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

Band: 6 (1960)

Artikel: Rapport général

Autor: Winter, George

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-6971

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: 16.12.2025

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

safety tradition, by voluntary and intensive co-operation between employer and employee, management, foremen, and working force, rather than by the detailed imposition of safety laws by government agencies, enforced by official, outside inspectors. Again, the experiences in one country are not necessarily transferable to the conditions of another.

Rapport général

1. Tendances actuelles dans l'étude et le calcul des immeubles à ossature métallique

La majeure partie du présent rapport concerne les immeubles à étages multiples en charpente métallique du type bâtiments d'affaires, hôtels, immeubles locatifs et autres. Bien que d'importantes améliorations aient été apportées aux méthodes de calcul des ossatures métalliques, aucun changement fondamental n'est encore survenu dans ce domaine. Néanmoins un rapport concernant les ossatures métalliques se doit, à l'heure actuelle, de rappeler qu'une nouvelle méthode de calcul, foncièrement différente de l'ancienne, commence à se répandre tout au moins dans l'étude des ossatures formées de cadres soudés à un ou deux étages, comme celles des bâtiments industriels, entrepôts, etc.

Je veux parler de l'étude et du calcul basé sur le comportement plastique de l'acier de construction. Différents aspects de cette méthode ont été discutés en 1956 à Lisbonne et spécialement en 1952 à Cambridge. Depuis lors, en Angleterre et aux Etats-Unis, les règlements concernant l'étude et le calcul de constructions en acier autorisent officiellement l'application de cette méthode. C'est le résultat de plus de douze ans de recherches intenses et patientes effectuées de façon plus ou moins indépendante en Grande-Bretagne (Université de Cambridge) et aux Etats-Unis (Universités de Lehigh et Brown). Aux Etats-Unis, ces résultats ont été inclus à un appendice aux normes, officiellement reconnues, de l'Institut américain de la construction métallique. Cet appendice, adopté en décembre 1958, permet l'usage de la méthode de l'équilibre plastique et contient des prescriptions précises concernant son application. Celle-ci est limitée aux poutres continues ainsi qu'aux cadres rigides métalliques à un ou deux étages. En Angleterre et aux Etats-Unis, quelques ouvrages ont déjà été calculés d'après la méthode de l'équilibre plastique avant l'entrée en vigueur de ces prescriptions. Le nombre des immeubles calculés de la sorte ne cesse d'augmenter, bien que les deux méthodes continuent à exister côte à côte. La méthode plastique, appliquée judicieusement, se distingue par une économie d'acier, une diminution du temps utilisé pour l'étude et le calcul et par une plus juste conception du comportement effectif des constructions métalliques rigides sous l'effet d'une charge.

Les recherches doivent être poursuivies tout spécialement en ce qui con-

cerne l'instabilité des cadres métalliques afin de voir si la méthode de l'équilibre plastique peut être appliquée au calcul d'immeubles à étages multiples; néanmoins les enseignements tirés de cette méthode permettent aujourd'hui déjà une meilleure compréhension du comportement de ces constructions. Ce point de vue est illustré par l'intéressante contribution de Monsieur Pierre Dubas. Par la théorie de l'élasticité, il calcule l'influence d'une déformation axiale des montants sur la répartition des moments de flexion dans des portiques étagés multiples. Il démontre, en particulier, que même une charge concentrée appliquée directement au montant provoque des moments considérables dus aux différences des déformations axiales des montants. Cet intéressant résultat est sans doute exact, mais la théorie plastique semble montrer que ces moments, résultant de conditions de compatibilité des déformations élastiques, affectent très peu la résistance effective à la rupture d'un cadre métallique, soumis à une charge statique. En effet, la plastification partielle qui intervient avant la rupture tend à annuler l'effet de ces moments. Ce problème est à peu près analogue à celui des différences de tassement, de grandeur limitée, entre les divers piliers, problème qui semble très grave lorsqu'on n'étudie que les contraintes dans le domaine élastique, mais qui n'a au fond aucune influence sur la résistance du système, comme le prouvent la méthode de l'équilibre plastique et les essais.

Les résultats d'importantes recherches sur l'instabilité de cadres métalliques effectuées au College of Science and Engineering de Manchester en Angleterre et que MM. W. Merchant et A. H. Salem résument brièvement dans leur contribution, illustrent une des raisons pour lesquelles il est toujours indiqué d'appliquer avec prudence la méthode de l'équilibre plastique à l'étude des portiques étagés multiples. Ces études montrent que les charges qui provoquent un flambage latéral des portiques étagés multiples (flambage par déplacement horizontal bien que tous les efforts soient verticaux) sont considérablement inférieurs (jusqu'à 50% et plus) à celles obtenues en admettant les montants comme articulés à leurs extrémités (charge d'Euler). Plus il y a d'étages, plus cet effet augmente. Afin d'obtenir des résultats corrects par le calcul élastique, il faut introduire des longueurs de montants supérieures à leur valeur réelle. A l'aide d'exemples spécifiques, le mémoire montre ce qui suit concernant la méthode de l'équilibre plastique: la charge de rupture due à l'instabilité d'un portique simple soumis essentiellement à des charges verticales n'atteint que le 80% de celle calculée par la «méthode plastique simple» (simple plastic theory). Pour un assez faible élancement des montants de 67, le flambement d'ensemble du cadre peut réduire de 30% la charge de rupture de portiques à deux étages, celle-ci étant calculée à l'aide de la méthode de l'équilibre plastique, sans tenir compte des problèmes de stabilité latérale. Les normes AISC concernant le calcul plastique contiennent des articles ayant trait au flambage latéral, mais ceux-ci ne peuvent être appliqués à de grands portiques étagés multiples.

Que le cadre soit calculé par la méthode élastique ou plastique, l'importance de l'instabilité d'un cadre, due au flambage latéral, ne cesse d'augmenter. Ainsi que nous le montrerons plus loin, cela provient de la tendance actuelle à réduire le poids propre des constructions modernes. Il en résulte des cadres beaucoup plus légers que ceux érigés il y a dix ans à peine. Cette évolution augmente l'influence des charges horizontales, telles que le vent ou les tremblements de terre, qui ne font qu'accentuer le problème de la stabilité latérale de ces cadres.

Nous avons commencé par mentionner ces deux problèmes, calcul plastique et stabilité latérale de portiques étagés multiples, parce qu'ils sont l'objet d'une évolution et de recherches constantes. La suite de cet exposé sera consacrée à l'état actuel de la technique dans la construction d'immeubles à étages multiples qui a radicalement changé durant ces dix dernières années. A côté des articles du rapport préliminaire, nous tiendrons surtout compte de l'évolution américaine. L'auteur s'excuse de ce procédé unilatéral, mais il doit nécessairement se limiter à sa propre expérience.

2. Nature et fonction des immeubles modernes à étages multiples

Il est impossible d'étudier l'aspect constructif des immeubles modernes à ossature métallique sans considérer leur nature fonctionnelle. Ainsi que M. Pickworth le montre dans sa contribution, le bâtiment administratif, tel qu'on le conçoit aujourd'hui, est une machine très complexe et il doit être considéré comme tel plutôt que du point de vue purement constructif. Pour fonctionner correctement, des bureaux d'affaires, des banques ou d'autres administrations requièrent d'innombrables installations, telles que le téléphone interne et externe, la télévision à circuit fermé, l'eau, le gaz et les services sanitaires, l'électricité pour plusieurs usages, des voies de communications horizontales et verticales dans l'immeuble, le chauffage et l'installation de conditionnement de l'air ainsi que l'isolation acoustique. Des mesures sont à prendre afin de faciliter l'introduction croissante d'une grande variété de machines de bureau. Afin d'éviter un veillissement par trop rapide de ces installations, on se doit de les concevoir aussi souples que possible et capables de s'adapter à toute situation. Comme ces hauts bâtiments déterminent l'aspect et les grandes lignes d'une ville moderne, le point de vue architectural et esthétique est d'une importance capitale. M. H. C. Turner, président d'une des grandes entreprises de constructions, a dit «qu'aujourd'hui le projet d'un immeuble moderne tend à la fois à plus de distinction, d'originalité, d'efficacité, d'économie d'espace, de souplesse et d'expansibilité». Afin d'atteindre ces buts, une étroite collaboration entre les architectes et les divers ingénieurs, mécanicien, électricien, sanitaire ainsi que d'autres, et bien sûr l'ingénieur civil, est absolument nécessaire. M. Pickworth constate qu'un immeuble sera toujours une réussite, à condition que l'ingénieur civil soit appelé à collaborer dès les premiers débuts

de l'étude et ne soit pas seulement chargé d'exécuter les calculs d'un projet d'architecte complètement terminé.

Du point de vue technologique, l'immeuble moderne à étages multiples consiste de plus en plus en un assemblage de pièces préfabriquées en série, transportées au chantier où elles sont mises en place. Planchers cellulaires et autres, cloisons intérieures mobiles, plafonds plats faits de panneaux acoustiques ou de plastique translucide, éclairage fluorescent indirect, minces murs-rideau (curtain-walls) comme revêtement extérieur et blocs primaires de gaines pour les installations mentionnées auparavant, tout cela est préfabriqué en série. On réduit ainsi de façon importante le travail de chantier et on élimine en bonne partie, si ce n'est totalement, les échafaudages et étançonnements extérieurs et intérieurs. Tout ceci contribue à accélérer le montage et en réduire les frais, tout spécialement dans les conditions de travail difficiles qui règnent au centre des grandes villes à trafic intense.

Afin de permettre une complète liberté dans l'utilisation de l'espace disponible, on a été amené à un changement de structure essentiel, à savoir l'augmentation constante de l'espacement des piliers. Ces dernières années, plusieurs bâtiments érigés aux Etats-Unis et au Canada ne présentent plus aucun pilier intérieur. Dans ces constructions, les deux rangées de piliers extérieurs sont espacées d'à peu près 18 m et le plancher est supporté par des poutres hautes de 90 cm qui enjambent les 18 m d'une seule portée. Ceci démontre, comme M. Pickworth le fait remarquer, que dans la construction de tels immeubles, les exigences fonctionnelles sont souvent plus importantes que de possibles économies dans le prix de revient de la construction.

3. Planchers

Il y a peu de temps encore, les dalles en béton armé étaient pour ainsi dire les seuls systèmes de planchers utilisés dans les immeubles du type gratte-ciel. Il est clair que ces dalles, à côté de leur poids propre trop élevé, ne satisfont pas aux exigences fonctionnelles des grands immeubles que nous venons de mentionner. Ces dalles sont de moins en moins utilisées bien qu'on les construise encore pour des raisons spéciales et parfois sous forme modifiée. Ainsi, l'un des plus nouveaux et remarquables immeubles à 38 étages, le Seagram Building à la «New York's Park Avenue» présente des planchers de béton-mousse léger armé d'une épaisseur de 4 in. (10,16 cm), que recouvre un revêtement de béton léger de 3 in. (7,62 cm). Toutes les conduites électriques sont posées dans ce revêtement (pour la force, le téléphone, les moyens de communications internes et la télévision interne). C'est un exemple d'une adaptation possible des dalles en béton armé aux exigences d'un gratte-ciel moderne.

Les systèmes de planchers les plus modernes qui furent développés ces dernières 10-15 années, font l'objet d'une discussion très poussée dans la contribution

de M. Stetina. De plus M. Krapfenbauer consacre une grande partie de son article aux planchers cellulaires, qui constituent probablement le plus important de tous ces nouveaux systèmes. Comme M. Stetina le montre fort bien, les planchers, il y a peu de temps encore, avaient seulement à transmettre les charges qu'ils supportaient, tandis qu'un plancher moderne doit en plus satisfaire à un grand nombre d'autres exigences. Dans les immeubles administratifs, ils doivent permettre une flexibilité complète des installations électriques et autres ainsi qu'une grande souplesse dans l'aménagement intérieur par des cloisons mobiles. Ils doivent contenir des conduites et des gaines pour d'autres installations telles que le chauffage et le conditionnement d'air, ce dernier étant devenu une nécessité absolue surtout dans des immeubles aux façades largement vitrées. La réduction du poids propre provoque une diminution des frais de construction, mais elle conduit à des problèmes d'isolation acoustique. Il en suit que le conditionnement acoustique au point de vue de la réflexion aussi bien que de la transmission du son est l'une des plus importantes exigences auxquelles doit satisfaire un plancher. Parallèlement à la réduction des hauteurs d'étages, l'éclairage indirect incorporé a gagné en importance. Du point de vue de l'accélération et de l'économie du montage, l'élimination des désagréables étaiements nécessaires aux dalles conventionnelles en béton armé est une exigence primordiale. En plus, l'on aimerait monter les planchers simultanément avec l'ossature, étage par étage, afin qu'ils puissent immédiatement servir de plateforme de travail pour les autres entrepreneurs tels que les plombiers, électriciens, etc.

M. Stetina décrit les multiples nouveaux systèmes de planchers qui satisfont à quelques-unes de ces exigences ou à toutes. Un nouveau système de dalles en béton armé qui vient d'être développé, consiste à couler le béton dans de minces coffrages en tôle d'acier profilée. Dans la plupart des cas, ces coffrages sont auto-portants, ce qui élimine les coffrages provisoires en bois aussi bien que les étaiements. Ces coffrages en tôle d'acier profilée font partie de la dalle et en constituent l'armature, pour reprendre les moments positifs. Ces planchers sont souvent faits en béton léger et certains systèmes peuvent contenir au moins quelques-unes des conduites nécessaires.

Du point de vue du prix de fabrication, l'un des systèmes modernes les plus économiques consiste en une mince dalle de béton supportée par des solives métalliques. Ces solives sont des poutrelles légères à treillis standardisées, préfabriquées en série et posées avec des espacements réduits. Les membrures sont faites de profilés légers, laminés à chaud ou formés à froid à partir de tôle d'acier, tandis que les diagonales sont en fer rond.

Ces deux systèmes sont économiques et souvent utilisés lorsque peu de conduites et gaines sont nécessaires comme dans des hôpitaux, hôtels, immeubles locatifs et d'autres bâtiments semblables. On les trouve rarement dans les grands immeubles administratifs à plusieurs étages. Pour ceux-ci, les planchers cellulaires faits de tôles minces d'acier, formées à froid,

représentent le plus important développement de l'après-guerre. Leur large utilisation n'eût pas été possible sans les résultats de recherches intenses et soutenues qui demandèrent plusieurs années de travail. Ce sont les travaux entrepris par l'auteur et ses collègues à l'Université de Cornell, sur la résistance et le comportement de profils d'acier, à épaisseur réduite, formés à froid, qui ont servi de base pour l'élaboration des normes AISI sur l'étude et le calcul des éléments de constructions métalliques légers formés à froid, normes qui sont le document officiel américain dans ce domaine. L'auteur a mentionné quelques phases de ces recherches aux Congrès de Liège et de Lisbonne et il a donné au Congrès de Cambridge un large aperçu de tous les problèmes que posent les éléments en tôle mince.

Quelques panneaux de planchers cellulaires fabriqués en série sont décrits dans les articles de M. Stetina et M. Krapfenbauer. Le calcul de la résistance à la rupture et des déformations de ces éléments de plancher est exécuté par les ingénieurs de l'usine qui fabrique un certain modèle. L'ingénieur chargé de l'étude d'un bâtiment à étages multiples choisit le modèle approprié dans un catalogue. C'est ce qui fait oublier que le calcul et l'étude d'éléments en tôle d'acier mince est un problème difficile, intéressant et d'une grande complexité. Les particularités qui se sont manifestées lors de la large utilisation des planchers cellulaires sont discutées en détail dans les articles de M. Stetina et Krapfenbauer. On remarquera entre autre qu'un plancher cellulaire présente tout l'espace nécessaire à la pose d'une multitude de conduites et gaines, permet le montage simultané de l'ossature et des planchers, ceux-ci pouvant d'emblée supporter la charge totale prévue; il peut donc servir comme plateforme de travail et il ne nécessite plus aucun étaiement et échafaudage. L'auteur aimerait ajouter que dans les cas où peu de conduites doivent être posées, le plancher cellulaire peut directement servir de plafond apparent. Le conditionnement acoustique se fait alors par perforation et insertion de matériaux légers qui absorbent le bruit. Un certain nombre de cellules sont utilisées pour l'éclairage indirect.

Du point de vue économique, M. Stetina fait remarquer que les planchers cellulaires ne pèsent que le tiers ou la moitié des dalles en béton traditionnelles supportées par des poutres d'acier. Cette grande réduction du poids propre permet une économie correspondante de poids dans l'ossature métallique et les fondations. C'est une des diverses raisons qui, comme nous l'avons déjà remarqué, ont grandement contribué à réduire le poids propre des ossatures métalliques des immeubles à étages multiples.

4. Parois

A l'origine, on construisait les bâtiments d'affaires élevés plutôt avec des parois portantes qu'avec des cadres d'acier ou de béton. M. Stetina montre qu'en 1880 les murs porteurs d'immeubles à seize étages présentaient une

épaisseur à la base de 4,60 m. Avec le développement du système de construction à ossature, les parois perdirent leur rôle d'élément porteur et ne servirent plus qu'au revêtement et à l'isolation du bâtiment. Nonobstant, la plupart de ces murs furent exécutés en maçonnerie presque jusqu'à nos jours. Le bâtiment administratif de la compagnie d'aluminium des Etats-Unis, réalisé en 1948 à Davenport dans l'état de Iowa, fut l'un des premiers à façade en métal et en verre. Le bâtiment des Nations Unies à New York (1949—1950) fut l'un des premiers à avoir une façade toute de verre. L'utilisation de parois minces dans les immeubles élevés prit son plus grand essor à partir de 1951—1952, date de la réalisation de cinq grands bâtiments à Pittsburgh, dont quatre présentent des façades en acier inoxydable et l'un en aluminium.

M. Stetina décrit dans son article la construction de murs-rideau, tandis que M. Krapfenbauer s'occupe spécialement des murs-rideau métalliques. On continue à exécuter des murs-rideau en maçonnerie, mais avec un poids propre réduit de 635 à 390 kg/m². On vient de développer des murs-sandwich en maçonnerie qui ne pèsent plus que 146 kg/m². Ils sont constitués d'une mince couche extérieure en pierre naturelle et d'une couche intérieure faite de matériaux légers d'isolation.

Mais la tendance actuelle consiste en un assemblage de verre et de métal avec une liberté totale quant à la répartition des deux matériaux, avec comme limite les façades complètement vitrées du bâtiment des Nations Unies et du Seagram Building. Elles ont une épaisseur de 5 cm ou moins et un poids de 20—25 kg/m² alors qu'un mur-rideau conventionnel en maçonnerie est épais de 30 cm et pèse 390 à 635 kg/m². Il en résulte une nouvelle réduction du poids total de l'ossature métallique, donc une réduction du coût de l'ossature et des fondations. En même temps la valeur locative est augmentée car la surface disponible s'accroît d'environ 5% pour une surface bâtie de 930 m². Les vrais murs-rideau métalliques sont montés depuis l'intérieur du bâtiment, ce qui supprime les frais et les ennuis d'un échafaudage extérieur. En plus, la grande variété de formes et couleurs dont on dispose actuellement pour ces revêtements de façade a amené une nouvelle dimension à l'architecture.

Mais il n'y a pas que des économies. Le prix de certains murs-rideau minces est considérable. En posant le prix moyen par m² d'un mur-rideau en brique égal à 100%, le prix d'un revêtement métallique émaillé est de 150%, en aluminium de 170%, en acier inoxydable de 160 à 240% et en verre de 220 à 250%. Lorsque la majeure partie d'une façade est en verre, il s'ensuit des difficultés dans l'aménagement du conditionnement de l'air et un prix considérablement plus élevé. Les grandes surfaces de verre en particulier demandent une installation de conditionnement de l'air plus grande, donc des frais d'installation et d'exploitation plus élevés. Dans certains cas, l'on doit même chauffer et refroidir en même temps un immeuble à grande surface de verre. En hiver on a même mesuré des températures de 60°C du côté sud et ouest en même temps que de −18°C du côté nord et est. En hiver, dans un grand

bâtiment à Los Angeles, la température intérieure s'élève à 32° C lorsque la température extérieure est de 10° C, bien que le conditionnement d'air travaille à plein rendement. La situation est quelque peu meilleure en été lorsque le soleil est haut et que les rayons incidents, faisant un plus petit angle avec la façade vitrée, sont réfléchis en grande partie par celle-ci. Les mêmes difficultés se sont présentées dans tous les endroits où l'on a utilisé une grande proportion de verre pour le revêtement d'un immeuble. L'auteur pense que la tendance actuelle d'utiliser le verre à outrance pour les façades d'immeubles, tout en présentant quelqu'intérêt du point de vue architectural, est une aberration et ne durera guère. N'améliorant pas ou même mettant en danger le bien-être des habitants de l'immeuble, le revêtement à grande surface de verre avec ses grands frais de construction et d'entretien (occasionnés par le chauffage, le conditionnement d'air, le nettoyage) ne présente aucun avantage qui puisse équilibrer ses inconvénients.

Lors des débuts de l'utilisation de murs-rideau minces, il y a eu maintes difficultés, telles que: étanchéité insuffisante, condensation sur la face intérieure de la couche extérieure métallique, petites tolérances dans les dimensions, qui rendirent difficile l'adaptation aux imprécisions usuelles des cadres métalliques, problème du nettoyage extérieur des vitres fixes et des surfaces de verre (résolu par des plateformes de nettoyage mobiles, suspendues au haut de l'immeuble). Toutes ces difficultés ont été surmontées et les murs-rideau minces sont utilisés aujourd'hui aussi bien pour des gratte-ciel que pour des immeubles commerciaux de un à trois étages ou des bâtiments administratifs ou résidentiels.

5. Protection contre l'incendie

D'importantes modifications sont intervenues dans les moyens et dispositifs ainsi que dans la conception de la protection contre l'incendie. Il faut réaliser une classification suivant le danger d'incendie et l'étendue des mesures de protection nécessaires, qui dépendent de la quantité de matière combustible (Feuerbelastung) ainsi que le montre l'article de M. Kollbrunner, du genre d'immeuble, de la grandeur de la surface protégée contre l'incendie et de bien d'autres facteurs. En même temps, on détermine aujourd'hui la résistance au feu de différentes constructions par des essais étendus et à grande échelle. M. Boué montre que, même sans normes internationales, les différents pays industrialisés sont arrivés à des essais très semblables en tenant compte des diagrammes donnant la relation entre le temps et la température, ainsi que d'autres caractéristiques.

Afin de montrer le développement survenu dans ce domaine, M. Stetina rappelle que l'exigence d'une résistance au feu de 4 heures pour les parois avait été faite pour des parois qui, minées par le feu, eussent entraîné la ruine du bâtiment. Appliquée aux portiques étagés, cette règle n'a plus aucun sens vu qu'aucune limite n'est imposée quant au nombre de fenêtres, qui ne pré-

sentent pratiquement aucune résistance au feu. Ces règles absolues ont été modifiées et bien des villes américaines n'exigent plus qu'une résistance au feu de 2 heures pour les parois extérieures tandis que d'autres demandent que les parois soient faites de matériaux incombustibles. Il y a eu une évolution analogue dans la protection contre le feu de l'intérieur du bâtiment. De semblables modifications sont intervenues dans les moyens et techniques de la protection contre l'incendie. On demandait autrefois que les piliers et poutres métalliques soient totalement enrobés de béton. Cet enrobement total est maintenant remplacé par des revêtements d'enduit léger, résistant au feu. M. Stetina fait remarquer que cela permet une réduction du poids dans la proportion de 15 à 1. Les planchers cellulaires sont protégés contre le feu par de légers plafonds crépis suspendus, ou par un léger enduit, directement appliqué au plancher cellulaire (différents mélanges de vermiculite, perlite, gypse et amiante).

La réduction de poids acquise de cette façon est très importante et s'additionne à celle obtenue par l'utilisation de planchers modernes et de murs-rideau. M. Boué indique un cas où le changement intervenu dans la protection contre l'incendie a permis une réduction des frais de construction de 20%.

6. Etude et calcul des cadres

L'ingénieur civil a un rôle à jouer dans toutes les questions déjà discutées et il le joue généralement, mais son travail principal consiste dans le calcul de l'ossature métallique. Dans ce domaine aussi de grands changements sont survenus, dus en partie à l'évolution dans la construction des planchers et parois, des techniques de prévention des incendies et d'autre part aux progrès réalisés dans la construction métallique.

Il ne faut pas oublier que le béton armé continue à jouer un rôle important dans la construction des ossatures d'immeubles. Le béton armé s'avère souvent plus économique que l'acier, dans la construction de bâtiments de 10 ou 15 ou même 20 étages. Pour de plus grands bâtiments, les piliers des étages inférieurs auraient de trop grandes dimensions, ce qui peut être évité en utilisant pour les étages inférieurs des colonnes mixtes formées de lourds profilés d'acier enrobés de béton. C'est ce que l'on fit en 1957 pour un immeuble de 24 étages à Cleveland, pour lequel on avait prévu une ossature métallique. Une pénurie d'acier rendant un montage rapide incertain, l'on choisit une ossature en béton armé. (Le rapport de M. Sparkes, Chapman et Cassel sur des mesures intéressantes effectuées dans un immeuble à ossature métallique, semble indiquer que pour de petites charges, telles qu'on les avait lors des mesures, l'enrobage en béton des piliers ne supportait aucune charge. L'interprétation de ces résultats est difficile vu la brièveté de l'article et le manque d'informations concernant l'armature en spirale ou autre et vu que les tensions mesurées étaient très petites comparées aux tensions prévues ou à celles de rupture. Ceci montre combien il est difficile de tirer parti de mesures effectuées

sur des immeubles en construction.) En 1958 et 1959, la New York City Housing Authority demanda, pour la construction de groupes d'immeubles à logement bon marché comptant vingt étages, des offres de constructions à ossature métallique aussi bien qu'à ossature en béton armé. Dans les deux cas, une ossature en béton armé réduisait les frais complets de construction de 6%.

Ceci montre que le béton armé a su maintenir sa place dans la construction de bâtiments à fonction relativement simple (immeubles locatifs, hôpitaux etc.) de hauteur moyenne, où les frais de construction jouent un rôle décisif. Malgré cela l'ossature métallique garde sa supériorité, spécialement dans la construction d'immeubles administratifs et autres. Ainsi 24 bâtiments sur 26 construits à New York en 1959 (7 à 64 étages) ont une ossature métallique.

Le rivetage, encore après la fin de la seconde guerre mondiale, était pratiquement le seul moyen d'assemblage utilisé dans les ossatures métalliques si l'on néglige l'utilisation limitée de boulons pour des assemblages secondaires au montage. Vers 1950, une tendance définitive à utiliser des assemblages soudés se fit sentir, spécialement dans des localités éloignées d'ateliers bien outillés. Sur 18 bâtiments d'une hauteur moyenne de 18 étages mis en chantier au Texas de 1951 à 1953, 12 avaient une ossature soudée et seulement six une ossature rivée. L'article de MM. D. T. Wright et R. M. Gooderham montre une intéressante évolution amorcée il y a dix ans dans les constructions soudées à Toronto au Canada. Au début la soudure se substitua au rivetage dans les assemblages usuels. Aujourd'hui on trouve des constructions rigides entièrement soudées à l'aide de soudures bout à bout. Ceci montre que l'évolution dans un pays n'est pas nécessairement probante dans un autre. L'auteur ne croit pas que cette méthode de soudure bout à bout puisse s'avérer économique aux Etats-Unis. Elle permet une économie d'acier mais les auteurs montrent très bien les petites tolérances de dimensions auxquelles il faut satisfaire ainsi que toutes les précautions qu'il faut prendre afin de compenser les imprécisions même faibles par rapport à la forme idéale, qu'on retrouve dans tout élément de construction. Ce sont là des complications supportables, lorsque la simplicité, la vitesse et le prix de montage ne jouent pas un rôle primordial.

Comme le fait remarquer M. Pickworth, les boulons précontraints à haute résistance sont depuis quelques années le moyen d'assemblage de loin le plus utilisé pour les attaches principales de montage, alors que les boulons noirs ordinaires continuent à être employés dans les assemblages secondaires tels ceux des poutres de planchers, des solives, etc. Jusqu'à maintenant les boulons à haute résistance sont calculés, d'une manière assez simple, comme des rivets; chaque rivet étant remplacé par un boulon de même diamètre. De prochains changements dans les normes tiendront mieux compte des résultats d'une récente série de vastes recherches concernant ce nouveau moyen d'assemblage. Ces changements permettront à l'ingénieur de mieux tirer profit des

avantages inhérents, quant à leur résistance, aux assemblages avec des boulons précontraints. C'est là d'ailleurs ce qui les distingue à bien des égards des assemblages rivés analogues.

Il y a bien sûr des exceptions à cette évolution. Ainsi dans une des plus intéressantes constructions récentes, l'Inland Steel Building à Chicago avec ses 19 étages, tous les assemblages des piliers et des poutres principales sont soudés et seules les attaches secondaires sont boulonnées. L'immeuble n'a aucun pilier intérieur et les poutres principales ont une portée de 60 ft. (18 m) entre les piliers qui sont situés à l'extérieur du bâtiment. Dans le Crown Zellerbach Building, avec ses 20 étages, érigé à San Francisco deux ans plus tard (1958), qui a une ossature assez semblable avec des poutres maîtresses de 63 ft. (19 m) entre les piliers extérieurs, tous les assemblages sont boulonnés à l'exception de ceux des piliers qui sont soudés bout à bout. La question de savoir quelle est la solution la meilleure ne peut être résolue qu'en connaissant les conditions locales et de montage. Ainsi, en 1959 à Denver le fait de remplacer les boulons à haute résistance par des assemblages soudés sans changer quoi que ce soit aux dimensions des éléments dans un immeuble de 9 étages, permit un gain de temps et une réduction des frais considérables. L'Union Carbide Building au Canada décrit par MM. Wright et Gooderham présente une disposition semblable au Crown Zellerbach Building à San Francisco, mais son ossature est totalement soudée. Il s'agit-là d'une exception à la règle car les boulons à haute résistance sont utilisés dans la majorité des constructions.

La grande réduction du poids mort due à l'utilisation de planchers, parois et systèmes de protection contre l'incendie nouveaux a déjà été mentionnée. Ajoutée aux progrès faits dans l'étude et le calcul, il en résulte une remarquable réduction de poids de l'ossature métallique. Il est difficile d'obtenir des statistiques, mais le classement fait par M. Stetina montre qu'en 25 ans, le poids des ossatures métalliques de bâtisses de même grandeur et disposition a bien diminué de moitié. Ces cadres plus légers sont bien sûr plus flexibles que les anciennes constructions lourdes. De plus les murs conventionnels en maçonnerie, les dalles en béton armé, l'enrobement complet des piliers et sommiers des anciennes constructions augmentaient la résistance et particulièrement la rigidité de la construction bien qu'on n'en ait jamais tenu compte dans les calculs. Les parois et planchers légers d'aujourd'hui, par contre, ne contribuent aucunement à la résistance et rigidité de l'immeuble (à moins qu'ils ne soient spécialement étudiés dans ce but). Ainsi les questions de déformations, de résistance aux efforts horizontaux, ainsi que les oscillations horizontales ont aujourd'hui beaucoup plus d'importance qu'il y a quelques années. Le calcul des déformations verticales et horizontales (vent, tremblements de terre, etc.) et l'analyse dynamique en vue de limiter les flèches dues à des sollicitations verticales et horizontales sont aujourd'hui nécessaires dans la plupart des cas. Ces calculs doivent si possible être effectués pour des charges effectives et prévisibles plutôt que pour des cas de charges prévus dans les normes.

M. Pickworth estime que les déformations horizontales, sous l'effet du vent considéré dans le calcul, ne devraient pas dépasser 0,15 à 0,20% de la hauteur du bâtiment. Dans le cas du Crown Zellerbach Building de San Francisco, déjà mentionné, les déformations latérales dues au vent et aux tremblements de terre furent limitées à 0,12% respectivement à 0,16%. (Le calcul de l'influence d'un tremblement de terre est prescrit sur la côte du Pacifique et en quelques autres endroits des Etats-Unis. Dans le cas du Crown Zellerbach Building la charge sismique considérée était de 3,5% des charges verticales soumises à l'attraction terrestre.)

La façon dont les efforts horizontaux sont repris par l'immeuble est devenue un problème de grande actualité. Il y a trois solutions qui permettent au bâtiment de résister aux charges horizontales:

1. L'ossature elle-même, calculée comme cadre rigide ou demi-rigide, est apte à résister aux charges horizontales.

2. Des contreventements verticaux judicieusement répartis à l'intérieur de l'immeuble reprennent les charges horizontales.

3. Des murs de béton verticaux connus sous le nom de voiles de contreventement (shear walls) sont érigés dans des plans appropriés. Ils sont généralement disposés autour du centre vital du bâtiment qui contient toutes les installations telles que les ascenseurs, mais on les retrouve aussi quelquefois comme parois étroites extérieures du bâtiment. Les cadres rigides permettent de disposer très librement de l'intérieur de l'immeuble, raison pour laquelle on les préfère, mais leurs déformations horizontales peuvent être trop grandes ou leurs dimensions, excessives. C'est la raison pour laquelle il est souvent avantageux ou même nécessaire de prévoir des contreventements verticaux faits de voiles de contreventement ou d'un système triangulé. Dans ce cas, les planchers doivent être assez rigides et résistants pour supporter et transmettre aux contreventements les charges horizontales qui les sollicitent dans leur plan. De vastes essais en vraie grandeur ont prouvé que non seulement les dalles de béton, mais aussi les planchers cellulaires métalliques peuvent travailler comme des diaphragmes, à condition que les panneaux soient suffisamment reliés entre eux par des soudures.

L'étude et le calcul des contreventements est un problème très intéressant. Pour des constructions asymétriques, il faut déterminer exactement combien chaque contreventement reprend de la charge horizontale totale. Le problème devient encore plus complexe lorsque des systèmes de rigidité différente sont utilisés dans le même bâtiment. Ainsi dans le Crown Zellerbach Building la tour des installations (qui est séparée du bâtiment lui-même), dans laquelle se trouvent les ascenseurs ainsi que d'autres installations, a des contreventements verticaux triangulés, tandis que dans l'immeuble principal des cadres rigides résistent au vent et aux tremblements de terre. Le Seagram Building qui compte 38 étages a des contreventements triangulés, enrobés d'une couche de béton de 30 cm.

7. Montage et sécurité

Le montage d'un grand immeuble élevé à ossature métallique est une réalisation aussi impressionnante que l'étude et le calcul de l'ossature. Cela n'est pas seulement dû à l'application de techniques ingénieuses et spécialisées qui, comme le dit M. Rapp dans son rapport, consistent à se soulever par ses «propres lacets de souliers», mais aussi au fait qu'à côté de ces prouesses techniques, le montage d'un tel immeuble, en plein centre d'une ville à grande circulation, demande une organisation d'ensemble remarquable. En général, il n'y a aucune place pour des entrepôts ou des échafaudages. Il faut organiser avec les ateliers de construction métallique et les autres entrepreneurs le transport du matériel, qui ne supporte aucune interruption. L'arrivée et le départ de matériaux et leur transport dans l'immeuble doivent être assurés malgré toutes les difficultés que présente un chantier de grande ville. Les problèmes que posent un tel transport de matériaux peuvent sans autre être comparés à ceux, rencontrés par les militaires, lors de grands transports de troupes.

Dans tout cela, la sécurité du travailleur n'est pas un problème en soi, mais c'est une partie intégrante du processus. Comme il resort de façon évidente du rapport de MM. Rapp et Wolf, chaque étape de travail, chaque technique, chaque méthode de travail doit être examinée du point de vue de la sécurité du travailleur et du rendement technique. L'expérience américaine semble prouver que toute mesure qui ne tient pas compte de la sécurité du travailleur a un mauvais rendement et n'est pas économique. Ainsi que le dit M. Wolf, on atteint une grande sécurité dans le travail par une longue et durable tradition de sécurité, une coopération volontaire et intense entre employé et employeur directeur, contremaître et ouvriers plutôt que par des lois détaillées dictées par l'état, dont l'application est contrôlée par des inspecteurs officiels, étrangers à l'entreprise. Mais ici encore les expériences faites dans un pays ne sont pas nécessairement applicables dans un autre où les conditions ne sont plus les mêmes.

Generalbericht

1. Gegenwärtige Tendenzen in der Berechnung von Stahlhochbauten

Der größte Teil des vorliegenden Berichtes befaßt sich mit vielstöckigen Stahlskelettbauten, wie sie für Bürogebäude, Hotels, Wohnhäuser und ähnliche Bauten üblich sind. Obwohl zahlreiche Verfeinerungen und Verbesserungen in den Entwurfsmethoden für solche Konstruktionen eingeführt wurden, ist doch auf diesem Gebiet bis dahin keine grundlegende Änderung eingetreten. Immerhin wäre heute, im Jahre 1960, ein Referat über unser Thema wohl