NRC·CNRC

NRC Publications Archive
Archives des publications du CNRC

Calcul aux états limites

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/10.4224/40000960
Digeste de la construction au Canada, 1982-01-07

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :
https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=57d9d53a-7985-41f2-b716-3fc4c1c21242
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=57d9d53a-7985-41f2-b716-3fc4c1c21242

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.

National Research Council Canada | Conseil national de recherches Canada

Canada

Digeste de la Construction au Canada
Division des recherches en construction. Conseil national de recherches Canada

CBD-221-F

Calcul aux états limites

Veuillez 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.

Publié à l'origine en janvier 1982.

D.E. Allen

Ce digest explique les principes et les avantages du calcul aux états limites, qui tend de plus en plus à remplacer le calcul aux contraintes admissibles dans la conception et l'évaluation des ouvrages de génie civil.

Introduction

Il y a très longtemps que l'homme conçoit avec succès des bâtiments et des ouvrages techniques. Pendant de nombreux siècles, ces constructions ont été le résultat du bon sens, de l'expérimentation, et de l'application de certaines règles de proportion acquises peu à peu. Leur solidité dépendait avant tout du savoir-faire et de l'habileté des maîtres artisans.

Au 19^{e} siècle, l'industrialisation et la production en série de l'acier et du fer ont conduit à des changements rapides des types de construction et à l'abandon de la méthode empirique traditionnelle, qui ne s'adaptait que lentement aux innovations, au profit de calculs établis sur des principes scientifiques. Les seuls outils scientifiques disponibles à cette époque pour le calcul des structures étaient les principes newtoniens de dynamique et la théorie de l'élasticité. Avec le temps, ces principes scientifiques ont permis d'aboutir à une méthode pratique et universelle de calcul des structures appelée calcul aux contraintes admissibles.

Dans le calcul aux contraintes admissibles, on dimensionne une structure en calculant les contraintes, dans le domaine élastique des matériaux, provoquées par les charges et surcharges maximales prévues et en les comparant avec les contraintes admissibles des matériaux. La contrainte admissible d'un matériau est égale à sa contrainte de rupture divisée par un coefficient de sécurité. Les coefficients de sécurité ont d'abord été déterminés en appliquant la méthode de calcul aux contraintes admissibles à des structures déjà en service et dont le comportement était satisfaisant. Les coefficients de sécurité pour les nouveaux matériaux étaient évalués à partir de ceux retenus pour les matériaux traditionnels, en tenant compte du type de défaillance, de la marge d'erreur dans l'évaluation de la résistance du matériau et de la variation du comportement de celui-ci. Le calcul aux contraintes admissibles a été à la base des codes et des normes de conception durant la plus grande partie du siècle.

Inexactitudes du calcul aux contraintes admissibles - changements des règles de l'art

Le calcul aux contraintes admissibles présente certains défauts. Prenons l'exemple d'un poteau en béton armé sollicité par une force axiale (voir la figure 1). La force est le résultat de la compression due au poids du bâtiment et de la compression ou de la traction due à la surcharge de vent. Le poteau doit être conçu pour résister soit à la compression totale soit à une traction nette, si l'effort de traction dû au vent est supérieur à la compression due au poids

du bâtiment.

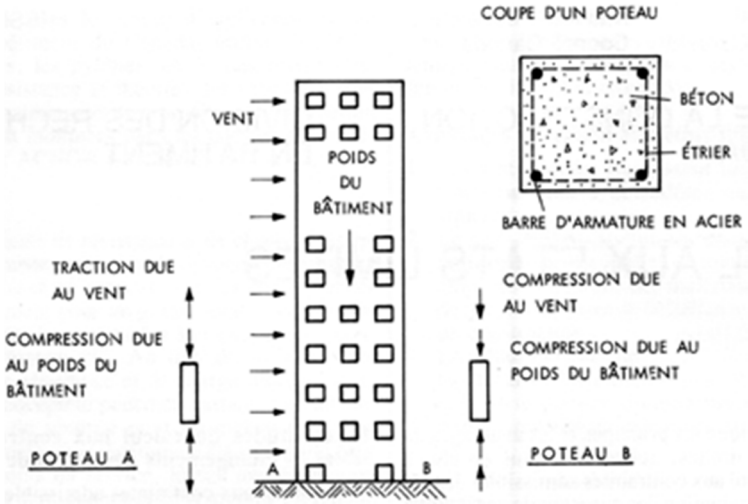

Figure 1. Forces dans les poteaux d'un bâtiment élevé

Il y a quelques années, alors qu'on connaissait mal les propriétés du béton armé, on pensait que la compression du poteau provoquait des contraintes du béton et de l'acier dans le domaine élastique. Le poteau était calculé en comparant ces contraintes avec les contraintes admissibles des deux matériaux. En fait, comme le béton subit un retrait en séchant et flue sous l'effet du poids du bâtiment, une grande partie de la contrainte du béton se reporte sur l'acier. Théoriquement, il faut donc ajouter plus d'acier pour maintenir la contrainte en dessous de la limite admissible. En pratique, la déformation plastique de l'acier ne provoque pas sa rupture, et la capacité portante du poteau est simplement déterminée en additionnant la résistance à l'écrasement du béton à la limite élastique de l'acier. Cet exemple montre donc que le calcul aux contraintes admissibles peut conduire à un surdimensionnement important.

Dans le cas d'une traction nette ou d'un soulèvement, le calcul aux contraintes admissibles permet de dimensionner l'ancrage d'acier fixant le poteau à la fondation pour qu'il résiste à la contrainte résultante de la traction due au vent et de la compression due au poids du bâtiment. Le coefficient de sécurité est donc appliqué à cette contrainte résultante. Si celle-ci est faible, une augmentation de la surcharge due au vent légèrement plus grande que prévue peut entraîner la rupture. Le risque de rupture est donc élevé. Ainsi, il existe des cas où le calcul aux contraintes admissibles n'est pas assez sécuritaire.

En raison de cas comme ceux-ci, les règles de calculs ont peu à peu été modifiées. Premièrement, on a introduit des formules basées sur la résistance de l'élément structural plutôt que sur une analyse des contraintes. Deuxièmement, des règles spéciales ont été établies pour assurer la sécurité des ancrages qui doivent résister aux forces de soulèvement et de renversement engendrées par le vent. Troisièmement pour réduire la quantité de matériaux utilisés, le calcul aux contraintes admissibles a été remplacé par des méthodes basées sur la théorie de la résistance, valables pour des types particuliers de construction et d'applications. Enfin, comme les structures devenaient plus légères et plus élancées, de nouvelles exigences de tenue en service concernant les flèches, la fissuration et les vibrations ont été introduites. Toutes ces modifications ont détruit le caractère universel du calcul aux contraintes admissibles pour la conception des ouvrages de génie civil.

Les types de construction continuent à évoluer et à se diversifier. Il y a de plus en plus de structures composites réalisées à partir de deux ou plusieurs matériaux, et les ouvrages sont destinés à un plus grand nombre d'usages, dans des conditions ambiantes plus variées qu'auparavant. Ces changements ont provoqué une croissance quasi exponentielle des critères contenus dans les codes et les normes relatifs aux structures. Le besoin d'une théorie générale de calcul des structures se fait davantage ressentir actuellement que par le passé. Le calcul aux états limites a été introduit pour répondre à ce besoin.

Calcul aux états limites

Toutes les structures doivent répondre à deux exigences fondamentales: ne pas s'effondrer (sécurité) et avoir une bonne tenue en service pour l'usage prévu. Les états limites définissent les premiers signes des différents types d'effondrement et de mauvaise tenue en service. Les états limites qui mettent en cause la sécurité sont appelés états limites ultimes. Il s'agit entre autres de la limite de la capacité portante, de la rupture, du renversement, du glissement de la stabilité et des fortes déformations. Les états limites de tenue en service, liés à la performance, comprennent les flèches excessives, les vibrations et les déformations locales.

Le calcul aux états limites est effectué par le concepteur pour s'assurer que les états limites ne seront pas atteints. Les étapes de vérification d'une structure ou de ses éléments pour un état limite quelconque sont présentées à la figure 2.

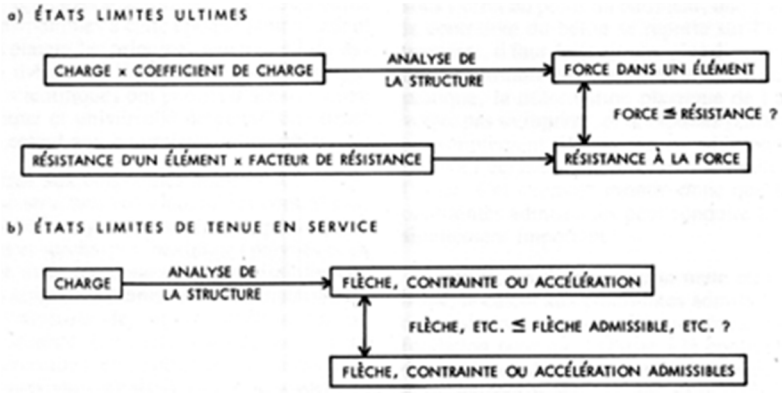

Figure 2. Méthode de calcul aux états limites

Dans la figure 2, les charges sont définies comme la charge permanente, les surcharges dues au vent et à la neige, les variations de température, etc., qui agiront sur la structure pendant son temps prévu d'utilisation. Ces charges sont habituellement précisées dans les codes. Les charges sont en général la cause de l'effondrement, mais parfois elles s'y opposent comme c'est le cas de la charge permanente qui maintient une structure en place pendant une tempête.

Pour les états limites ultimes, les charges sont multipliées par des *coefficients de charge* afin de tenir compte de la probabilité de variation des charges réelles par rapport aux valeurs indiquées dans les codes. Par exemple, la charge permanente est plus prévisible que les surcharges dues au vent ou à la neige et, par conséquent, le facteur de charge correspondant est plus proche de 1,0. Lorsqu'une charge est combinée avec d'autres charges, on pondère son facteur de charge par un coefficient de simultanéité des charges qui tient compte de la diminution de la probabilité d'action simultanée de plusieurs charges d'origines différentes. Enfin, le coefficient de charge peut être modifié par un coefficient de risque, qui prend en compte la gravité des conséquences d'un effondrement. Par exemple, le coefficient de risque sera plus élevé pour une enceinte de confinement de réacteur nucléaire que pour un hangar.

Tous les coefficients de charge pour les états limites de tenue en service ont la valeur 1,0, puisque ces états limites concernent la performance dans des conditions normales d'exploitation.

Une fois que les charges sont pondérées par les coefficients pertinents, le concepteur calcule les forces et les déformations de la structure. Ces calculs sont basés sur une théorie de comportement de la structure qui doit refléter de façon appropriée le comportement au moment où l'état limite est sur le point d'être atteint. Par exemple, la théorie simplifiée de l'élasticité, qui tient compte du retrait et du fluage, convient au calcul de la plupart des structures pour les états limites de tenue en service, tandis que les théories de résistance ou de stabilité conviennent à la plupart des structures pour le calcul aux états limites ultimes.

Dans le cas des états limites ultimes, on compare les forces qui agissent sur un élément donné (figure 2) aux résistances calculées de cet élément. Ces résistances sont obtenues par une analyse de la résistance de l'élément, en fonction des propriétés des matériaux constitutifs et des dimensions spécifiées de l'élément. L'élément peut être une membrure, un assemblage, un matériau constitutif d'une structure composite, ou un mécanisme particulier de rupture comme le cisaillement ou la compression. Les coefficients de résistance sont appliqués aux résistances de l'élément et tiennent compte de la variation des propriétés des matériaux, des dimensions, de la qualité d'exécution, du type de défaillance, et de la, marge d'erreur prévue lors de l'évaluation de la résistance. Par exemple, la déformation plastique de l'acier est plus graduelle et prévisible que l'écrasement du béton; par conséquent, son coefficient de résistance est plus près de 1,0. Le coefficient de résistance peut être modifié pour certaines membrures en fonction de leur importance ou des incertitudes liées à leur fonctionnement. Par exemple, les pieux de fondation ont une résistance plus incertaine que les poteaux des bâtiments.

Pour les états limites de tenue en service, les flèches, les contraintes ou les accélérations dues aux charges sont comparées aux flèches, aux contraintes ou aux accélérations admissibles. Ces dernières sont basées sur l'usage normal et des exigences particulières comme l'exploitation de l'équipement.

Afin d'uniformiser les futurs codes et normes relatifs au calcul des structures et d'en réduire le nombre et le contenu, il est prévu d'adopter le principe suivant. Les exigences quant aux charges, aux facteurs de charge et à la tenue en service dépendent uniquement de l'emploi proposé de la structure et seront par conséquent énoncés dans les codes d'application (Code national du bâtiment du Canada, normes ACNOR pour les ponts, les pylônes, etc.). Les résistances, facteurs de résistance et théories des structures sont fonction des matériaux et du type de structure et seront par conséquent indiquées dans les normes des matériaux (normes ACNOR pour le béton, l'acier, etc.).

Fiabilité

Les coefficients de résistance et de charge dans les codes et les normes sont choisis de façon à assurer un niveau de fiabilité en rapport avec les conséquences d'un effondrement pour un grand nombre de charges et de matériaux. Les méthodes à employer sont données à la référence (1). Au lieu de se servir des coefficients de résistance et de charge indiqués dans les codes, le concepteur peut dans certains cas calculer le coefficient de sécurité pour un niveau de risque donné. Cette méthode a récemment été introduite pour évaluer des ponts en service, lorsqu'une évaluation plus précise de la résistance et de la sécurité est rendue nécessaire par suite de l'augmentation des charges des camions.

La sécurité des structures en service dépend non seulement des coefficients de sécurité utilisés dans les calculs, mais aussi des méthodes employées pour éviter les erreurs humaines dans la conception, la construction et l'utilisation de l'ouvrage (2). La meilleure façon d'éviter les erreurs humaines dans la conception des structures est de considérer le comportement futur de la structure et les charges et autres forces qui la solliciteront (3).

Avantages du calcul aux états limites

1. Les états limites fournissent une liste des points fondamentaux à considérer dans le calcul des structures.
2. Le calcul aux états limites assure des conditions uniformes de sécurité et de tenue en service et un emploi économique des matériaux. Il s'applique à de nombreux types de défaillances, de matériaux et de construction.
3. Le calcul aux états limites est un outil de base pour le calcul et l'évaluation des structures de génie civil et un moyen d'uniformiser les codes et les normes traitant du calcul des structures.

Références

1. Guidelines for the Development of Limit States Design. Canadian Standards Association Special Publication S408. Rexdale, Ontario, 1981.
2. Allen, D. E. La sécurité et les charpentes. Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada (**CBD 147F**), Ottawa, 1973.
3. Gordon, J.E. Structures (or Why Things Don't Fall Down). Penguin Books, New York, N.Y., 1978.