ouvrages d'art constitue un risque réel de mort ou de blessures, mais ce risque est faible comparé aux dangers encourus à la suite d'incendies de bâtiments, de déplacements en voiture ou de l'abus du tabac. Le Tableau I met en parallèle les taux de mortalité, par année, pour un canadien "type". Chaque individu peut réduire la plupart des risques en recourant à divers mécanismes de défense, par exemple, en évitant de fumer ou en nageant plus prudemment. Toutefois, il a très peu de pouvoir sur les effondrements d'ouvrages d'art; et c'est pourquoi les risques de mortalité par année devraient être maintenus à un très bas niveau, pas plus d'un par million. Bien que le risque de mortalité à la suite d'un effondrement au Canada d'un ouvrage complété soit généralement très faible, il est élevé pendant les travaux et plusieurs ouvriers du bâtiment ont été tués ou blessés au cours de la construction (Tableau I).

Tableau I. Risque de mortalité dû à diverses activités

Activité ou danger	Mortalité, par million de personnes,	Heures d'exposition, par année, pour un	Pourcentage de risques par année
--------------------	--------------------------------------	---	----------------------------------

	par heure d'exposition	individu typique	
Déplacement en automobile (données internationales)	1.04	340	0.036
Natation	3.50	20	0.007
Usage du tabac	2.60	200	0.052
Incendies de bâtiments			0.003
Effondrement (1)Travailleurs en construction (Ontario)			0.003
(2)Tous les autres (Canada)			0.00002
Total :			
(1) Pour les travailleurs en construction "fumeurs"			0.101
(2) Pour les employés de bureau "non fumeurs"			0.046

Les journaux rapportent beaucoup plus d'effondrements d'ouvrages d'art au Canada que de décès résultant de ces causes: trois décès par année, à l'exclusion de ceux des ouvriers en bâtiment, comparativement à plus de 50 effondrements. Une des raisons qui expliquent cette différence est le facteur de sécurité inhérent au design (fail-safe nature), ce qui empêche l'effondrement total de se produire ou le retarde suffisamment pour permettre l'évacuation.

Effondrements et Causes

Les effondrements les plus spectaculaires à travers le monde se sont produits au cours de catastrophes, comme des tremblements de terre importants, des inondations, des ouragans et des tornades. D'autres effondrements moins remarquables parce que sporadiques surviennent durant la construction, sous des charges de neiges excessives, pendant des orages, ou plus souvent par suite de conception erronée ou de fabrication défectueuse. Voici les causes principales d'effondrement.

Charges excessives pendant les catastrophes

Autrefois, on croyait qu'il n'y avait rien à faire pour empêcher les effets catastrophiques des gros tremblements de terre, des ouragans, des tornades ou des inondations; ces désastres étaient généralement considérés comme des causes naturelles incontrôlables. On reconnaît aujourd'hui qu'il est possible de réduire considérablement le nombre de cas de mortalité et de blessures encourues au cours de catastrophes, grâce à une conception et une construction adéquates. Un tremblement de terre assez important en Iran a tué environ 10,000 personnes surtout parce que les bâtiments étaient du -type adobe, le pire au point de vue de la résistance aux tremblements de terre. Un séisme semblable est survenu à Los Angeles, où périrent 60

personnes, dont la plupart se trouvaient à l'intérieur de bâtiments vétustes qui n'avaient pas été conçus de façon à résister à pareilles catastrophes.

Même avec la meilleure conception, une surcharge vraiment importante ou une charge inhabituelle, telle qu'une explosion ou un écrasement d'avion fera certainement périr ou blessera quelques personnes. Néanmoins, le risque reste faible, si on le compare à d'autres dangers qui nous guettent tous les jours (Tableau I).

Manque de connaissances techniques

Dans le passé, un grand nombre d'effondrements ont été le résultat d'un manque de connaissances techniques. Une connaissance insuffisante de la résistance des poteaux en treillis a contribué à l'effondrement du pont de Québec. Une connaissance insuffisante de l'instabilité aérodynamique a été la cause de l'effondrement du pont suspendu de Tacoma. On trouve des exemples de rupture causée par fatigue ou fragilité, comme celle des cargos Liberty pendant la seconde guerre mondiale.

Dans quelques cas, on peut partiellement blâmer l'ambiguïté de certains règlements du code. On a attribué la rupture des tours de refroidissement de Ferrybridge en Angleterre, par grands vents, en grande partie à l'application stricte de la contrainte admissible, qui ne garantit pas une sécurité suffisante advenant un renversement de contrainte, par exemple, lorsque la traction due au vent dépasse la compression due à la charge permanente.

Erreurs de conception ou de fabrication

A mesure que les connaissances techniques progressent, les erreurs deviennent de beaucoup la principale cause d'effondrements d'ouvrages d'art particulièrement dans des pays avancés au point de vue technologique comme le Canada. Une erreur, dans ce contexte, veut dire une erreur ou oubli important et non une simple erreur de calcul ou un écart de construction. Ces erreurs sont faites par des individus, des concepteurs, des fabricants, des entrepreneurs, ou encore des autorités responsables de la vérification des plans ou de l'inspection d'une construction. Dans la plupart des cas, l'effondrement est dû non pas à une, mais à plusieurs erreurs et habituellement plus d'une personne en sont plus ou moins responsables. Étant donné que les vérifications et la communication entre les responsables sont des activités inhérentes à la conception et à la construction, il arrive dans la plupart des cas que la responsabilité des erreurs est partagée. Parmi les exemples notables d'effondrements de charpentes attribués à des erreurs, mentionnons le Heron Road Bridge, à Ottawa, en 1966; le Second Narrows Bridge, à Vancouver, en 1958; le pont de Québec, en 1907 et 1916; et le Union Carbide Building, à Toronto, en 1958.

Sécurité dans la conception et la construction

A venir jusqu'à environ deux cents ans, la conception et la construction des ouvrages était basée sur l'expérience. On bâtissait d'après un concept, et à la suite de l'expérience acquise parfois au prix d'accidents mortels, les plans et la méthode de construction étaient modifiés, jusqu'à élaboration d'une solution satisfaisante, c'est-à-dire jusqu'à ce que la construction s'avère économique et que les risques d'effondrement soient minimisés. Cette méthode de conception et de construction était ensuite reprise pour plusieurs ouvrages, avec parfois de légères modifications, puis elle était transmise de génération en génération par voie d'apprentissage. Les cathédrales médiévales d'Europe en sont des exemples notables, de même que les ponts et aqueducs romains. Plusieurs règles empiriques ont été élaborées de cette façon. On peut dire, au crédit des entrepreneurs des premiers siècles, que certaines sont encore en usage. Le temps requis pour mettre au point une méthode de conception et de construction, la possibilité d'accidents graves sur les chantiers pendant la période d'essai, et les difficultés à mettre l'expérience au profit de nouveaux types de construction ou de structures inhabituelles sont des inconvénients évidents.

Aujourd'hui, la conception de la plupart des constructions se fait par une méthode plus directe et plus rationnelle, qui suppose une connaissance de la mécanique de Newton, des forces externes ou des charges agissant sur la structure et du comportement des matériaux. L'idée

fondamentale est de faire une structure suffisamment solide pour résister aux charges qui y seront appliquées. Toutefois, on ne peut toujours prévoir les charges et la résistance de la charpente et c'est là où le risque intervient. Afin de réduire ce risque d'effondrement à un niveau acceptable, les codes du bâtiment et les normes de construction prévoient et stipulent des coefficients de sécurité, c'est-à-dire un rapport entre la résistance calculée et les charges appliquées. Le Tableau II donne quelques coefficients de sécurité utilisés dans le Code national du bâtiment du Canada (1970) (1). Ils sont le fruit de l'expérience, et ont été graduellement réduits au cours des années, grâce aux connaissances acquises et à la qualité de l'ouvrage.

Tableau II. Coefficient de sécurité du code national du bâtiment (Canada), 19970

Types de construction	Coefficient de sécurité de base
Acier et aluminium	
Résistance élastique ou résistance plastique	1.67
Flambement élastique	1.92
Boulons	2.50
Bétons armé	1.7 à 2.0
poutres et dalles - flexion	1.8 à 2.1
- cisaillement	2 à 2.4
Poteaux	
Maçonnerie	3 et plus
Bois	Les contraintes permises vont d'après l'expérience
fondations	3

De nos jours, il se fait des efforts considérables dans le domaine de la recherche, qui ont pour but d'établir des critères de sécurité basés plus directement sur les risques et les conséquences d'effondrement. On doit cependant se rendre compte que les erreurs sont la cause principale des effondrements d'ouvrages d'art, et que les coefficients de sécurité, quelle que soit la façon dont ils sont établis, ne sont pas d'un grand secours pour prévenir les effondrements qui en résultent.

Erreurs

Les erreurs qui provoquent les effondrements sont faites par ceux qui conçoivent, construisent ou utilisent l'ouvrage, ou ceux qui le démolissent ou font des excavations dans le voisinage immédiat. Il importe que ces personnes possèdent les meilleures informations disponibles et l'expérience pour s'en servir.

Les ingénieurs en charpente responsables de la conception doivent comprendre le bon fonctionnement des ouvrages d'art, ce qui suppose une connaissance fondamentale de la statique, de la dynamique, de la résistance des matériaux et de leur comportement dans l'ensemble de la construction. Ils doivent aussi connaître le concept du "fail-safe design", qui est implicite, par exemple, dans le cas des tremblements de terre ou de la résistance à l'effondrement progressif (1, p. 605). Vu qu'il y a tant de possibilités de commettre des erreurs, particulièrement dans le cas de nouveaux types de construction ou des constructions

spéciales, on devrait étudier chaque conception indépendamment. Ceci ne s'applique pas seulement à l'ouvrage final mais aussi aux supports temporaires, qui peuvent être eux-mêmes des structures très compliquées. Certains effondrements catastrophiques, particulièrement des supports temporaires, se sont produits parce que des conceptions qui ont fait leur preuve dans certaines conditions ont été appliquées à des ouvrages dans des conditions différentes, ces dernières ayant sensiblement changé le comportement de l'ensemble.

Les codes du bâtiment et les normes de construction spécifient des charges minimales et des coefficients de sécurité; ils renferment des règlements détaillés, et traduisent l'état des connaissances dans ce domaine au moment de la rédaction. Exception faite des petits ouvrages conventionnels, qui sont régis par des règles empiriques, les normes de construction ne doivent être appliquées que par des ingénieurs compétents. On trouvera dans le **Digest 114F** une étude plus poussée du rôle des Codes du bâtiment.

Une bonne communication et une inspection sérieuse sont deux facteurs importants qui aideront à prévenir les erreurs. Une mauvaise communication peut être due à l'ambiguïté de certaines normes ou dispositions de contrat, des plans qui ne donnent pas suffisamment de détails, ou une mauvaise compréhension des plans et normes. L'absence de communication effective entre l'ingénieur et le constructeur ou l'architecte est une source possible d'ennui. La communication est essentielle pour faire face à certaines éventualités comme des erreurs de dessin, des modifications dans la méthode de construction, et des changements requis par le propriétaire ou l'architecte. L'ingénieur en bâtiment doit inspecter les travaux pour s'assurer que l'entrepreneur effectue ses travaux de construction conformément aux exigences. La perfection n'est pas de ce monde!

On trouvera ci-dessous, une liste de cas susceptibles de poser des problèmes. Elle est fondée sur une étude des erreurs de construction passées. Elle exclut les défaillances de sol qui ont été étudiées dans des Digests précédents (**29F**, **80F**, **81F**, **143F**).

Problèmes au stade de la conception

Il faut se rendre compte que la plupart des petits bâtiments au Canada ne demandent pas d'attention spéciale de la part de l'ingénieur en bâtiment. Ils sont régis par des règles empiriques semblables à celles énoncées en Partie 9 du Code national du bâtiment au Canada (2).

1. Le manque de compétence à réaliser l'étude technique, dans des cas de construction importante, a été la cause de plus d'effondrements au Canada que toute autre source isolée. Par exemple, les toitures de grande portée, mal conçues, en particulier, les stades et les pistes de curling. Plus de 100 édifices de ce genre au Canada se sont effondrés au cours de l'hiver 1970-71 sous des charges de neige particulièrement élevées mais toutefois prévisibles.
2. L'ancrage insuffisant contre l'action du vent. Cela s'applique particulièrement à la succion exercée par le vent sur les toitures de bâtiments non conçus par des ingénieurs, aux murs et aux dalles de toitures, et aux grandes enseignes (voir **CBD 68F**). Les bâtiments légers, comme les roulottes, devraient être ancrés, pour les empêcher d'être renversé ou de glisser.
3. Les détails. Dans les bureaux techniques la plupart des erreurs provoquant des effondrements viennent de ce qu'on n'accorde pas assez d'attention aux détails: des dessins insuffisamment détaillés; une étude insuffisante de la statique dans la conception des détails; un ancrage ou distance d'appui insuffisant pour tenir compte des tolérances de construction; des raccords dont la fragilité est cause d'effondrement dû à des forces indéterminées ou de chocs mineurs. On doit apporter une attention spéciale à la résistance aux tremblements de terre.
4. Le choix des matériaux. Les cas suivants sont des exemples d'un mauvais choix de matériaux; matériaux excessivement fragiles, métaux sujets à la rupture par fatigue sous une sollicitation cyclique, ou à la rupture fragile lorsqu'on les soumet à de basses températures, ou métaux impropres à la soudure, matériaux qui, en raison de leur emplacement, peuvent être attaqués par la corrosion, la pourriture (v. condensation dans les toitures, **CBD 112F**), matériaux plus récents soumis à l'action des rayons du soleil ou à l'attaque chimique (**CBD 115F; CBD 116F; 117F**, **120F** **CBD 121F**, **CBD 122F**, **CBD 123F**, **CBD 124F**, **136F**).

5. L'évaluation des charges. En règle générale, les concepteurs tiennent compte des charges, mais il peut se glisser des erreurs. Par exemple; l'oubli de modifier les charges permanentes ou les charges des cloisons; les effets possibles des changements de température, le retrait, le tassement différentiel; la concentration des surcharges de neige sur les marquises, etc.; les soulèvements ou les renversements dûs à l'action du vent, les surcharges d'accumulation d'eau, les surcharges de glace ou les glissements de neige, les surcharges accidentelles, comme les explosions ou un impact qui pourraient provoquer un effondrement progressif (1, p. 605).

Problèmes au cours de la construction

Au Canada, ce problème a été la source des plus grands ennuis par le passé (Tableau I), principalement dûs au manque de compétence dans les techniques de construction, en ce qui avait trait aux procédures d'érection ou à la conception des supports et des contreventements temporaires.

1. Supports temporaires. Quelques-uns des plus grands désastres se sont produits en raison de supports temporaires insuffisants. Dans la plupart des cas, les contreventements latéraux visant à prévenir le flambement étaient soit absents soit insuffisants. Une autre erreur qui se produit dans les constructions en béton armé est l'enlèvement trop hâtif des supports temporaires, avant que le béton ne soit suffisamment résistant pour supporter les charges de construction.
2. Les contreventements et les haubans durant la construction. Il y a plusieurs éléments de construction qui sont, en eux-mêmes, instables ou incapables de résister à des surcharges de vent modérées jusqu'à ce que la charpente ou le bâtiment ait été complété. Les éléments sujets aux effondrements dûs à l'action du vent comprennent les murs de maçonnerie non supportés, et les charpentes et les fermes mal reliées, en bois ou en acier. Il y eut plusieurs effondrements de ce genre au Canada. Les éléments sujets à l'instabilité comprennent les poutres composées à âme pleine, les solives ajourées de longue portée et les murs qui servent de poutres une fois la charpente terminée. Tous ces éléments doivent être entretoisés ou haubanés temporairement. Les grues servant à la construction sujettes au renversement causé par le vent doivent également être incluses.
3. L'exécution. Il y a certains procédés de fabrication qui nécessitent un contrôle et une inspection assez rigoureux pour prévenir les vices d'exécution. Par exemple: la soudure, la lamellation pour la construction en bois, la cure du béton pendant la saison froide, et le clouage des chevrons en bois pour l'ancrage contre le vent.

Problèmes au cours de l'utilisation ou de la démolition, ou problèmes provenant d'excavations voisines

1. La détérioration, la rupture fragile ou par fatigue. L'effondrement catastrophique résultant de ces phénomènes peut être considérablement réduit grâce à l'inspection et à des travaux d'entretien. L'inspection comporte la recherche de fissures dangereuses, de traces de pourriture, de corrosion et d'autres altérations de matériaux. Bien que les ponts soient habituellement inspectés avec soin, ce n'est généralement pas le cas des bâtiments. Certains genres de construction demandent des soins d'entretien spéciaux, par exemple, les structures gonflables (**CBD 137F**).
2. Changement d'utilisation, modification. Parfois un changement d'utilisation peut causer des surcharges; par exemple, les récents camions lourds traversant les vieux ponts sur les routes secondaires, l'utilisation de locaux prévus pour des bureaux, pour entreposer du matériel lourd, le déblaiement de la neige d'un toit supérieur sur un toit inférieur. Parfois, des modifications mal avisées peuvent changer sérieusement la résistance de la construction: coupage de l'acier d'armature, réfection des toitures sans conserver le support latéral nécessaire à la charpente de la toiture.
3. Les travaux d'excavation dans le voisinage. Il y a eu plusieurs effondrements de murs et d'autres parties de bâtiments dans des excavations adjacentes. L'erreur est habituellement évidente, mais avec certains vieux bâtiments, il est difficile de connaître la nature des fondations existantes.

4. Les travaux de démolition. Les effondrements non voulus pendant certains travaux de démolition se produisent généralement à cause d'une mauvaise compréhension du comportement de la charpente. Dans un cas particulier, le fait de couper le contreventement de la membrure supérieure d'une poutre à treillis d'un pont provoqua l'effondrement soudain et prématuré du pont.

Conclusion et recommandations

Les risques de mortalité ou de blessures à la suite de l'effondrement d'un ouvrage d'art sont généralement très faibles au Canada à l'heure actuelle, si on les compare à ceux dus à d'autres sources, bien que les structures en voie d'érection soient une source de risques à peu près égale à celle des incendies de bâtiments. Presque tous les effondrements d'ouvrages récents sont le résultat d'erreurs.

La Division est intéressée à recueillir des informations concernant l'effondrement de structures importantes et les raisons qui les ont provoquées. Ces renseignements ne sont disponibles actuellement que par des rapports isolés, des articles fortuites dans des revues techniques, et des coupures de journaux qui manquent généralement de détails. Les concepteurs et les constructeurs sont donc priés de faire rapport de tout effondrement et des raisons qui l'ont provoqué.

Références

1. Manuel canadien de calcul des structures (Canada), no 4, Supplément au Code national du bâtiment. Comité associé sur le Code national du bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, 1970 (NRC 11530).
2. Code national du bâtiment (Canada), édition 1970, partie 9, Habitation et petits bâtiments. Comité associé sur le Code national du bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (NRC 11246).