

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 3 (1948)

Artikel: Analyse de la notion de sécurité et sollicitations dynamiques des
constructions

Autor: Campus, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-4041>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.11.2024

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

V

Analyse de la notion de sécurité et sollicitations dynamiques des constructions

Begriff der Sicherheit und dynamische Beanspruchung von Bauwerken

Analysis of safety and effect of dynamic forces

Rapport général - Generalreferat - General Report

PROF. F. CAMPUS

Professeur à l'Université de Liège

I

Le thème de la sécurité est toujours, au moins d'une manière implicite, à l'ordre du jour d'un Congrès international des Ponts et Charpentes. Il était d'ailleurs explicitement inscrit aux programmes des congrès de Vienne (1928) et de Berlin (1936), pour certains aspects particuliers. Inclure au programme du Congrès de Liège l'analyse de la notion de sécurité, analyse que le détail du libellé de la question suggère complète, dénote un grand dessein et confronte les rapporteurs avec une entreprise ardue.

Heureusement que le développement limité des rapports les dispense de l'accomplir littéralement : un volume y suffirait à peine, en étant bref. Ma tâche est facilitée par le caractère général de la plupart des rapports particuliers, déterminé par l'énoncé même du thème. Cependant aucun de ces rapports ne traite l'ensemble de la question, mais principalement une partie. Il est remarquable que ces rapports ne soient pas contradictoires, mais qu'ils se complètent. De telle sorte que, réunis, ils forment à peu près un rapport général intégral, plat copieux auquel il ne m'incombe plus que d'ajouter certains condiments. Il en ressort que la notion de sécurité est devenue une conception complexe et nullement simple.

Les progrès scientifiques et industriels des dernières décades l'ont développée en surface plutôt qu'en profondeur. L'ancienne solution des tensions admissibles est certes devenue désuète, simple et claire qu'elle est comme la foi des premiers âges, mais si peu adéquate à notre besoin de rationali-

sation. Le coefficient de sécurité est une notion plus souple, plus universelle, mais combien plus indéterminée. Les difficultés et les divergences d'opinions naissent dès la définition; il est bien malaisé de se mettre d'accord seulement sur la limite à laquelle il sera appliqué. L'application *sûre* du coefficient de sécurité oblige à serrer la vérité d'aussi près que possible, à ne négliger aucune éventualité. On arrive ainsi à constater que, dans les ouvrages exécutés, les limites de sécurité sont dépassées sans qu'il en résulte d'insécurité apparente. C'est là un fait troublant, qui a alimenté les vives discussions des quatre derniers lustres à propos de la notion de sécurité et qui a permis d'aller jusqu'à exprimer que la notion du coefficient de sécurité n'a pas de sens réel (Intervention du Prof. N. Streletzky, Moscou, au Congrès de Vienne 1928 — *Compte rendu*, p. 263). Ce nihilisme est scientifiquement défendable, mais aide-t-il à construire? On peut le défendre et considérer l'esprit critique comme un excellent auxiliaire pour les constructeurs qui sont aptes à poursuivre à la fois la volupté de construire et la passion de savoir. Il y aura toujours, des constructeurs savants de même que des constructeurs inspirés. Il est même habituel que tout honnête constructeur ait acquis certaines notions propres de sécurité sur certains points particuliers et dont il se sert avec plus ou moins de bonheur.

L'art de la construction reste, par la force des choses et en dépit de l'esprit du temps, une profession *libérale en soi*, c'est-à-dire une profession de création, dans laquelle la proscription de toute initiative personnelle est impossible. Cela n'empêche pas la nécessité d'une codification de la sécurité. Non seulement cette codification doit mettre prudemment des barrières aux initiatives inconsidérées, mais en outre elle doit permettre de trancher les litiges qui peuvent naître de ces initiatives.

La conclusion principale qui se dégage de la lecture des divers rapports particuliers présentés au Congrès sur l'analyse de la notion de sécurité, ainsi que des rapports et discussions des Congrès de Vienne et de Berlin sur des sujets connexes et des mémoires publiés sur la même matière par l'Association internationale des Ponts et Charpentes, enfin de quelques autres publications récentes, est la nécessité de l'établissement d'une codification détaillée de la sécurité des constructions. Certes, cette codification devra être aussi uniforme que possible, inspirée de règles aussi constantes et universelles que possible, mais il n'est plus possible de régler la notion de sécurité d'une manière pratique par quelques principes généraux et un petit nombre de données numériques.

Un code de sécurité ne pourra faire droit à toutes les subtilités de la science; il résultera nécessairement d'un compromis entre les conceptions scientifiques et les nécessités pratiques. Au point où les questions scientifiques sont élucidées, on peut estimer qu'un code de la sécurité pourrait actuellement tirer parti d'une manière très étendue des acquisitions de la science, d'une façon très satisfaisante pour celle-ci et très avantageuse pour la pratique. La complication que le progrès scientifique a engendrée déjà dans la construction est telle que l'on éprouvera de plus en plus le besoin de se servir de codes ou du moins de s'y référer. Cette manière de faire est si ancienne dans d'autres professions que la codification est devenue elle-même une vraie science. Ainsi en sera-t-il pour la construction. Certains développements présentés au Congrès de Liège, notamment par les rapporteurs français, l'établissent nettement. Ces codes seront d'ailleurs à revoir dans l'avenir, selon l'évolution des faits scientifiques, d'une manière analogue à l'action des changements moraux et sociaux sur les codes juridiques et politiques.

Notons ici que l'établissement de ces codes fait appel nécessairement à de nombreuses compétences. Au point de vue de la construction, le concours du praticien et de l'ingénieur d'étude sera aussi nécessaire que celui du théoricien et du chercheur de laboratoire. Mais on ne peut pas perdre de vue qu'il faudra aussi recourir aux chercheurs et aux contrôleurs du laboratoire d'essais des matériaux, au chimiste, au physicien et même au mathématicien-statisticien. C'est-à-dire que le sujet déborde largement du domaine amplement considéré de l'Association internationale des Ponts et Charpentes.

Un premier point à définir est le *critère de sécurité* auquel s'appliquera le coefficient de sécurité. Les rapports de M. M. Prot et de M. A. M. Freudenthal distinguent judicieusement à ce sujet entre la ruine par mise hors de service et la ruine par rupture. Donc, l'*élément* ou *facteur critique* n'est pas unique mais varie selon les cas. C'est ce qui a conduit les rapporteurs particuliers à écarter de leurs considérations des dispositifs de construction cependant explicitement prévus dans le détail du thème V. En se limitant même au domaine des ponts et charpentes dans un sens assez restreint, il n'est pas permis de distraire de la sécurité de l'ensemble celle des murs de soutènement, des piles, des culées et des fondations, non plus que les couvertures, les clôtures, les revêtements, les voies ferrées, etc.

Pour les murs et les fondations, la notion du coefficient de sécurité est liée non seulement à la nature des matériaux, d'ailleurs complexe, mais aux formes, aux excentricités de l'action des forces autant qu'à leurs variations, aux déformations, etc.

Il est impossible d'appliquer le coefficient de sécurité à une tension limite, à une charge limite ou à une excentricité limite. Il faut tenir compte simultanément de tous ces facteurs, en même temps que des déformations, qui sont susceptibles de les faire varier. Si on ajoute à cela l'impossibilité habituelle d'un calcul exact de la répartition des tensions et des déformations, on doit reconnaître que la notion rationnelle de sécurité est évanouissante. C'est ce qui explique que se conservent encore des notions aussi arbitraires et dénuées de signification physique vraie que les coefficients de stabilité au renversement, au glissement, etc., mais qui sont d'usage commode.

Si l'on s'en tient au sens le plus restreint du domaine des ponts et charpentes, on songera surtout à la résistance de pièces en métal, en bois, en béton ou en béton armé, voire en maçonnerie, au sens de la résistance des matériaux. Grâce aux simplifications idéales que cette science apporte aux réalités généralement plus complexes, on a l'impression de se trouver en présence de problèmes plus simples et plus uniformes. Cette disposition d'esprit est vraisemblablement influencée par les réminiscences de la méthode ancienne, simple et uniforme, des tensions admissibles. Mais l'étude plus approfondie du comportement de ces matériaux en dehors de la zone des déformations élastiques dans les divers cas de sollicitation et de la répercussion des déformations plastiques sur la résistance des constructions hyperstatiques, a considérablement compliqué la question, en ce sens qu'elle a multiplié les critères de sécurité. La limite d'élasticité a acquis à ce point de vue une importance comparable à la tension de rupture, cependant que diverses limites d'endurance et, éventuellement pour des constructions précontraintes, des limites de fluage ou de relaxation peuvent entrer en ligne de compte. On se référera à ce sujet au rapport de M. A. M. Freudenthal. Pour les sollicitations isostatiques purement homo-

gènes, en dehors de tout risque d'instabilité, on peut admettre qu'il existe entre ces diverses limites un rapport statistique moyen, indépendant de la forme de la section, de telle sorte que la complication est plus apparente que réelle. Mais pour les sollicitations isostatiques hétérogènes et composées, d'après la théorie de la plasticité, ces rapports varient selon la forme de la section. La question se complique encore du fait que, pour la flexion par exemple, la rupture franche est irréalisable pour divers matériaux et que la sollicitation admissible est limitée par des déformations ou des fissurations qu'il est éventuellement impossible de rapporter à un critère de tension limite en période de déformation élastico-plastique ou purement plastique. Le critère de sécurité est alors une déformation limite.

On sait, par les travaux du Congrès de Berlin en 1936, combien la question se complique encore lorsqu'il s'agit de constructions hyperstatiques, même en cas de sollicitation purement homogène. Il peut, selon les cas, se produire que le critère de sécurité soit la limite élastique, ou une capacité de charge limite (rapportée à des cas de sollicitation bien déterminés, mais impossible à définir sous l'effet de forces mobiles quelconques) ou enfin une déformation limite. En cas de sollicitation variable, il y a des réserves à faire au sujet de ces critères en ce qui concerne l'endurance, qui ne peuvent être éventuellement résolues que par des expériences particulières.

Les problèmes d'instabilité paraissent aussi, à première vue, ne comporter qu'un seul critère, celui de la charge maximum admissible. Mais même dans le cas le plus classique de la pièce comprimée entre ses abouts, cela n'est plus tout à fait suffisant que pour le domaine du flambage eulérien, dans lequel existe une charge critique ou, ce qui revient au même, une tension critique. Mais pour le cas du flambage au delà de la limite élastique, celle-ci ou des limites de déformation sont à prendre en considération selon l'occurrence, compte tenu des effets des excentricités accidentelles ou autres. Il ne s'agit là d'ailleurs que des cas les plus simples. L'étude de l'instabilité des éléments de construction a pris un tel développement et concerne des cas de sollicitation et des éléments si divers qu'elle est devenue une science spéciale, analogue à celle des vibrations, avec laquelle elle a beaucoup de rapports.

L'étude de M. D. Efstratiadis (*Le coefficient de sécurité comme base du calcul des constructions métalliques*), parue dans le premier volume des *Mémoires de l'A. I. P. C.* (1932), constitue un exposé très compréhensif et systématique de la notion du coefficient de sécurité pour les constructions métalliques seulement. Cependant, sans sortir des considérations qui précèdent, il contient des lacunes dont certaines sont signalées par l'auteur (notamment en ce qui concerne les cas d'instabilité sous charges variables dynamiquement). Les développements de la théorie de la plasticité et de celle de l'instabilité en ont engendré de nouvelles depuis lors.

Dans son rapport présenté au Congrès, M. J. Dulheil expose une nouvelle conception systématique, appliquée aux ossatures métalliques seulement. Il y englobe les acquisitions plus modernes de la plasticité et une conception probabiliste des critères de sécurité relatifs à la matière. Mais son système cohérent est susceptible d'être complété dans le domaine des sollicitations dynamiques et de la multitude des cas d'instabilité, c'est-à-dire présente encore une partie des lacunes de l'étude de M. Efstratiadis.

Le point commun de ces deux publications est la recherche systématique d'une conception et même d'une valeur uniforme du coefficient de

sécurité. C'est une tendance naturelle des esprits rationnels. Tout en condamnant l'ancienne méthode des tensions admissibles, jugée périmée, les auteurs semblent cependant rester sous l'impression de sa simplicité et de son unité de doctrine, toute sommaire qu'elle soit. Ils ont intégré dans leurs études un certain nombre d'acquisitions scientifiques; il semble qu'il y aurait mauvaise grâce à exiger davantage sur ce point. Mais l'intérêt et le mérite de leurs suggestions ne permettent pas de ne pas reconnaître, objectivement, qu'elles sont encore loin d'être universelles. Elles ne se rapportent d'ailleurs qu'aux constructions métalliques et encore présentent-elles des lacunes dans ce domaine, même si elles concernent les cas de sollicitations et les éléments les plus courants. Il faut bien noter que ce ne sont pas les cas courants, généralement les mieux connus, qui risquent d'embarrasser les constructeurs, mais précisément les cas exceptionnels ou nouveaux.

Si l'on envisage la question dans le sens indiqué par le libellé détaillé du thème examiné, et que l'on ajoute à la sécurité à l'égard de la mise hors service par déformation, fissuration ou rupture, que l'on peut admettre comme considérée généralement ci-dessus, celle à l'égard de la mise hors service par usure de l'ensemble ou de certains éléments de l'ouvrage, il apparaît qu'il y aurait certes lieu d'ajouter bien des compléments, rien que pour la construction métallique.

La question de fissuration évoquée ci-dessus est loin d'être élucidée; elle pose encore de sérieux problèmes. Son origine même est mal définie, eu égard au fait que la fissure peut être originelle, propre à l'ouvrage et préalable à sa mise en charge. On cherche à dépister ces fissures par des moyens de contrôle non destructifs. Il y a là des phénomènes qui sont indépendants de la ductilité. Ils doivent inciter à une réelle prudence à l'égard de l'emploi de la limite d'élasticité comme critère de sécurité et à l'égard de l'utilisation de la théorie de la plasticité, aussi à ne pas perdre entièrement de vue le critère de la tension de rupture.

Sans quitter le domaine de la construction métallique, l'effet des charges mobiles sur le danger de rupture ne paraît pas entièrement ou généralement aussi élucidé que celui des charges statiques, encore que des progrès très importants aient été accomplis, non seulement dans les recherches très poussées, surtout celles de M. le professeur M. Roš, mais aussi dans la prise en considération générale de ces effets. En d'autres termes, il s'agit de la considération des effets de la durée ou du temps autres que ceux concernant l'usure ou la corrosion. Mais il y a aussi l'effet des actions agissant dans des temps très courts, c'est-à-dire des chocs ou des explosions. Dans ce domaine, la définition de critères de sécurité paraît bel et bien inexistante, tant la mesure des effets est encore à ses débuts.

Puisqu'il est question de sécurité, il semble qu'il faudrait du moins disposer de critères de sécurité *certaines*. Par le fait même, ces critères ne pourraient être qu'arbitraires, c'est-à-dire déterminés par la volonté humaine, non par l'observation des phénomènes. Ce peut être le cas du critère de déformation critique, choisi selon des considérations plus ou moins rationnelles ou pratiques; peut-être aussi des critères de sécurité contre l'usure, la corrosion, etc. Mais en ce qui concerne les critères de sécurité mécaniques: limite élastique, tension de rupture, charge limite d'instabilité, etc., bref tous ceux qui résultent des essais de résistance des matériaux, ils sont tous sujets aux écarts, à la dispersion des résultats d'expérience. C'est-à-dire que leur détermination est statistique et non *cer-*

taine; même les valeurs extrêmes et moyennes ne sont pas *absolument* certaines, Cela tient à la fois aux erreurs systématiques et accidentelles d'expérience et à la dispersion naturelle des qualités de la matière.

La dispersion est particulièrement grande dans la mesure des grandeurs de résistance mécanique, en raison de leur nature même. Selon la remarque pénétrante de M. P. Chevenard, alors que toutes les mesures physiques de la matière donnent des moyennes (poids spécifique, conductibilité thermique, résistivité, etc.), les mesures mécaniques de résistance donnent des accidents, les valeurs aux points les plus faibles.

Ceci introduit la notion et la théorie des probabilités dans la conception du critère de sécurité lorsqu'il est une tension ou une charge critique. Cette notion n'est évidemment pas nouvelle. La dispersion des résultats a été inévitablement observée depuis longtemps dans les essais des matériaux. Les statistiques de ces résultats sont d'usage déjà ancien; l'emploi des courbes de fréquence ou courbes des écarts et des courbes monotones ou courbes des fréquences cumulées est classique dans les essais des matériaux. Mais les conséquences à en tirer n'ont généralement pas été suffisamment appréciées par les utilisateurs, moins encore par certains producteurs, pour la fixation des valeurs normales des critères de sécurité. On a pu constater par exemple que pour certains ciments réputés de qualité exceptionnelle, les normes de réception avaient été fixées à une valeur trop élevée par rapport à la courbe monotone des résultats des essais, d'où des ennuis fréquents de réception. Ainsi que l'a fait remarquer M. Prot depuis de nombreuses années déjà, les courbes de fréquence des qualités mécaniques des matériaux très spéciaux, réputés de haute qualité, notamment des aciers, peuvent indiquer une dispersion beaucoup plus grande que celles des matériaux de qualité courante. Il en résulte que ces hautes qualités sont plus aléatoires, ce qui est tout à fait compréhensible eu égard aux difficultés de production industrielle de produits de qualités limites d'une catégorie de matériaux. Si l'on veut que les probabilités de ne pas avoir des valeurs moindres des critères mécaniques de sécurité pour les deux produits soient égales, l'écart entre les produits de qualité courante régulière et ceux de qualité exceptionnelle irrégulière s'atténue. Cela ne signifie nullement qu'il ne faut pas poursuivre la perfection de la qualité des matériaux, mais que la régularité est indispensable pour assurer une qualité. Les observations du rapport de M. M. Cassé sur la courbe de dispersion des résultats d'essais sur divers aciers doux établissent les effets, sur la régularité des fournitures, de conditions de réception bien définies et appliquées; un résultat aussi favorable dénote aussi la fixation judicieuse de ces conditions.

Un phénomène inverse a été constaté en Belgique pendant les premières années de la réception des bétons pour routes. Les courbes de fréquence des résultats des essais de diverses années successives ont montré que les résistances, dont les valeurs dépassaient considérablement les normes fixées pendant la première année, ont régulièrement diminué les années suivantes pour se rapprocher de plus en plus des normes.

L'influence des conditions de réception sur les qualités courantes de matériaux est mise en lumière par ces remarques, ainsi que l'importance des méthodes de statistique mathématique pour l'établissement des valeurs des critères de sécurité.

L'incidence de ces considérations sur la notion de sécurité a déjà été observée précédemment. M. A. J. Moe cite une référence à ce propos dans

son rapport particulier. M. G. von Kazinczy y a fait allusion dans sa contribution au Congrès de Vienne de 1928 (*Compte rendu*, p. 252). Le groupe des rapporteurs français MM. M. Prot, R. Levi, M. Cassé et J. Dutheil y a consacré un travail coordonné du plus haut intérêt et qui pousse les bases de la question plus loin que cela n'avait été fait auparavant. L'un d'eux, M. M. Prot, a écrit déjà de nombreuses publications au sujet des statistiques des résultats des essais de réception. Cet ensemble de rapports est si explicite et si fondamental qu'il est superflu d'y revenir. Le rapport général pourra se borner à de brefs commentaires. Le dessein poursuivi par les rapporteurs français est certes de permettre l'utilisation la plus poussée de la matière sans risque important de ruine par rapport au critère de sécurité choisi. Ceci ne touche pas à la validité du critère, mais seulement à son exploitation. Cette exploitation est rendue aussi rationnelle que possible par le fait que l'on prend en considération simultanément la dispersion du critère de sécurité R et celle de la tension dangereuse réelle P . La condition de sécurité est exprimée sous la forme de la probabilité de ruine, c'est-à-dire de la probabilité que $P > R$ ou $P - R > 0$; cette probabilité doit être assez petite, par exemple $1 \cdot 10^{-5}$ ou $1 \cdot 10^{-6}$. Elle dépend des valeurs moyennes de P et de R et de leurs écarts moyens ou des unités d'écart, résultant d'un ajustement des courbes réelles de fréquence à une courbe normale de Laplace-Gauss.

Dès lors, si l'on connaît la valeur moyenne R_0 de R et les écarts moyens de P et de R , on en déduit la valeur moyenne P_0 de P qui réalise la probabilité prévue et, par le fait même, le coefficient de sécurité $\frac{R_0}{P_0}$. Un exemple de cette nature figure au rapport de M. Cassé. Il est intéressant de signaler des résultats de même nature figurant dans un mémoire de M. W. Wierzbicki, présenté à la séance du 14 novembre 1936 de l'Académie polonaise des Sciences techniques à Varsovie, intitulé *La sécurité des constructions comme un problème de probabilité* (*Annales de l'Académie polonaise des sciences techniques*, tome VII, 1939-1945). L'identité de principe est complète. Elle constitue une confirmation remarquable de la conception. Ces résultats sont très intéressants, mais pas absolument concluants. Cela ressort explicitement du rapport de M. Cassé, implicitement du mémoire de M. Wierzbicki. L'ajustement de la courbe de fréquence réelle du critère de sécurité à une courbe normale de Laplace-Gauss soulève des difficultés qui influent sur le résultat. Ce qui paraît encore plus imprécis, c'est la dispersion ou la probabilité d'écarts de la tension dangereuse réelle. Il n'est pas certain que les résultats plausibles obtenus ne résultent pas principalement d'ajustements heureux, auquel cas ils restent plus ou moins arbitraires. L'application pratique de la méthode est subordonnée à la solution de ces difficultés. Ce point est admis par les rapporteurs français, qui ne font actuellement que poser les principes et rapportent par ailleurs deux projets de détermination statistique de critères de sécurité, à titre d'exemples.

L'intérêt de la question est très grand et très réel, encore qu'elle fasse appel à des notions qui jusqu'à présent n'ont guère été usitées en matière de construction et ne seront dès lors pas de compréhension généralement facile. Elle constitue une importante contribution à l'analyse de la notion de sécurité, elle oriente très judicieusement l'évolution de cette notion et même l'évolution de la qualité des matériaux qui, à des époques récentes, a été peut-être inspirée parfois davantage par la poursuite du record que par

la préoccupation de la régularité. Or, le rapport de M. Cassé tend à établir qu'une même probabilité de ruine, donc une même sécurité, permet d'user d'une tension admissible plus élevée pour un acier régulier que pour un acier irrégulier, bien que ce dernier possède une valeur moyenne plus élevée de résistance à la rupture. La même conclusion existerait naturellement quant à la limite élastique.

Les courbes de fréquence réelles des résultats d'essais sont comprises entre des valeurs extrêmes; elles ne sont pas asymptotiques comme la courbe normale de Laplace-Gauss. L'ajustement peut donc paraître d'autant plus difficile que la dispersion est moindre, mais il a aussi d'autant moins d'importance. Pour les dispersions assez grandes, l'ajustement doit porter surtout sur les valeurs les plus faibles, ce qui exige un grand nombre d'essais. La tension admissible pourra être établie avec d'autant plus de sûreté et être d'autant plus élevée éventuellement que l'on aura fait plus d'essais.

Il en résulte que les frais de réception, qui ne sont généralement pas très élevés, peuvent être compensés par des économies supérieures de matière. Pour autant que leurs moyens le permettent, les laboratoires d'essais des matériaux devraient disposer des services de mathématiciens-statisticiens.

Ceci implique la nécessité de procéder encore à de nombreux essais très systématiques, comme l'indiquent MM. Cassé et Prot, cela non seulement pour les aciers et les mortiers, mais pour tous les matériaux de construction divers, avec leurs variétés et leurs combinaisons. Qui pourrait croire qu'il puisse en résulter quelque chose de simple ou d'uniforme dans le résultat, même si le principe est très général? Il faut bien observer que l'on n'évoque dans tous ces travaux que les essais les plus simples, au sens de la résistance des matériaux. Mais la difficulté subsiste du report des résultats de ces essais aux constructions, même relativement simples. Que penser alors des constructions les plus complexes? La question des assemblages n'est évoquée nulle part. Or, comment construire sans assembler? La plupart des accidents importants dont j'ai pu prendre connaissance ont eu leur origine et leur cause dans des assemblages. Il en a été de même pour des accidents plus anciens. Si l'on songe à se représenter la sécurité des assemblages sur la base de la probabilité que $P - R > 0$, il sera sage de se borner actuellement à ne pas insister, d'autant plus que la plupart des assemblages possèdent diverses possibilités de ruine. Considérons alors un grand ouvrage, comportant un grand nombre d'éléments et d'organes, d'assemblages, d'appuis, de détails divers, ayant chacun une ou plusieurs possibilités de ruine particulières, dont beaucoup peuvent constituer des possibilités capitales de ruine pour l'ouvrage entier. Il interviendra certainement dans le problème des critères de sécurité nombreux et différents. Comment concevoir dans ce cas la probabilité totale et composée de l'ouvrage entier? Elle ne pourra avant longtemps être davantage qu'une notion qualitative.

Le tableau est-il plus clair, plus simple en ce qui regarde l'autre terme de la sécurité, celui des actions sollicitantes? C'est avec raison que l'on fera abstraction des cas de force majeure. Il ne peut être question d'assurer la sécurité d'une construction normale contre la destruction par faits de guerre, par exemple. Là où ce problème se poserait, il faudrait recourir à des dispositions spéciales étrangères à ce rapport. La question de la résistance aux sollicitations par des phénomènes naturels présente des aspects très divers. La protection contre la foudre, par exemple, est bien une ques-

tion de sécurité, mais pas au sens envisagé ici. La solution est de nature électrique. La protection contre les effets de l'eau et des glaces (crués, embacles) est aussi d'une nature en majeure partie étrangère à ce rapport général, bien qu'elle relève en majeure partie de dispositions constructives et qu'elle soit capitale pour beaucoup d'ouvrages. En ce qui concerne les effets météoriques (pluie, neige, vent, variation de température), ils entrent dans l'appréciation de la sécurité au sens de ce rapport et d'une manière importante pour certains ouvrages. La neige a pu produire des désordres, même des ruptures; il en est de même des variations importantes de température. Cependant l'élément le plus dangereux est le vent. La connaissance de tous ces météores relève de l'observation naturelle, c'est-à-dire de la statistique et la notion de probabilité reparaît ici. Correspondant à l'ancienne notion des tensions admissibles pour le critère de sécurité, la pratique ancienne consiste à envisager pour ces météores des charges ou pressions normales et à se couvrir contre le risque de ruine par des valeurs élevées des dernières en regard avec les valeurs faibles des premières. Dans ce domaine aussi, par souci de serrer de plus près la réalité, on tend à introduire plus de complication, basée sur les statistiques d'observations dans des circonstances diverses, ce qui complique inévitablement les facteurs à considérer. On ne peut d'ailleurs incriminer ce souci d'une meilleure connaissance. Pour la neige et les variations de température, on pourra généralement disposer de données suffisantes. Il n'en est pas de même pour l'effet du vent. Le vœu ajouté par M. R. Lévi à son rapport concernant l'organisation d'une étude statistique du vent et de ses effets dans divers pays ne peut que rencontrer l'adhésion générale.

L'intéressante étude du Professeur R. H. Sherlock, publiée dans le 7^e volume des *Mémoires* de l'Association répond à ce vœu et en montre l'utilité. Sans doute existe-t-il dans divers pays des statistiques d'observations déjà acquises. En Belgique, une Commission pour l'étude des effets du vent a déjà obtenu des résultats et son travail pourrait être poursuivi selon le vœu de M. R. Lévi, parallèlement à ce qui sera fait dans d'autres pays, notamment dans le sens d'observations statistiques sur les vents réels, préconisées depuis de nombreuses années par l'auteur de ce rapport et partiellement pratiquées.

Restent les charges d'usage : poids propre et surcharges fixes ou mobiles. J'imagine qu'il était assez usuel pour les anciens constructeurs de considérer ces éléments comme bien connus ou limités. Les ingénieurs de l'époque actuelle ne peuvent plus avoir d'apaisements à ce sujet : les deux dernières guerres ont eu en Europe comme conséquences l'augmentation notable des surcharges mobiles des ponts-routes. Les trains d'épreuve des ponts-rails ont subi aussi des majorations. Dans ce domaine, il ne s'agit plus de statistiques ou de probabilités, mais bien d'extrapolation. Il paraît inopportun de s'attarder à cette question. Comme le font certains règlements, on envisagera des surcharges uniformément réparties réservant largement l'avenir. Ou bien, lors des majorations des charges d'épreuve, on vérifiera si la sécurité des ouvrages existants est suffisante, sinon on les renforcera. Toute majoration de poids mort ne pourrait être qu'accidentelle et serait traitée de la même manière.

En rapport avec les caractères de ces diverses catégories de sollicitations, M. Moe, dans son rapport particulier, suggère, comme il l'avait déjà fait au Congrès de Berlin (*Rapport final*, p. 181) de les affecter de coefficients de sécurité partiels différents. Cette méthode peut avoir des avan-

tages pratiques, que le rapporteur indique, mais la détermination des coefficients n'en paraît pas moins arbitraire. Par exemple, un coefficient sensiblement plus élevé est affecté aux surcharges, cependant majorées du coefficient d'impact éventuel. Sous réserve d'effets de fatigue à établir, très divers selon les circonstances et qui influent plutôt sur le critère de sécurité, les effets des surcharges sont les mieux connus, ceux qui ont le plus été contrôlés par l'expérience et qui ont le plus souvent été reconnus inférieurs aux valeurs calculées.

Par contre, on ne connaît que rarement les effets réels du poids propre dans les constructions ayant quelque hyperstaticité, et ils peuvent être fortement majorés par les tensions de montage, de laminage, de retrait, etc. A ce point de vue, la méthode générale du réglage des efforts permanents est très avantageuse et très recommandable; elle permet d'ailleurs des combinaisons favorables tant à la sécurité qu'à l'économie. Elle est favorable à la sécurité, mais elle relève essentiellement de la conception de l'ouvrage.

Mais ce n'est pas là que gît la vraie difficulté. La sécurité résultant de la différence entre *l'effet dangereux* de la sollicitation et le critère de sécurité correspondant, la question essentielle est celle de la détermination de *l'effet dangereux*. Ici d'ailleurs il y a lieu d'envisager une bifurcation de la notion de sécurité. On l'entend le plus souvent comme une *sécurité conjecturale*, c'est-à-dire déterminée par le calcul, pour le projet. Or, dans les enquêtes préparatoires au Congrès, un groupement national de l'Association (celui de Belgique) a préconisé l'étude de la *sécurité réelle*, ce qui implique vraisemblablement que l'on se réfère non à un effet dangereux calculé et somme toute hypothétique, relatif au projet, mais aux effets dangereux tels qu'ils sont réalisés dans la construction en service. En principe, la notion de sécurité devrait être unique, mais il faut bien admettre que le calcul de l'effet dangereux est affecté d'écarts systématiques et accidentels. L'appréciation générale de ces écarts est ardue. Les règles de la résistance des matériaux postulent la continuité, l'homogénéité et l'isotropie des matériaux. Les écarts accidentels par rapport à ces hypothèses doivent-ils affecter la détermination du critère de sécurité, ou celle de l'effet dangereux ou les deux? M. W. Wierzbicki, dans son étude précitée, envisage par exemple des écarts par rapport aux hypothèses de la résistance des matériaux relatives à la déformation plane des sections en traction et en flexion pures et les traite selon la méthode statistique. Cela est-il licite? M. Ch. Massonnet, chargé de cours de résistance des matériaux à l'Université de Liège, a démontré très simplement que la déformation plane des sections n'est pas une hypothèse dans ces cas de sollicitation, mais une nécessité de pure symétrie dans toutes les pièces longues et prismatiques auxquelles s'appliquent les théories de la résistance des matériaux.

Naturellement, pour les pièces de forme complexe, pour les cas de sollicitation composée et au voisinage des zones d'application des charges, les sections ne se déforment pas d'une manière plane, mais le calcul peut éventuellement en tenir compte. Bref, on pose ici la question des *écarts systématiques*, dus aux imperfections des méthodes. Ces erreurs relèvent-elles du traitement statistique, des probabilités? On croirait plutôt que ce traitement est réservé aux erreurs accidentelles. Pour ce qui est des erreurs systématiques, on ne peut que souhaiter leur limitation, sinon leur élimination, par le progrès des méthodes, fondé tant sur l'investigation théorique que sur l'expérimentation.

Parmi les écarts accidentels, ceux relatifs aux formes et dimensions

des produits peuvent relever de la statistique. Des probabilités, des valeurs moyennes, des limites peuvent être établies. C'est ainsi que M. Dutheil envisage des écarts d'excentricité des pièces droites exposées au flambage. Les erreurs effectives de calcul ne relèvent généralement pas de la statistique, mais du contrôle.

L'analyse de la sécurité envisagée du point de vue des effets des sollicitations soulève toute la question de la validité des méthodes de calcul, ou plus exactement de leur parfaite concordance avec les réalités mécaniques et physiques, c'est-à-dire la dualité de la sécurité conjecturale et de la sécurité réelle.

On ne niera pas les progrès contemporains des méthodes de calcul; on ne niera pas davantage qu'il subsiste des écarts systématiques, qui sont même très importants pour certains éléments, tels que les assemblages. La connaissance des effets dynamiques aussi est incertaine, dans l'état élastique et davantage encore à l'état plastique. D'autres questions, dans le domaine de l'instabilité, des vibrations, de la continuité, de l'hyperstaticité et surtout des constructions à trois dimensions permettent encore bien des progrès. Le dernier point notamment mérite de retenir l'attention, car des écarts systématiques considérables proviennent de l'usage de calculer beaucoup de constructions comme si elles étaient planes, alors qu'elles sont réellement à trois dimensions. La majeure partie des *efforts secondaires* y trouve le plus souvent son origine.

Il va de soi que l'expérimentation peut et doit apporter dans ce domaine beaucoup de lumières et de secours. Elle est naturellement elle-même sujette à erreurs, mais, avec une approximation suffisante, elle peut éventuellement et elle seule paraît pouvoir donner des lueurs sur les écarts entre la sécurité conjecturale et la sécurité réelle. L'expérience permet en effet d'obtenir quelque certitude sur *l'effet dangereux* d'une sollicitation déterminée d'un ouvrage, à condition de pousser l'expérience jusqu'à la ruine. Le fait que des ouvrages ont subi des surcharges d'épreuve éventuellement sévères, ont été soumis à des essais satisfaisants et se sont rompus plus tard en service, a troublé encore davantage les esprits que la constatation, notée au début de ce rapport, de dépassements avérés du critère de sécurité sans suite nuisible. Ce sont là des incidents tellement graves par leurs conséquences générales qu'il est indispensable que les causes exactes en soient établies, à défaut de quoi la notion de sécurité risque de n'avoir effectivement plus aucun sens. Les faits, les expériences ne peuvent se tromper; on peut se tromper au sujet d'expériences. Cependant, des constructeurs avisés auront volontiers recours à des expériences par raison de sécurité, même si elles ne doivent leur procurer qu'une impression de probabilité, précieuse cependant. Il y en a des exemples déjà anciens et notoires, par exemple le pont expérimental de feu M. Vierendeel à Ter- vueren en 1897. Plus récemment, un ingénieur français, dans des circonstances difficiles et urgentes, a procédé à des essais avant de passer à l'exécution de ses travaux (C. MALLET, *La reconstruction des ouvrages d'art en Tunisie 1943-1945*).

Que devient la notion de sécurité lorsque, à l'exemple de ce qui a été fait pour tel pont-rail en Suisse, de dimensions modérées il est vrai, tout l'établissement du projet résulte d'un essai sur modèle à échelle réduite? La notion de sécurité dépend entièrement de la validité du report à l'échelle. Le coefficient de sécurité ou la probabilité de ruine sont-ils chiffrables?

Ces considérations ne me paraissent pas sortir du cadre de la question

posée, qui est en tout état de cause assez délicate. La sécurité est indivisible aussi en matière de construction. Que faut-il conclure d'une analyse qui paraît, somme toute, décevante de la notion de sécurité? A mon avis, que la sécurité n'est pas encore près de pouvoir être exprimée sous forme d'une fonction. L'idéal savant, qui est de ramener tout ce qui existe à des fonctions, n'est pas encore réalisé ni réalisable; l'attitude d'esprit scientifique consiste actuellement à le constater; l'attitude pratique à s'en satisfaire en se louant des progrès déjà réalisés par la question et de l'état qu'elle a atteint, tout en souhaitant des progrès futurs.

La sécurité est le plus souvent mise en rapport avec l'économie, les deux facteurs étant considérés comme antagonistes. L'économie se chiffre naturellement; il serait très commode de chiffrer aussi la sécurité. M. M. Prot en indique la voie générale : une probabilité de ruine peut s'interpréter en valeurs économiques, d'après le calcul des probabilités appliqué aux questions financières. M. G. v. Kazinczy avait déjà exposé des considérations analogues au Congrès de Vienne (*op. cit.*). Il est possible que de tels calculs financiers soient possibles pratiquement, cependant seraient-ils très pertinents? Ici encore, les problèmes sont probablement en général trop complexes pour que ces considérations puissent être autre chose que des guides qualitatifs.

Il est certain que les considérations d'économie ont, en dépit d'une production industrielle généralement accrue, exercé une forte pression sur la notion de sécurité et l'ont poussée dans ses derniers retranchements, en vue d'utiliser toujours davantage les propriétés de résistance de la matière. Y a-t-il cependant un grand mérite à construire en élevant toujours davantage les tensions admissibles? Deux points semblent perdus de vue dans cette conception : l'efficacité et le facteur personnel.

Non seulement la sécurité est une condition de l'économie, plutôt que son antagoniste, mais elle est aussi la condition de l'efficacité. Or, l'efficacité d'une construction, quel que soit son but, utilitaire ou monumental, est essentielle et prime l'économie. Une construction sûre et prétendument économique, mais qui ne serait pas efficace, ne serait pas réellement économique. L'efficacité est naturellement une notion complexe, qui englobe notamment la durabilité. Telles constructions, auxquelles le reproche téméraire a été fait de n'être point assez économiques, se sont éventuellement révélées l'être à un point insoupçonné, en raison de leur efficacité. Or, la base de l'efficacité est une question personnelle, qui échappe à l'analyse mathématique. Un grand ingénieur français contemporain déclarait, dans la Salle académique de l'université de Liège, au Premier Congrès international du béton et du béton armé en 1930 : « Je suis un artiste. » Cette déclaration a une portée générale et ramène à l'introduction de ce rapport.

S'il est nécessaire d'établir des codes de la sécurité, il s'agit dans mon esprit d'ouvrages n'ayant aucun rapport avec des codes de modèles tout établis d'ouvrages types, comme des catalogues d'objets manufacturés. Ce n'est pas à propos de telles réalisations que l'on évoquera des questions générales. L'efficacité, l'économie et la sécurité y sont standardisées; on n'y peut rien changer et il n'y a rien à en dire. Une réelle économie, une réelle efficacité sont le résultat d'une idée, d'une création. Il s'agit alors de les réaliser avec sécurité, mais l'économie résulte de l'idée, non d'un dimensionnement téméraire ou imprudent. Il n'y a pas que les dimensions qui régissent la notion analytique de sécurité en opposition apparente avec l'économie; il y a les formes, il y a les systèmes et les dispositions favo-

rables, qui déterminent la synthèse de l'efficacité, de l'économie et de la sécurité. Que la notion *analytique* de sécurité puisse même aller à l'encontre de la notion *synthétique*, en réalité plus vraie, se trouve par exemple dans la note citée de M. W. Wierzbicki, dont un passage permet de croire qu'un ouvrage hyperstatique doit avoir un coefficient de sécurité plus élevé qu'un ouvrage isostatique. On peut penser qu'un ouvrage hyperstatique bien conçu a une sécurité plus élevée qu'un ouvrage isostatique.

L'opinion inverse a conduit, par exemple, pour assurer l'isostaticité, à multiplier les articulations au point de produire l'insécurité et l'instabilité. De même, des notions trop formelles de sécurité peuvent faire douter de la sécurité des arcs, forme éminemment noble d'équilibre.

Pour conclure, on peut estimer que si des ouvrages courants de médiocre importance peuvent s'exécuter d'après des types standardisés, dont la sécurité est établie par le catalogue, pour les ensembles constructifs plus importants, la création en sera l'œuvre d'hommes instruits et doués, dont le travail sera facilité au point de vue de la sécurité par des codes contenant les données acquises à ce sujet. On ne peut perdre de vue que la qualité des matériaux et le soin de l'exécution seront aussi des conditions essentielles de la sécurité, non absolument chiffrables et qui dépendront en dernière analyse des opérations de réception, de surveillance et de contrôle, qui sont aussi dominées essentiellement par des facteurs humains. Le siège de la sécurité est finalement dans l'action de l'homme.

II

Les sollicitations dynamiques des constructions forment une deuxième partie du thème V. Elle n'est pas sans rapports avec la précédente, car si les ingénieurs peuvent construire des ponts qui résistent effectivement aux actions dynamiques, dues notamment au passage rapide des surcharges mobiles, ils ne connaissent guère les effets mécaniques qui en résultent et ils ne peuvent guère les calculer dans la plupart des cas pratiques. Il en résulte qu'un des deux termes dont le rapport constitue le coefficient de sécurité n'est pas connu. C'est par le moyen d'expédients que l'on parvient à surmonter la difficulté.

La question a été abondamment traitée aux Congrès de Vienne (1928) et de Paris (1932); les *Mémoires* publiés par l'Association contiennent quelques études, notamment en 1932 et aussi en 1937-1938. Une seule communication en rapport avec ce sujet figure dans les compte rendus du Congrès de Berlin (1936, *Rapport final*). La plupart des publications concernent la sollicitation dynamique des ponts et des tours.

Envisager les sollicitations dynamiques comme un thème subsidiaire de celui de la sécurité peut se défendre à certains points de vue. Il est cependant assez important et susceptible d'assez de progrès et de développements pour constituer un thème autonome. Mais il semble qu'il ne soit plus aussi actuel, c'est-à-dire qu'il ne rentre plus autant dans les préoccupations des constructeurs. Le vœu de collaboration internationale pour l'avancement de la question, figurant aux conclusions du Congrès de Paris, n'a pas été suivi d'effet. Il semble que les résultats de l'importante activité de recherche des dernières décades et les nombreuses publications auxquelles ils ont donné lieu, la parution aussi de nombreux traités sur les vibrations, ont satisfait pour un temps l'intérêt éprouvé pour la question;

que son évolution ait atteint un palier. Si ce palier représente certes déjà une grande accumulation de sciences et d'efforts, la solution de la question n'est pas encore en vue.

Même si elle ne figure à ce Congrès qu'à titre subsidiaire, il est utile de la rappeler, car son étude doit nécessairement être poursuivie; elle ne peut rester au point où elle est et qui n'a guère progressé, il faut le reconnaître, depuis seize ans (Congrès de Paris).

Les rapports particuliers de MM. M. Cassé, A. Hillerborg, S. Ödman, V. Koloušek et E. Forslind apportent de très méritoires contributions à la question, mais plutôt éparses, sans lien entre elles (sauf deux qui sont en quelque sorte associées). Cela tient probablement surtout à l'état de la question tel qu'il est défini ci-dessus. Cela tient aussi à la diversité des objets qui peuvent être compris dans l'appellation de sollicitations dynamiques, ce qui n'a pas manqué d'embarrasser le Comité permanent lorsqu'il a dû à La Haye, en 1947, libeller les thèmes du Congrès. Si ce thème avait été choisi comme autonome, il eût été indiqué de le subdiviser.

Les Congrès de Vienne et de Paris avaient constaté la nécessité de nombreuses investigations expérimentales et l'imperfection fréquente des instruments. Le rapport de M. Cassé se rattache à ces considérations, restées actuelles, et décrit de nouveaux appareils qui, par rapport à ceux qui furent en grand nombre décrits à Paris en 1932, ont les grands avantages de la simplicité, tant en ce qui concerne le principe que l'exécution et l'usage. Il est certain que pour développer l'expérimentation, il est utile qu'elle soit aussi commode qu'exacte.

Les deux contributions de MM. Hillerborg et Ödman sont de caractère théorique, principalement mathématique et accompagnées de vérifications expérimentales élémentaires. Par des voies qui témoignent d'une grande habileté mathématique, mais qui n'en restent pas moins laborieuses, des solutions sont établies pour le problème des vibrations d'une poutre droite sur deux appuis simples sous l'effet du déplacement d'une charge mobile unique, compte tenu des masses de la poutre et du mobile. La solution de M. Ödman, encore qu'approximative, est particulièrement satisfaisante, puisqu'elle correspond avec une exactitude surprenante à un résultat d'expérience de M. Hillerborg. Au point de vue théorique, c'est remarquable; au point de vue pratique je me permets de le considérer comme plutôt décourageant. Car l'allure du résultat autant que le caractère de la méthode ne permettent pas d'espérer que l'on pourra bientôt et aisément procéder à des calculs dynamiques pour les ouvrages réels, par rapport auquel le cas traité par les rapporteurs suédois est le plus simple possible. Cette recherche répond cependant au vœu du Congrès de Paris, recommandant la poursuite de l'investigation théorique, et apporte d'appréciables contributions à la théorie des vibrations, de même que le rapport de M. Koloušek.

M. E. Forslind traite dans son rapport d'un problème qui entraîne certes des sollicitations dynamiques, mais qui n'avait pas été envisagé jusqu'ici dans les travaux antérieurs et qui est à ajouter aux variétés énoncées à La Haye par le Comité permanent : l'action des explosifs et des projectiles.

Les considérations principales du rapport semblent relatives au cas d'explosions internes, par exemple de dépôt d'explosifs, et aux dispositions constructives les plus favorables pour ce cas. Il compare à cet effet les ossatures à cadres aux dispositifs cellulaires et se prononce en faveur des

derniers. Selon les observations, malheureusement nombreuses et importantes, qui ont pu être faites à Liège sur l'effet de projectiles divers : bombes aériennes à grande puissance, bombes volantes, fusées, et notamment dans les nouveaux instituts de la Faculté des Sciences appliquées au Val-Benoît, les bâtiments à ossatures à cadres, bien conçus et réalisés, ont remarquablement résisté. Les colonnes et les poutres n'ont subi de dégâts appréciables dans les cadres métalliques qu'en cas d'impact direct, mais sans qu'il se soit jamais produit d'effondrement dans les instituts précités. Les effets principaux sur les structures ont été éprouvés par les hourdis en béton armé qui ont été sollicités par le souffle *de bas en haut*, sollicitation imprévue sous l'effet de laquelle ils ont été crevés, les armatures étant disposées uniquement pour la sollicitation normale. Ces efforts de soulèvement des dalles, exercés sur de grandes surfaces, ont d'ailleurs affecté aussi les ossatures, mais sans grande conséquence pour les cadres en acier, également résistants en tous sens. Par contre, les colonnes et les poutres en béton armé ont aussi subi des sollicitations considérables inverses du sens prévu; cela a inévitablement engendré de nombreuses fissures dans les poutres et colonnes des cadres, jusqu'en des éléments éloignés, conformément à la théorie de la continuité. En dépit de l'excellente qualité du béton et d'un ferrailage bien conçu et bien exécuté, les dégâts aux ossatures en béton armé ont été généralement plus étendus, en raison de l'adaptation étroite de la capacité de résistance de ce matériau à des sollicitations d'un sens déterminé. Ce caractère est encore plus prononcé dans le béton pré-contraint, c'est un point à considérer dans les constructions exposées aux actions dynamiques du genre envisagé ci-dessus.

Résumé

L'analyse de la notion de sécurité en fait ressortir toute la complexité. Si des principes généraux et universels sont possibles et souhaitables, il n'en est pas moins indispensable de diversifier les conditions pratiques de sécurité pour les divers genres d'ouvrages et les diverses natures de matériaux.

Le critère de sécurité contre la ruine (ou même simplement contre la mise hors service) n'est pas uniforme; il peut être multiple pour un même élément. Dans la plupart des cas, il est aléatoire et ne peut être connu que statistiquement. Le calcul des probabilités peut contribuer à une meilleure conception de la sécurité et influencer sur l'évolution des qualités des matériaux et sur leur emploi.

Dans le domaine des sollicitations, celles qui résultent de circonstances naturelles devraient être mieux connues, surtout les effets du vent, dont l'étude statistique doit être recommandée. Les autres sollicitations d'usage introduisent surtout des incertitudes en raison de ce que la détermination de leurs effets souffre encore d'imperfections systématiques. L'analyse de la notion de sécurité ne doit pas faire perdre de vue la synthèse bien comprise de l'efficacité, de l'économie et de la sécurité des constructions, qui réside en premier lieu dans l'œuvre de création du constructeur et qui se complète par celle de l'exécutant et du dirigeant.

La question des sollicitations dynamiques semble avoir atteint un palier de son évolution depuis une dizaine d'années. Les conclusions du Congrès de Paris (1932) sont restées sans suites et devraient être reprises dans leurs grandes lignes.

Zusammenfassung

Eine Untersuchung des Sicherheitsbegriffes zeigt dessen Vielfältigkeit. Wenn auch allgemeine und allgemein gültige Prinzipien möglich und wünschbar sind, so ist es doch nicht weniger notwendig, die praktischen Bedingungen der Sicherheit für die verschiedenen Arten von Bauwerken und die verschiedenartigen Baustoffe zu unterscheiden.

Das Kriterium der Sicherheit gegenüber einem Einsturz (oder sogar einfach gegen die Ausserdienststellung) ist nicht einheitlich; es kann für das gleiche Element verschieden sein. In den meisten Fällen wechselt es von Fall zu Fall und kann nur statistisch erfasst werden. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung kann zu einer bessern Konzeption des Sicherheitsbegriffes beitragen und damit die Entwicklung von Eigenschaften und Verwendung der Baustoffe beeinflussen. Diejenigen Beanspruchungen, die aus natürlichen Ursachen hervorgehen, sollten besser erkannt werden, insbesondere die Windbelastungen, deren statistische Untersuchung zu empfehlen ist. Die andern Gebrauchslasten sind insbesondere mit Unsicherheiten in bezug auf ihre systematische Erfassung behaftet. Die Untersuchung des Sicherheitsbegriffes darf uns nicht vergessen lassen, dass bei einem Bauwerk die Zweckmässigkeit, die Wirtschaftlichkeit und die Sicherheit eine Einheit bilden müssen, die in erster Linie auf einer schöpferischen Leistung des Konstrukteurs beruht, und die durch die Leistungen des Bauleiters und des Unternehmers vervollständigt wird.

Die Frage der dynamischen Beanspruchung scheint seit etwa einem Jahrzehnt einen gewissen Abschluss der Entwicklung erreicht zu haben. Die Schlussfolgerungen des Kongresses 1932 sind nicht überholt und sollten in den Grundzügen wieder aufgenommen werden.

Summary

An analysis of the notion of safety can but emphasize its great complexity. If general and universal principles are possible and desirable, it is nevertheless indispensable to diversify the practical conditions of safety for the various kinds of structures and the various kinds of materials.

The criterion of safety against destruction (or even merely against putting out of action) is not uniform; it may be multiple for one and the same element. In most cases it is uncertain and can only be ascertained statistically. The calculation of probabilities may assist a better conception of safety and have an influence on the evolution of the qualities of materials and their use.

In the matter of stresses, those that are caused by natural circumstances should be better known, above all the effects of wind, the statistical study of which should be recommended. The other usual stresses cause above all uncertainties because the determining of their effects still suffers from systematic imperfections. An analysis of the notion of safety should not make us lose sight of the well founded synthesis of efficacy, economy and safety of structures, based in the first instance in the work of creation of the builder and which is supplemented by that of the executant and overseer.

The question of dynamic stresses appears to have reached a dead-end in its evolution during the past ten years. The conclusions of the Paris Congress (1932) have remained without any result and ought to be brought up again in their main lines.