Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 15 (1974)

Rubrik: Theme III: Safety concept

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Concept de sécurité

Sicherheitsfragen

Safety Concept

FERNAND ELLYIN
Professeur titulaire
Université de Sherbrooke
Sherbrooke, Québec, Canada

I. INTRODUCTION

L'assurance d'une sécurité convenable est l'objectif le plus important dans la conception de structures. Une structure doit, au moins, résister aux charges appliquées durant sa vie. Cependant, on doit aussi tenir compte de quelques contraintes économiques et fonctionnelles; la structure doit être sure, mais aussi économique.

La conception complète d'une structure se compose idéalement d'une analyse basée sur la combinaison de charges et de contraintes préalablement choisies de façon à obtenir une structure convenablement sure et économique. Le nombre de combinaisons possibles est très variable, mais pour une conception rationnelle, la probabilité de ruine obtenue doit être de portée optimale. Les bornes de cette portée sont établies par les effets conjugués de sécurité et politique d'économie.

La première étape d'une telle conception rationnelle est d'évaluer, autant que possible, les distributions statistiques des charges, de la résistance des matériaux et des autres variables. Ceci peut devenir compliqué à cause de la difficulté et parfois l'impossibilité d'obtenir un nombre suffisant de données représentatives. Il serait très difficile de formuler une approche stochastique de base empirique pour la conception de structures sans compter sur le jugement de l'ingénieur, vu la nature des suppositions de statistique et le nombre limité d'informations effectives disponibles.

En découplant l'analyse des charges de celle de la résistance, on simplifie considérablement l'analyse de la fiabilité de structures. Un tel découplage justifiable pour la plupart de structures de génie civil, permet une approche plus rationnelle pour l'analyse de ruine et de fiabilité. Cette approche réduit l'analyse à trouver les fonctions de distribution de charges et de résistance en considérant un mécanisme pertinent de ruine.

Les deux premiers chapitres de ce rapport résument les travaux faits dans ces deux domaines afin que des distributions des variables statistiques puissent être postulées pour l'analyse de sécurité et de fiabilité. Mentionnons que la précision du calcul de fiabilité ne peut pas être meilleure que celle des données statistiques.

L'objectif de ce rapport est de mettre au courant quiconque est intéressé à la question de sécurité de structures. Pour présenter une image assez complète de ce domaine, l'étude se divise en quatre chapitres: l'analyse des charges, la résistance des matériaux, la fiabilité des structures et les aspects de conception. Les notions de fiabilité et de conception rationnelles sont explicitées pour le cas d'un élément structural comprimé (colonne) en béton armé. De plus, une bibliographie des articles clés est annexée à la fin.

2. ANALYSE DES CHARGES

2.1 *Définition*

On peut définir les charges comme étant des éléments de l'environnement qui causent des contraintes dans les structures. Ces contraintes résultent directement des forces imposées, ou se développent indirectement comme dans le cas de déformations continues.

2.2 *Classification des charges*

L'étude des charges peut se faire à partir de l'étude du mode de chargement ou de l'étude des contraintes qu'elles génèrent. Les charges sont de natures diverses; parmi les plus importantes, considérons les charges permanentes ou poids morts et les charges vives dues à l'usage de la structure (surcharges des exploitations)ou aux éléments naturels et climatiques (vent, vagues, neige et tremblement de terre).

2.3 *Intensité des charges*

S'il est relativement simple de calculer la valeur des charges permanentes, pour les charges vives on doit procéder par la simulation ou par l'analyse statistique du chargement. Dans les paragraphes qui suivent, on revise les travaux faits pour les différents types de charges vives.

2.3.1 Charges sur les planchers

White [1] à partir de relevés de charge dans des bureaux, a établi une relation entre l'intensité des charges et l'étendue des planches. Dunham [2], en considérant les charges vives probables établies pour les appartements et les salles de réunion et à l'aide de relevés dans les bureaux et les entrepôts, a proposé de réduire les charges vives principales pour les éléments de structure.

Bryson et Gross [3] ont établi une procédure pour mesurer la charge des meubles dans les bureaux et mis au point un programme d'ordinateur pour la classification et l'analyse des données. Il a été montré par Hasofer [4] que deux densités de probabilité s'ajustent bien à l'extrémité supérieure de la fréquence des charges vives. Ces deux densités sont: la distribution de Pareto et la distribution normale de Gauss. Jauffred [5] a présenté les procédures et les résultats relevés sur appartements et bureaux au Mexique. Il a trouvé que la charge vive des meubles par unité de surface du plancher varie d'une manière significative d'après l'usage de la chambre. De plus, cette charge unitaire varie

également de manière significative avec les dimensions de la chambre, comme dans le cas des chambres à coucher et des cuisines dans les appartements et de quelques chambres de travail dans les bureaux. Il a conclu que la charge des meubles suit approximativement la distribution normale et la somme des charges vives (y compris surcharge d'impact) suit la distribution extrême du type I.

Karman [6] a recommandé un facteur de réduction des charges pour les éléments qui supportent des grandes surfaces et une charge plus élevée pour les surfaces très petites.

Récemment, Heaney [7] a présenté une méthode pour évaluer les distributions de charges maximales sur les planchers en utilisant les meilleurs informations possibles, soient les relevés de charges vives associés à certaines suppositions. Ces distributions de charges peuvent être utilisées dans la plupart des analyses de fiabilité de structure; on peut donc en déduire les valeurs nominales des charges vives utilisées dans le code. Finalement, des propositions pour améliorer les techniques de relevés de charges ont été présentées.

2.3.2 Force du vent

Hanai [8] a proposé un critère pour le choix des charges du vent utilisées dans le design. Une procédure pour déterminer le facteur de coup de vent qui permet de convertir la vitesse du vent en paramètre de "design" a été proposée par Davenport [9] . Thom [10] a présenté une méthode qui a permis l'ajustement de la distribution de "Fisher-Tippett Type II" à une série de vitesse extrême du vent. Des graphes qui donnent les vitesses du vent pour 2, 10, 25, 50 et 100 ans, ont été données par Thomas [11].

2.3.3 Force des vagues

Pierson et Holmes [12] ont dérivé et vérifié la fonction de densité de forces des vagues sur la portée immergé d'un pieu. Ils ont indiqué que la probabilité d'une valeur extrême peut être dix fois plus grande que la valeur obtenue en utilisant comme fonction de densité dérivée, une distribution normale avec les mêmes écarts moyens et second moment.

2.3.4 Charge des ponts

Les méthodes pour prédire les charges vives sur les ponts des autoroutes, utilisant les modèles de charges observées, ont été traitées par Ivy et al. [13], Stephenson [14] et Tung [15]. Cudney [16] a présenté les fréquences pour les types de véhicules et l'ordre des contraintes dans les poutres longitudinales. Stephenson [17] a précité les niveaux des contraintes basé sur la distribution de Poisson dans l'application de la charge. Récemment, des données semblables ont été présenté par Galambos et Heins [18]. Ils ont montré leur relation avec les dommages de fatigue. "L'American Railway Engineering Association" [19,20] a rapporté des données considérables de charges vives sur les ponts de chemin de fer, les contraintes d'impact et les techniques d'essais sur des ponts sollicités par les charges de service. En 1970, Nishiki et Shiraiski [21] ont donné les distributions de facteurs de charges, déterminées en comparant les charges réelles des trains sur un chemin de fer du Japon avec les valeurs de "design". Il a été montré que le facteur de charge suit une distribution normale. Byers [22] a donné l'impact sur les ponts de chemin de fer qui suit la distribution normale et les effets de la vitesse et des longueurs de portée sur l'impact.

2.3.5 Charge de tremblement de terre

Pour étudier le comportement d'une structure sollicitée par un

tremblement de terre il faut savoir l'accélération maximale et les caractéristiques de fréquence du mouvement du sol. Ces caractéristiques de fréquence sont difficiles à généraliser parce qu'elles sont affectées par la nature du sol, la distance de la source et le mécanisme du tremblement de terre.

La distribution géographique des tremblements de terre et de leur probabilité d'occurence, les différentes suppositions utilisées dans leur prédiction et l'analyse des réponses de la structure ont été discutées par Rosenblueth [23]. Benjamin [24] a décrit l'application de concepts de la "distribution baysienne" pour prévoir les probabilités d'occurence des tremblements de terre, à partir de données historiques.

Des analogies ont été utilisées pour l'analyse des données [25] . Ward [26] a utilisé la calculatrice analogique pour simuler le tremblement de terre comme un processus aléatoire stationnaire. Jennings et al. [27] ont étudié la simulation de quatre différents types de mouvement. Récemment, d'autres processus aléatoires de simulation ont été présentés par Rascon et Cornell [28], Hou [29] et Levy [30].

2.3.6 Charge de neige

Ce type de charge est le plus important dans le calcul des toits au Canada et pays à climat semblable. Donc, le choix de sa valeur et de sa distribution a beaucoup d'influence sur leur probabilité de ruine et coût de construction. Des facteurs météorologiques comme: la vitesse et direction du vent, la température, la radiation solaire, la pluie et la tempête de saison, influencent énormément l'épaisseur de neige. Par ailleurs, cette accumulation sur toit est différente de l'accumulation au sol à cause de l'orientation, pente, grandeur, forme et hauteur du toit et la transmission de chaleur de l'intérieur.

L'étude faite par Wright et McClorry [31] ont montré que la distribution Lognormale est la meilleure pour décrire la charge et l'épaisseur de neige. Egalement, les périodes de retour trouvées en utilisant cette distribution prennent des valeurs intermédiaires entre celles dérivées des distributions normales et de type I.

3. RESISTANCE

3.1 *Définition*

On définit la résistance d'une membrure par sa capacité de résister à la ruine due à une charge externe de l'environnement. L'étude de la résistance des structures et des matériaux de construction a été faite à différents niveaux, des structures complètes jusqu'aux cristaux simples.

Comme approche intermédiaire, l'étude des éléments de structures est plus avantageuse que celles des structures complètes, ou des matériaux de base; elle nous donne généralement les effets des concentrations de contraintes, la tolérance de fabrication, les contraintes résiduelles et d'autres variables qui se trouvent dans les structures réelles et pas dans les échantillons à une petite échelle.

3.2 *Résistance des structures métalliques*

On trouve dans la référence [32] les propriétés de plusieurs matériaux de construction. Smith [33] a décrit une méthode pour calculer les contraintes de "design" en utilisant les résultats d'essais basés sur la supposition d'une

distribution normale de résistance. Il a discuté le rejet de données suspectes des essais. Le rapport Hangen [34] est probablement le résumé le plus complet des distributions statistiques des résistances des matériaux métalliques. Dans une enquête sur les ruines de fatigue de ponts, Wiley et Scott [35] ont trouvé que des détails dans la fabrication et dans les techniques de construction ont des effets significatifs sur la vie des charpentes d'acier. Munse et al. [36,37] ont présenté des données sur les boulons d'acier A-325 et sur le comportement des joints en acier attachés avec ces boulons, à partir d'essais statiques, de cycles constants et variables de fatigue des joints et les données statistiques des propriétés des boulons.

3.3 *Résistance des structures en béton*

Tout d'abord, on attire l'attention du lecteur sur la référence générale [38] de la distribution de la résistance du béton. Ekberg et al. [39] ont discuté des relations contraintes-moments pour le béton précontraint. Ils ont décrit une méthode pour calculer la résistance de fatigue des poutres en béton précontraint basée sur un diagramme qui combine les enveloppes de ruine de fatigue pour le béton et l'acier avec le diagramme de contraintes-moments de la poutre.

Julian [40] a présenté des données statistiques de la limite élastique, de la résistance maximum de l'acier A-7 (maintenant surrannées), du seuil plastique des grades intermédiaires des armatures d'acier et de la résistance maximum en compression du béton. En utilisant ces données et d'autres similaires, Castello et Chu [41] ont proposé les distributions probables de la résistance des poutres en béton armé avec ou sans armature dans la zone de compression.

Une série d'articles [42-45] donne un compte-rendu de la recherche subventionnée par le conseil de recherche du béton armé, sur la résistance en cisaillement des poutres de béton armé comprenant les descriptions de ruines pour des essais de cisaillement sur quarante (40) poutres simples sans armatures diagonales, deux (2) poutres simples avec armatures diagonales, soixante et une (61) poutres encastrées sans armatures diagonales et trente cinq (35) poutres encastrées avec armatures diagonales. Des formules donnant la charge pour laquelle les fissures diagonales se développent en tension et la charge pour laquelle la zone en compression est détruite, ont été développées et comparées avec les résultats des essais [45].

Remarques

Les renseignements des deux chapitres précédents fournissent les données suffisantes pour permettre aux ingénieurs de choisir ou de postuler des fonctions de distribution et de caractéristiques statistiques (écart type et moyenne) pour des charges et la résistance.

La connaissance des caractéristiques statistiques justifiables, soit tirées des données existantes, soit supposées, permettra de procéder à l'analyse de la fiabilité et la conception de structures, auxquelles les deux sections suivantes seront consacrées.

4. L'ANALYSE DE LA FIABILITE

4.1 *Définition*

4.1.1 Ruine

Considérons le cas d'une structure soumise à une charge S. Comme il

a été mentionné auparavant, la charge S est, en général, d'une nature stochastique. La résistance R d'une section est aussi une variable aléatoire et elle est définie d'une manière telle que l'évènement R <S représente la ruine. Le mot "ruine" est utilisé pour n'importe quel état provoqué par l'application de charge qui rend la structure inutile.

4.1.2 Probabilité de Ruine

Pour faciliter le problème, on peut supposer que R et S sont tous les deux positifs. Ainsi le rapport $\eta = R/S$, qui peut être utilisé comme une mesure qui définit la sécurité pour R et S, est une variable aléatoire avec la fonction de distribution déterminée par celle de R et S. Donc il est possible de considérer, comme une mesure de sécurité de la structure, "la probabilité de ruine" p_{ruine} définit par:

$$p_{ruine} = P\ (\eta < 1) \qquad (1)$$

dans laquelle P(A) est la probabilité d'évènement A.

4.1.3 La fonction de fiabilité

La probabilité de ruine p_r n'est pas une mesure directe de sécurité d'une structure sollicitée par une suite aléatoire de charges prise de la population $F_S(x)$, pendant sa période de service. Cette mesure est sa probabilité de survivance qui est aussi appelée "la fonction de fiabilité", quand elle est interprétée comme une fonction de temps ou son équivalence.

4.2 *Théorie de la fiabilité*

Le concept de base de l'analyse de la fiabilité a été premièrement émis par Freudenthal en 1947 [46]. D'autres ont traité ce problème, entre autres Asplund [47], Prot [48] et Pugsley [49]. Plus tard, [50-54], ont montré que la probabilité de ruine peut être calculée comme:

$$p_{ruine} = P\ (R < S) = \iint_{R<S} f_{R,S}\ (r,s)\ dr\ ds \qquad (2)$$

où $f_{R,S}$ (r,s) est la dérivé partielle de la fonction de distribution $F_{R,S}$ (r,s). Si R et S sont statistiquement indépendants, on a, en particulier,

$$p_{ruine} = P(R < S) = \int_0^\infty f_S(s)\ [\int_0^S f_R(r)dr]\ ds$$

$$= \int_0^\infty [1 - F_S(r)]\ f_R(r)\ dr \qquad (3)$$

$$= \int_0^\infty F_R(s)\ f_S(s)\ ds$$

dans laquelle $f_R(r)$ et $f_S(s)$ sont respectivement, les densités de probabilité correspondant aux charges et aux résistances et $F_R(s)$ et $F_S(r)$ sont les fonctions de distribution cumulative de R et S, respectivement. Dans les analyses précédentes, R et S sont supposées positives. Celles-là ne sont pas une restriction

sérieuse. Pour des raisons physiquement évidentes, les valeurs positives de S sont associées seulement avec les valeurs positives de R et les valeurs négatives de S seulement avec les valeurs négatives de R. Evidemment la condition de ruine est $R/S < 1$ où $R-S < 0$ pour $R > 0$ et $S > 0$, tandis qu'elle est $R/S < 1$ où $R-S > 0$ pour $R < 0$ et $S < 0$. En général, les deux fonctions F_S et F_R sont très difficiles à trouver en ce qui concerne les structures réelles parce que chacune d'elles est une fonction d'un très grand nombre de variables; cette difficulté a eu comme résultat soit de favoriser les méthodes numériques (simulation Monte Carlo) [55] où de supposer simplement que toutes les variables aléatoires suivent la loi normale de Gauss [56]. Cette dernière supposition, bien qu'elle puisse faciliter énormément les calculs, ne doit pas être utilisé en général; pour les calculs précis de la probabilité de ruine (p_{ruine}), on doit se servir des densités de probabilité déduites des expériences et de l'application des lois de la statistique.

Dans l'étude faite par Ellyin et Ghannoum [57] la probabilité de ruine de trois structures a été calculée en utilisant les méthodes ci-dessus, pour vérifier la sécurité offerte par les codes actuels des bâtiments. Deux codes ont été utilisés pour la conception: le code canadien et le code soviétique correspondant respectivement, à un code déterministe et semi-probabiliste.

Des résultats obtenus, on peut conclure que le code canadien donne une marge de sécurité trop grande. Par contre le code soviétique des états limites, a donné des structures plus économiques ayant toutefois une probabilité de ruine jugée acceptable.

En passant, il faut mentionner que l'état général de l'art concernant ce sujet jusqu'à 1964 a été résumée par Freudenthal et al. [51]. Depuis ce temps là des travaux additionnels sur la fiabilité classique comprend quelques solutions approximatives et bornes [53]. En 1968, Ang et Amin [58] ont établi une propriété monotone de la fonction de hasard (un des moyens importants dans l'analyse de fiabilité) de structures.

4.3 Détermination de facteurs de sécurité

Le processus entier, partant de la connaissance primaire et souvent insuffisante de facteurs qui influencent la fiabilité de structure jusqu'à l'ensemble final des facteurs de sécurité, peut être formulé comme une séquence des opérations mathématiques basée sur des axiomes précis.

Pour les variables aléatoires: la résistance R et l'effet de charge S, avec leur moyenne m_R et m_S et leur coefficient de variation V_R et V_S, on peut définir le coefficient de sécurité central θ comme étant $\theta = m_R/m_S$ [59]. La ruine de la structure se produit quand R est inférieur à S, ce qui revient à introduire la nouvelle variable stochastique (R-S) qui, elle, doit être inférieure à zéro pour qu'il y ait ruine, figure (1).

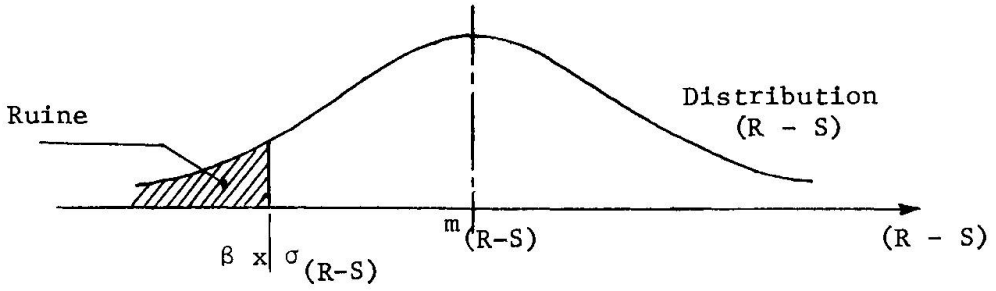

FIGURE 1 - Définition de la ruine et de l'indice de sécurité

On définit alors le **degré de fiabilité** β, "indice de sécurité" comme étant le nombre de déviations standard entre zéro et la moyenne de (R-S), autrement dit:

$$\beta = \frac{m_R - m_S}{(\sigma_R^2 + \sigma_S^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{\theta - 1}{(\theta^2 V_R^2 + V_S^2)^{\frac{1}{2}}} \qquad (4)$$

Lind [60] a introduit un facteur de linéarisation α qui a permis d'écrire

$$\theta = \frac{1 + \alpha\ \beta\ V_S}{1 - \alpha\ \beta\ V_R} \qquad (5)$$

Ce coefficient α est compris entre 0.707 et 1. D'attrait majeur de cette linéarisation réside dans le fait que si on suppose α constant, l'erreur faite est d'un ordre acceptable.

Donc, on est en mesure de calculer θ. Il s'agit d'exprimer V_R et V_S en fonction des coefficients de variation des termes composants R et S.

En effet, la résistance R peut être exprimée en fonction de trois variables [61]:

$$R = M.F.P. \qquad (6)$$

et la charge S en fonction de deux:

$$S = T.E. \qquad (7)$$

Dans lesquelles:

M: représente la résistance de matériau,

F: représente le mode de fabrication,

P: représente la méthode de calcul,

T: représente la charge appliquée,

E: représente l'incertitude attachée à la charge.

Enfin, on peut tirer les coefficients partiels de sécurité [62]

$$\theta_i = 1 + K_i\ \beta\ V_i, \quad i = M,F,P,T,E \qquad (8)$$

où K_i est un coefficient, fonction des coefficients de variation de i.

Ce schéma peut servir à l'écriture d'un programme pour ordinateur, où les données seront β et les coefficients de variations de M,F,P,T,E.

5. CONCEPTION

5.1 *Généralités*

La reconnaissance de l'approche de fiabilité a permis l'analyse quantitative de facteurs bien connus qui affectent la sécurité de structures et aussi l'examen des conséquences économiques et sociales associées aux différentes marges de fiabilité.

Plusieurs aspects de conception et de sécurité de structures ont été examinés dans un groupe de vingt-huit (28) articles contenus dans le colloque sur les concepts de sécurité de structures et les méthodes de conception [63]. On va traiter, dans ce qui suit, du choix des niveaux acceptables de sécurité et d'introduction d'approche stochastique dans les codes de "design".

5.2 *Analyse de décision*

La probabilité acceptable de ruine peut être arbitrairement déterminée soit en fonction du nombre attendu d'applications de charge soit basée sur l'équilibre économique entre le coût de l'augmentation de sécurité et le coût de ruine. La probabilité de ruine peut être aussi choisie du même ordre de grandeur que le risque psychologiquement acceptable dans une société[62]. La détermination de probabilité de ruine dépend de l'importance et du coût des structures aussi bien que des conséquences et du coût de ruine.

Une charge d'intensité très élevée ne doit pas se combiner à une résistance invraisemblablement basse pendant la vie de la structure. C'est-à-dire que la période de retour d'une telle conbinaison doit être plus longue que la vie de la structure ou que son nombre de retour doit être plus grand que le nombre total d'applications de charge attendu.

L'approche économique a été premièrement essayée par Forsell [64] qui a formulé la règle de décision qui serait de minimiser le coût total attendu. Cette méthode a été développée davantage par Johnson [64] et Freudenthal [50]. On a supposé, dans cette méthode, que le coût de ruine peut être calculé en multipliant le coût total capitalisé de la ruine C_F, par la probabilité de son occurence P_F. Les probabilités économiques optimales de ruine doivent minimiser la somme du coût initial de la structure C_I et du coût de ruine,

$$C_I + P_F\, C_F \longrightarrow \min.$$

Le coût total de ruine se divise en deux composants: le premier qui est indépendant de P_F et comprend toutes les pertes directes et indirectes résultant de la ruine, aussi bien que le coût de réparation (si telle réparation est possible) et le second, qui représente le coût de reconstruction quand la réparation n'est pas possible, dépend (comme le coût initial) de P_F. On peut montrer que le risque économiquement optimal de ruine diminue avec l'augmentation du rapport du coût de ruine et du coût initial, aussi bien qu'avec la prolongation de la vie de la structure et la diminution du taux d'intérêt.

Paez et Torroja [65] et Borgman [66] ont exploré le problème et ont démontré l'importance du jugement de l'ingénieur dans la décision de "design".

5.3 *Codes de "design"*

5.3.1 Le rôle du code dans la société

Le code de "design" est un ensemble de conditions que la structure doit satisfaire pour être considérée sécuritaire. Le code réduit le niveau individuel de décision de sécurité à une affaire de routine. Ces conditions agissent comme contraintes dans l'optimisation de la structure individuelle. Quelques codes de "design" ont un statut légal officiel, tandis que d'autres sont des recommandations acceptables pour la conception faites par une corporation ou une société d'ingénieurs professionnels. Cependant, un code doit prescrire un niveau

de "design" prudent, au niveau pratique courant de la technologie, avec une précision suffisante pour guider la cour en cas de conflit sur les ruines de structures. Ces aspects fonctionnels du code dans la société ont été discutés par Bouton [67].

5.3.2 Codes pratiques de structures

Le but principal de la conception est d'avoir une probabilité acceptable de la durée de service d'une structure. Les avantages et limitations de l'introduction de concepts de probabilité dans le code de "design" ont été discutées dans une série d'articles de "ACI" [59,68,69].

La première proposition de la conception explicitement basée sur des concepts probabilistes aurait été faite par Torroaja [70]. Sa proposition est semblable, en principe, aux recommandations du Comité européen du béton [71]. Ces recommandations sont basées sur une approche d'état limite. Basler [72] a suggéré d'employer le coefficient de variation de marge de sécurité β comme une mesure probabiliste de sécurité et proposé également une procédure rationnelle pour partager le facteur de sécurité en facteurs partiels de charge et de résistance de codes pratiques. Il a rendu compte des variables stochastiques les plus incertaines (ouvrage, etc.) par un facteur spécial de sécurité mais sans une analyse explicite.

5.3.3 Format de code

Une approche alternative basée sur les "facteurs de jugement" et qui utilise l'idée de facteurs de sécurité partiels a été proposée [74]. En général, la combinaison de l'expression mathématique, dans laquelle les valeurs de "design" des charges et des résistances paraissent en même temps avec quelques notions acceptées généralement par les ingénieurs de structures, va donner une règle pour faire le "design" ou un "format de code". Les postulats de base reposent sur les notions suivantes [73]:

i - Concept de la charge:

La charge sur une section est la somme des effets séparés des charges de grandeurs aléatoires appliquées. Chaque effet étant le produit de trois facteurs.

- l'intensité de la charge (aléatoire)
- quotient de l'effet réel de la charge à celui calculé (aléatoire)
- facteur d'influence (déterministe)

ii - Concept de la résistance:

La résistance est une variable aléatoire dépendant de trois termes (pour être concis):

- de la résistance effective du matériau (aléatoire)
- d'autres effets de résistance (aléatoire)
- des paramètres de la section (déterministe)

iii - Concept du "design":

Une conception est faite de telle sorte qu'elle satisfait les prescriptions d'un code. C'est à dire qu'à une charge de "design" correspond une résistance de "design" par l'intermédiaire du code.

iv - Concept de la fiabilité:

Si nous reconsidérons (iii), nous pourrons voir qu'on peut le

satisfaire dans une grande marge, nous permettant plus ou moins de sécurité. Ici, il s'agit d'attribuer à chaque classe de structure, la sécurité admise pour le service requis. Autrement dit, on exigerait la même fiabilité sous les diverses conditions de sécurité qu'impliquerait les différentes classes de structure [75,76].

A ce concept est rattaché le problème de la rareté des données permettant de déterminer avec précision la charge appliquée ainsi que ses effets. Mais ce problème se trouve pratiquement résolu par l'acceptation même de la solution probabiliste. En effet, il est toujours possible de calculer la probabilité d'occurence d'un phénomène même si sur ce phénomène on ne connaît que quelques renseignements. Les données supplémentaires devront s'intégrer à l'intérieur des marges prévues, (plusieurs auteurs, Freudenthal [46], Cornell [53], Lind [76] et Sexsmith [77], ont éclairci ce concept).

Cornell était le premier à présenter un format de code consistant, basé sur les premiers et seconds moments de toutes les variables stochastiques [77]. Ce format est attrayant parce qu'il traite toute l'incertitude d'une manière unifiée et élégante. Le format proposé par Ang et Amin [74], au contraire de celui de Cornell, sépare explicitement les éléments de risque (variables avec une mesure connue de probabilité) des éléments de l'incertitude (variables avec une mesure inconnue de probabilité). Lind a étendu l'approche de Cornell et a présenté [76] une procédure générale et complète basée sur une méthode des moments. On peut considérer le format de Cornell comme un cas spécial tandis que celui d'Amin est réconcilié complètement avec le format de facteur de sécurité partiel dérivé par Lind. De plus, Lind a proposé un format linéaire de facteur de sécurité qui unit les idées dufformat ISO [79] avec celui de Cornell.

Dans un article récent, Lind [80] a présenté un format de nouveau type qui satisfait les conditions de l'invariance de translation, de multiplication, de contraintes renversées et l'incertitude quand les variables aléatoires de base ont des grandes variances.

5.3.4 Calibration du code

Une approche de mise en oeuvre immédiate des concepts de probabilité est l'ajustement de paramètres probabilistes de formats de code pour avoir des "designs" semblables aux codes actuels quand les données ne sont pas disponibles. Ce processus d'ajustement des paramètres est connu comme "calibration du code".

La définition de l'indice de sécurité β donnée par l'équation (4) peut s'écrire comme suit, dans le cas de deux composants des charges: D et L [81]:

$$m_R\ (1 - \alpha_{RS}) > m_D\ (1 + \alpha_{RS}\ \alpha_{DL}\ \beta\ V_D) + m_L\ (1 + \alpha_{RS}\ \alpha_{DL}\ \beta\ V_L) \qquad (9)$$

où: m_R et m_S sont respectivement les moyennes de R et S

σ_R et σ_S sont respectivement les écarts types de R et S

α_{RS} est le facteur de linéarisation de R et S

α_{DL} est le facteur de linéarisation de D et L

D et L dénotent respectivement la charge morte et la charge vive.

On peut identifier les termes de (9) aux termes de l'inégalité standard de "design":

$$\phi R_n > \gamma_D\ D_n + \gamma_L\ L_n \qquad (10)$$

dans laquelle ϕ, γ_D et γ_L sont des facteurs de sécurité individuels pour les résistances et les charges nominales R_n, D_n, L_n. Cette approche est appelée "Design Rationnel Intégré" parce que toutes les incertitudes sont exprimées d'une façon identique par les statistiques m et V (soit calculé, soit estimé) de toutes les variables stochastiques [59].

Suivant les grandes lignes ci-dessus, Ellyin et Benjannet [62] ont établi les coefficients de charge de résistance (tenant compte de leur nature stochastique) pour trois types de structures. Dans cette étude, l'indice de sécurité a été dérivé de la probabilité de ruine calculée en référence [57], en utilisant la simulation de Monte Carlo et comparé à une autre valeur jugée acceptable au Canada. Par exemple, dans le cas d'une colonne en béton armé chargé axialement, la figure (2) montre les facteurs de sécurité comme fonction de l'indice de sécurité, de la probabilité de ruine, du risque de mort dû à la ruine et du nombre de changements d'occupation de structure N.

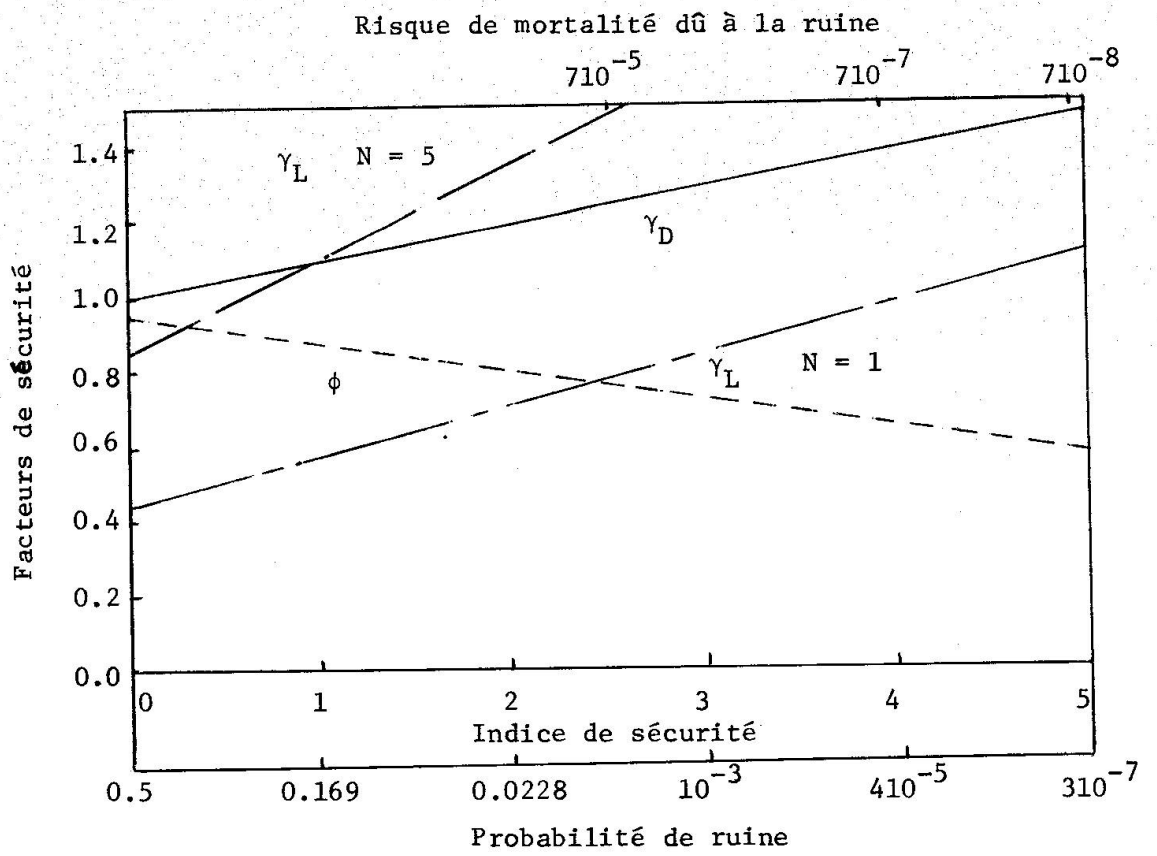

FIGURE 2 - Facteurs de sécurité pour l'analyse de la colonne en béton

Cette méthode montre, en plus de tenir compte de l'importance relative de charges, comment le caractère statistique complexe peut être abordé dans le concept simple de sécurité. Nous voyons que le choix de β est primordial dans "la lutte" économie-sécurité; si β augmente, les coefficients γ_L/ϕ et γ_D/ϕ augmentent, ce qui charge les sections et par suite pénalise l'économie pour une meilleure sécurité.

Remarques

En général le choix final d'une structure devrait passer la double grille: utilité-performance et performance-coût et gagner l'analyse bénéfices-coûts. Les coûts se composerong des coûts initiaux ainsi que de la perte de vie et de la détérioration de l'environnement dans son acceptation actuelle, etc., voir section 5.2. La question du coût nous amène au calcul du risque (probabilité) de ruine et ensuite au problème de l'optimisation. La détermination de la probabilité de ruine nous conduit au coeur même d'un design: le facteur de sécurité.

La tendance future de la recherche dans le domaine de la sécurité devra viser la proposition d'un format de code plus flexible convenant à chaque classe de structure. Il est souhaitable que la recherche procède dans deux directions complémentaires. Premièrement, les concepts de probabilité devraient être appliqués à des structures réelles et les paramètres probabilistes de formats ajustés aux paramètres des codes existants (calibration du code); par exemple, voir les références [62,81]. En second lieu, quand les données statistiques pour un type de structures sont suffisantes, la probabilité de ruine de certaines structures devrait être calculée selon les méthodes proposées dans la référence [57]. A partir des résultats obtenus par ces approches, on peut procéder à une optimisation des codes tel que proposée dans la référence [76].

En terminant, il faut mentionner que l'état général de l'art concernant le concept de sécurité jusqu'en 1971 a été résumé par le comité de travail du "STD-ASCE" [82]. Le même comité a récemment préparé une série d'articles [83] et donné un compte rendu de leurs activités.

Remerciements

La recherche sur la fiabilité des structures à l'Université de Sherbrooke a été rendue possible grâce à l'aide financière du Ministère de l'Education du Gouvernement du Québec et le Conseil National de Recherches du Canada.

Nous tenons à exprimer nos appréciations à madame Soheir Hamed Hosni pour sa recherche bibliographique. Nous exprimons aussi notre gratitude à messieurs les professeurs Niels C. Lind et Bernard Gallez pour avoir commenté la première ébauche de ce rapport.

6. LISTE DES SYMBOLES

D = charge morte (Dead Load)

D_n = charge morte nominale

L = charge vive (Live Load)

L_n = charge vive nominale

m_j = moyenne de j (j = R,D,L)

R = représente la résistance d'une section

R_n = résistance nominale

S = représente l'effet de la charge

V_i = coefficient de variation rattaché à i (i = M,F,P,T,E)

α = facteur de linéarisation: $(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}} = \alpha\ (x+y)$

β = indice de sécurité (relié à la probabilité de ruine)

γ_D = facteur de sécurité de la charge morte (code)

γ_L = facteur de sécurité de la charge vive (code)

ϕ = facteur de sécurité de la résistance (code)

σ_j = déviation standard de j

θ_i = coefficient de sécurité rattaché à i

7. BIBLIOGRAPHIE

[1] White, C.M., "Survey of Live Loads in Offices", *First Interim Report of the Steel Structures Research Committee*, H.M. Stationery Office, Londres, Angleterre, 1931, pp. 45-65.

[2] Dunham, J.W., "Design Live Loads in Buildings", *Trans. ASCE*, 112, 1947, pp. 725-744.

[3] Bryson, J.O. et Gross, D., "Techniques for the Survey and Evaluation of Live Floor Loads and Fire Loads in Modern Office Buildings", *U.S. Dept. Commerce, Nat. Bur. Bldg Sci. Series*, (16), 1968.

[4] Hasofer, A.M., "Statistical Model for Live Floor Loads", *J. Struc. Div., ASCE*, 94 (ST 10), 1968, pp. 2183-2196.

[5] Jauffred, F.J., "Carga viva en unidades de habitacion y oficina en el Distrito Federal", *Revista Ingenieria*, 1960, pp. 60-75.

[6] Karman, Th., "Statistical Investigations on Live Loads on Floors", *Comm. W. 23, CIB*, Madrid, Espagne, 1969.

[7] Heaney, A.C., "Space-Time Transformation of Live Load Data", *ASCE Nat. Struc. Engg. Meeting*, Baltimore, Maryland, avril 19-23, 1971, 12 p.

[8] Hanai, M., "Studies on Decision of Design Wind Load", *Report Inst. Sci.*, Serial 87, 12 (6), Tokyo University, Japon, 1963, 51 p.

[9] Davenport, A.G.; "Gust Loadins Factors", *J. Struc. Div., ASCE*, 93 (ST 4), 1967, pp. 11-34.

[10] Thom, H.C.S., "Distribution of Extreme Winds in The United States", *J. Struc. Div. ASCE*, 86 (ST 4), 1960, pp. 11-24.

[11] Thomas, F.G., "Load Factor Methods of Designing Reinforced Concrete", *Rein. Conc. Review*, 3 (8), 1955.

[12] Pierson, W.J. et Holmes, P., "Irregular Wave Forces on a Piles", *J. Wat. & Harb. Div., ASCE*, 91 (WW4), 1965, pp. 1-10.

[13] Ivy, R.J. et al., "Live Loading for Long Span Highway Bridges", *Trans. ASCE*, 119, 1954, pp. 981-994.

[14] Stephenson, K.H., "Highway Bridge Live Loads Based on Laws of Chance", *J. Struc. Div., ASCE*, 83 (ST 4), 1957, pp. 1-8.

[15] Tung, C.C., "Life Expectancy of Highway Bridges to Vehicle Loads", *J. Engg. Mech. Div., ASCE*, 96 (EM 6), 1969, pp. 1417-1428.

[16] Cudney, G.R., "Stress Histories of Highway Bridges", *J. Struc. Div,, ASCE*, 94 (ST 12), 1968, pp. 2725-2738.

[17] Stephenson, H.K., "Frequencies of Various Levels of Stress in Highway Bridges", *Proc. Highway Research Board*, 38, 1959, pp. 113-148.

[18] Galambos, C.F. et Heins, C.P., "Loading History of Highway Bridges Comparison of Stress Range Histograms", *presented at Highway Research Board Meeting*, Washington, D.C., 1971.

[19] Amer. Railway Engg. Assoc. Committee 30, "Summary of Tests on Steel Girder Spans", *Proc. Amer. Railway Engg. Assoc.*, 61, 1960, pp. 51-78.

[20] Amer. Railway Engg. Assoc. Special Committee on Impact, "Description and Analysis of Bridge Impact Tests Made on Short Open and Ballasted Deck Steel Bridges under Diesel and Steam Locomotives", *Proc. Amer. Railway Engg. Assoc.*, 46, 1945, pp. 190-434.

[21] Nishiki, T. et Shiraishi, S., "Overloads on Japan's 130 mph Railroad Structures", *J. Struc. Div., ASCE*, 96, (ST 6), 1970, pp. 1017-1023.

[22] Byers, W.G., "Impact from Railway Loading on Steel Girders Spans", *J. Struc. Div., ASCE*, 96 (St 6), 1970, pp. 1093-1103.

[23] Rosenblueth, E., "Probabilistic Design to Resist Earthquakes", *J. Engg. Mech. Div., ASCE*, 90 (EM 5), 1964, pp. 189-220.

[24] Benjamin, J.R., "Probabilistic Models for Seismic Force Design", *J. Struc. Div., ASCE*, 94 (ST 5), 1968, pp. 1175-1196.

[25] Alford, J.L., Housner, G.W. et Martel, R.R., "Spectrum Analysis of Strong Motion Earthquakes", *Report of the Earthquake Engineering Research Laboratory*, California Institute of Technology, Pasadena, Calif., 1964.

[26] Ward, H.S., "Analog Simulations of Earthquake Motions", *J. Engg. Mech. Div., ASCE*, 91 (EM 5), 1965, pp. 173-190.

[27] Jennings, P.C., Housner, G.W. et Tsai, N.C., "Simulated Earthquake Motions", *Report of Earthquake Engineering Research Laboratory*, California Institute of Technology, Pasadena, Calif., avril 1968.

[28] Rascon, O.A. et Cornell, C.A., "Strong Motion Earthquake Simulation", *Report No. R 68-15*, Dept. Civ. Engg., MIT, Cambridge, Mass., avril, 1968.

[29] Hou, S.N., "Earthquake Simulation Models and their Applications", *Report No. R 68-17*, Dept. Civ. Engg., MIT, Cambridge, Mass., mai 1968.

[30] Levy, R., "Random Process for Earthquake Simulation", Ph.D. Thesis, Polytechnic Institute of Brooklyn, New York, N.Y.

[31] Wright, D.T. et McClorry, B.B., "The Analysis of Snow Loads with Application to Snow Loads in British Columbia", *Engg. J., EIC Trans.* 8 (A 2), 1965.

[32] *Metallic Materials and Elements for Flight Vehicle Structures* (MIL-HDBK-5) Superintendent of Documents, Washington, D.C., 1966.

[33] Smith, F.C., "The True Design Strength of Materials and Joints", *Machine Design*, 38, 1966, pp. 181-189.

[34] Hangen, E.B., "Statistical Strength Properties for Common Metals Alloys", *Report No. SID 65-1274*, North American Aviation, Inc., octobre 1965.

[35] Wiley, J.T. et Scott, M.B., "An Investigation of Fatigue Failures in Structural Members of Ore Bridges under Service Loadings", *Amer. Railway Engg. Assoc. Proc.*, 57, 1956, pp. 175-297.

[36] Munse, W.H., Fuller, J.R. et Peterson, K.S., "Cumulative Damage in Structural Joints", *Amer. Railway Engg. Assoc. Proc.*, 60, 1959, pp. 67-128.

[37] Munse, W.H., Wright, D.T. et Newmark, N.M., "Laboratory Tests of High Tensile Bolted Structural Joints", *Trans. ASCE*, 120 (441), 1955, pp. 1299-1318.

[38] McIntosh, J.D., *Concrete and Statistics*, CR Books Ltd., 1963.

[39] Ekberg, Jr., C.E., Walther, R.E. et Slutter, R.G., "Fatigue Resistance of Prestressed Concrete Beams in Bendings", *J. Struc. Div., ASCE*, 83 (St 4), 1957, pp. 1304-1307.

[40] Julian, O.G., "Synopsis of First Progress Report of Committee on Factors of Safety", *J. Struc. Div., ASCE*, 83, (ST 4), 1957, pp. 1316-1322.

[41] Costello, J.F. et Chu, K.H., "Failure Probabilisties of Reinforced Concrete Beams", *J. Struc. Div. ASCE*, 95 (ST 10), 1969, pp. 2281-2304.

[42] Elstner, R.C. et al., "Shear Strength of Reinforced Concrete Beams, Part 3- Tests of Restrained Beams with Web Reinforcement", *ACI J.*, 26 (6), 1955, pp. 525-539.

[43] Moody, J.G. et al., "Shear Strength of Reinforced Concrete Beams, Part 1, Tests of Simple Beams", *ACI J.*, 26 (4), 1954, pp. 317-332.

[44] Moody, K.G. et al., "Shear Strength of Reinforced Concrete Beams, Part 2- Tests of Restrained Beams Without Web Reinforcement", *ACI J.*, 26 (5), 1955, pp. 417-434.

[45] Moody, K.G. et Viest, I.M., "Shear Strength of Reinforced Concrete Beams, Part 4- Analytical Studies", *ACI J.*, 26 (7), 1955, pp. 697-730.

[46] Freudenthal, A.M., "Safety of Structures", *Trans. ASCE*, 112, 1947, pp. 125-180.

[47] Asplund, S.O., "Probabilities of Traffic Loads on Bridges", *Proc. ASCE*, 81 (585), 1955.

[48] Prot, M., "Vues actuelles sur la notion du coefficient de sécurité", *Génie Civil*, 123 (16), 1946, p. 219.

[49] Pugsley, A.G., "Concepts of Safety in Structural Engineering", *J. Instn. Civ. Engg.*, 33 (3), 1959, pp. 353-362.

[50] Freudenthal, A.M., "Safety and the Probability of Structural Failure", *Trans. ASCE*, 121, 1956, pp. 1337-1375.

[51] Freudenthal, A.M., Garretts, J.M. et Shinozuka, M., "The Analysis of Structural Safety", *J. Struc. Div., ASCE*, 92 (ST 1), 1966, pp. 267-325.

[52] Brown, C.B., "Concepts of Structural Safety", *J. Struc. Div., ASCE*, 86 (ST 12), 1960, pp. 39-57.

[53] Cornell, C.A., "Bounds on the Reliability of Structural Systems", *J. Struc. Div., ASCE*, 93 (ST 1), 1967, pp. 171-200.

[54] Allen, D.E , "Limit State Design - A Unified Procedure for the Design of Structure", *Engg. J., EIC*, 53 (2), 1970, pp. 19-29.

[55] Warner, R.F. et Kabaila, A.P., "Monte-Carlo Study of Structural Safety", *J. Struc. Div., ASCE*, 94 (ST 12), 1968, pp. 2847-2859.

[56] Misteth, E., "New Method for Determination of the Limit Bearing Force by Using the Probability Calculus", *Acta Technica, Academiae Scientiarum Hungaricae*, 53, 1966, pp. 297-324.

[57] Ellyin, F. et Ghannoum, E., "An Assessment of Reliability of Structures", *Engg. J., EIC*, 55 (1/2),1972, pp. I-VI, aussi EIC Trans. 15 (A-1).

[58] Ang, A.H.S. et Amin, M., "Reliability of Structures and Structural Systems", *J. Engg. Mech. Div., ASCE*, 94 (EM 2), 1968, pp. 559-583.

[59] Cornell, C.A., "A Probability Based Structural Code", *ACI J.*, 66 (12), 1969, pp. 974-985.

[60] Ravindra, M.K., Heaney, A.C. et Lind, N.C., "Probabilistic Evaluation of Safety Factors", *IABSE Symposium on Concepts of Safety of Structures and Methods of Design*, Londres, Angleterre, 1969, Rapport final, IABSE, Zurich, Suisse, 1969, pp. 35-46.

[61] Cornell, C.A., "A First Order Reliability Theory for Structural Design", dans le *Structural Reliability and Codified Design*, Lind, N.C., ed. SM Study No. 3, University of Waterloo, Waterloo, Ont., 1970, pp. 87-111.

[62] Benjannet, H., "Contribution à la fiabilité des structures", *mémoire de maîtrise, IV* (100), Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Que., 1972.

[63] IABSE, *Symposium on Concept of Safety of Structures and Methods of Design*, Londres, Angleterre, 1969, Rapport final, IABSE, Zurich, Suisse, 1969, pp. 1-322.

[64] Johnson, A.I., "Strength, Safety and Economical Dimensions of Structures", *Bulletin (12)*, Div. Bldg Statist. Struc. Engg., Royal Institute of Technology, Stockholm, Suede, 1953.

[65] Paez, A. et Torroja, E., "La determination del cofficiente de seguridad en las distintas obras", *Institu Technico de la Construction y del Cemento*, Madrid, Espagne, 1959.

[66] Borgman, L.E., "Risk Criteria", *J. Wat. & Hab. Div., ASCE*, 89 (WW3), 1963, pp. 1-35.

[67] Bouton, I., "Implementation of Reliability Concepts in Structural Design Criteria", *4th Cong. Int. Council Aero. Sci.*, Paris, France, 1964, (AIAA paper 64-571).

[68] Benjamin, J.R. et Lind, N.C., "A Probabilistic Basis for a Deterministic Code", *ACI J.*, 66 (11), 1969, pp. 857-865.

[69] Shah, H.C., "The Rational Probabilistic Code Format", *ACI J.*, 66 (9), 1969, pp. 689-697.

[70] Torroaja, E., *Philosophy of Structures*, University of California Press, Berkeley, Calif., 1958.

[71] Rowe, R.E., "Current European Views on Structural Safety", *J. Struc. Div., ASCE*, 96 (ST 3), 1970, pp. 461-467.

[72] Basler, E., "Analysis of Structural Safety", *ASCE Annual Convention*, Boston, Mass. 1960.

[73] Su, H.L., "Philosophical Aspect of Structural Design", *J. Struc. Div.*, *ASCE*, 87 (ST 5), 1961, pp. 1-17, aussi voir, 88 (ST 4), 1962, pp. 209-211.

[74] Ang. A.H.S. et Amin, M., "Safety Factors and Probability in Structural Design", *J. Struc. Div.*, *ASCE*, 95 (ST 7), 1969, pp. 1389-1405.

[75] Lind, N.C., "Consistent Partial Safety Factors", *J. Struc. Div.*, *ASCE*, 97 (ST 6), 1971, pp. 1651-1670.

[76] Lind, N.C., *Theory of Codified Structural Design*, Solid Mech. Div., University of Waterloo, Waterloo, Ont., 1972.

[77] Sexmith, R.G. et Nelson, M.F., "Limitations in Application of Probabilistic Concepts", *ACI J.*, 66 (10), 1969, pp. 823-828.

[78] Cornell, C.A., "Structural Safety Specifications Based on Second Moment Reliability Analysis", *IABSE Symposium on Concepts of Safety of Structures and Methods of Design*, Londres, Angleterre, 1969, Rapport final, IABSE, Zurich, Suisse, 1969, pp. 235-245.

[79] "General Principles for the Verification of Safety", Draft for ISO/TC/98, 13th Plenary Session, Delft, Hollande, *Comité Européen du Béton*, 1969.

[80] Lind, N.C., "An Invariant Second Moment Probability Format", *J. Struc. Div.*, *ASCE*, (à paraître).

[81] Ravindra, M.K., Lind, N.C. et Siu, W., "Examples of Code Calibration", *J. Struc. Div.*, *ASCE*, (à paraître).

[82] The Task Committee on Structural Safety, "Structural Safety - A Literature Review", *J. Struc. Div.*, *ASCE*, 98 (ST 4), 1972, pp. 845-884.

[83] The Task Committee on Structural Safety, "Modern Concepts of Structural Safety and Design", *ASCE Nat. Struc. Engg. Meeting*, San Francisco, Calif., avril 1973.

RESUME

L'assurance d'une sécurité convenable est l'objectif le plus important dans la conception de structures. Les charges et les résistances sont toutes des variables stochastiques; donc l'analyse de sécurité devra être basée sur la théorie de là probabilité. Les deux premiers chapitres de ce rapport résument les travaux faits dans les domaines des charges et des résistances afin que des distributions de variables statistiques puissent être postulées pour l'analyse de sécurité et de fiabilité. Ensuite, l'analyse de la fiabilité des structures et les aspects de conception rationnelle ont été discutés dans les deux chapitres suivants. Les notions de fiabilité et de conception rationnelle sont explicitées pour le cas d'un élément structural comprimé (colonne) en béton armé.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Gewährleistung einer vernünftigen Sicherheit ist das wichtigste Ziel beim Entwurf von Bauwerken. Die Lasten sowie auch die Widerstände sind stochastische Grössen, weshalb die Sicherheitsuntersuchungen auf der Basis der Wahrscheinlichkeitstheorie durchzuführen sind. Die beiden ersten Kapitel dieses Berichtes fassen die Arbeiten zusammen, die auf den Gebieten Last und Widerstand für die Untersuchung von Sicherheit und Zuverlässigkeit die Verteilung der statistischen Grössen bereitstellen. Anschliessend werden in zwei Kapiteln die Untersuchung der Zuverlässigkeit von Bauwerken sowie die Gesichtspunkte einer rationellen Konzeption diskutiert. Der Begriff Zuverlässigkeit und derjenige einer rationellen Konzeption werden für den Fall eines Stahlbeton-Druckgliedes näher umrissen.

SUMMARY

The guarantee of a reasonable safety is the most important aim in the design of structures. The loads as well as the resistances are stochastic values, wherefore studies concerning safety have to be performed on the basis of the probability theory. The first two chapters of the present paper are summarizing the works undertaken in the field of loads and resistances so that the distribution of the statistic variables can be provided for the analysis of safety and reliability. In the following two chapters the analysis of the safety of structures and the aspects of a rational conception are discussed. The notion of reliability and of a rational conception are studied for the case of a concrete compression member.

Leere Seite
Blank page
Page vide