

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

Band: 8 (1968)

Artikel: Problèmes spéciaux aux bâtiments de grande hauteur (murs de contreventement, stabilité élastique des poteaux, effets de gradients thermique, problèmes constructifs)

Autor: Reese, Raymond C. / Picardi, E.A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-8720>

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: 13.01.2026

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

V

Développements nouveaux relatifs aux bâtiments de grande hauteur en béton

V a

Problèmes spéciaux aux bâtiments de grande hauteur (murs de contreventement, stabilité élastique des poteaux, effets de gradients thermiques, problèmes constructifs)

RAYMOND C. REESE

FASCE, Consulting Engineer, Toledo, Ohio

E. A. PICARDI

FASCE, Partner Skidmore,
Owings & Merrill, Chicago, Illinois

La popularité dont jouissent actuellement les structures de grande hauteur dans le monde entier fait d'elles un thème tout indiqué pour ce Congrès. Dans la première partie de la présente contribution, on fera brièvement le point de l'état actuel de l'art, on décrira de nombreuses pratiques actuelles et l'on évoquera certains des problèmes rencontrés dans ce domaine. La seconde partie sera spécifiquement consacrée à la présentation succincte de trois catégories de problèmes importants, avec l'espoir qu'ils suscitent des discussions et de nouvelles recherches. Aux structures de grande hauteur sont associés certains types de problèmes qui leur sont propres et qu'on ne rencontre pas à propos des autres ouvrages.

1^{re} partie

Les ouvrages de grande hauteur sont parfois définis comme étant des bâtiments de plus de 15 ou 16 étages; néanmoins, plutôt que de les définir en fonction du nombre d'étages, les rapporteurs préfèrent, aux fins du présent rapport, les définir comme étant des bâtiments dont la charpente est d'une hauteur telle que, pour leur assurer un comportement sûr et approprié à leur destination, il est nécessaire de déterminer au préalable les conditions de stabilité, les contraintes intérieures, les réactions ainsi que les déplacements, et de procéder à une analyse rigoureuse des surcharges verticales et horizontales ainsi que des effets du retrait, du fluage et de la température.

C'est maintenant et ce continuera incessamment d'être dans l'avenir un sujet de discussion que de savoir quels sont les mérites respectifs, des différents

points de vue économique, esthétique et fonctionnel, des bâtiments élevés à charpente métallique et à charpente en béton. Pour le moment, aucun matériau ne peut être mis à part et considéré comme représentant le matériau idéal des charpentes des bâtiments de grande hauteur. Ce n'est qu'après avoir étudié minutieusement tel ou tel projet déterminé que le constructeur est en mesure de choisir le matériau et le système de charpente et de conclure qu'ils représentent la meilleure solution pour le projet. On ne peut tirer de conclusions valables qu'à propos d'un projet donné, en un temps donné et en un lieu donné. La validité des conclusions retenues dépend pour une grande part du talent, de l'habileté et de l'étendue des connaissances du constructeur. Il est de ce fait extrêmement important de poser clairement les problèmes dont la solution est la condition de l'établissement d'un projet valable et, pour chacun de ces problèmes, d'offrir au constructeur des solutions raisonnables et prudentes.

Différentes raisons peuvent être à l'origine de la construction d'un bâtiment de grande hauteur, par exemple: (1) le désir d'utiliser plus rationnellement le terrain, c'est-à-dire d'avoir une meilleure rentabilité de la surface bâtie, (2) le désir de grouper plus étroitement des individus à l'intérieur de communautés spécialisées en vue d'améliorer les intercommunications, (3) la recherche d'un effet de prestige et de publicité, (4) la possibilité de fixer des loyers plus élevés si tous les services domestiques peuvent être assurés dans un rayon étroit, (5) la recherche d'une rationalisation du fonctionnement des services publics de l'eau, de l'éclairage, des égouts des distributions etc., (6) le désir de s'élever au-dessus des rues embouteillées, d'avoir un peu d'air, une certaine ouverture et une vue, et d'échapper aux bruits de la rue, aux insectes, aux poussières et aux agents salissants. Leur développement croissant montre que la réalisation économique de ces constructions est un fait assuré.

Quels sont donc les facteurs déterminant la hauteur économique d'une construction? Ce sont les transports dans la direction verticale qui représentent le premier. Dans les étages inférieurs, les cages d'ascenseur prennent une grande partie de l'espace pouvant être loué. Il y a plusieurs façons d'améliorer les moyens de transport vertical, comme par exemple: (1) en faisant marcher les ascenseurs à une vitesse plus élevée, jusqu'à 370 mètres à la minute, (2) en prévoyant de meilleures commandes pour des accélérations et décélérations plus fortes, (3) en organisant un service express pour certains ascenseurs sur une partie de la hauteur du bâtiment et un service omnibus seulement entre certains étages déterminés, (4) en aménageant dans l'immeuble des appartements de deux ou même trois étages sans ascenseur, avec des ascenseurs ne s'arrêtant que tous les deux ou trois étages, (5) en disposant deux ascenseurs dans la même cage, avec une chaîne verticale de sécurité suspendue à l'ascenseur supérieur pour prévenir les collisions, et (6) en disposant des ascenseurs à l'extérieur du bâtiment. Même dans ces conditions, le volume locatif perdu du fait des ascenseurs reste un facteur déterminant.

Le volume occupé par les conduites de plomberie, de chauffage, de venti-

lation et les installations électriques est d'une importance considérable. Pour rendre aussi faibles que possible les pertes d'espace locatif, on a recours aux vitesses élevées, aux salles de machines aux niveaux intermédiaires, à la haute tension et à des installations et systèmes analogues. Quelque part entre 16 et 18 étages, il y a souvent une coupure nette dans les offres qui est due aux dispositions qui doivent être prévues pour satisfaire aux exigences mécaniques et aux conditions de construction de la charpente.

On fait les murs aussi minces que possible, des panneaux métalliques avec isolation remplaçant par exemple la maçonnerie. On prend des matériaux à haute résistance pour dimensionner au minimum les poteaux. La distance et la forme des poteaux sont déterminées de façon à s'adapter dans les espaces correspondant aux intersections de cloisons ou autres points écartés de cette sorte, de façon à garder dégagée toute la surface des pièces. Les poteaux doivent être suffisamment distants les uns des autres pour permettre d'aménager entre eux des pièces de dimensions appropriées dépourvues d'obstacles, alors que dans des pièces plus vastes ils pourraient se trouver exposés au milieu d'elles.

A mesure que le constructeur réduit les dimensions de l'ossature, il a de plus en plus à faire face à des problèmes d'oscillation latérale admissible («dérive»), de vibrations et de phénomènes analogues. Si les passages de poteau peuvent s'étendre verticalement d'une seule traite de la semelle au toit, le volume et le coût de la construction se trouvent réduits au minimum. Si différents étages sont destinés à des usages variés, comme par exemple avec des appartements au-dessus de magasins au-dessus de garages, ce n'est pas un problème simple d'établir un projet avec des poteaux verticaux. Il est parfois nécessaire de prévoir des poutres de transfert pour reporter les charges d'un système de poteaux sur un autre. Ces poutres ont souvent la hauteur d'un demi-étage ou d'un étage entier et requièrent encore un important volume complémentaire autour d'elles. Il est parfois possible d'aménager des volumes de service de long de ces poutres. La recherche d'un plan unique d'entre-colonnement dans des plans d'étage qui présentent de larges différences représente un problème qui vaut la peine d'être étudié de très près. Toutes ces questions sont pour une grande part d'ordre architectural bien qu'étant tout à fait l'affaire de l'ingénieur.

Tous les bâtiments de grande hauteur ont certains problèmes de charpente en commun. Il y a une concentration assez forte des charges sur une surface limitée, ce qui pose des problèmes pour les fondations, aboutissant généralement à: (1) une fondation distributrice avec un sol de portance élevée, (2) des radiers, (3) des pieux, (4) des caissons, ou des systèmes similaires. Avant d'établir les plans, on procède à une étude minutieuse du sous-sol. On estime les tassements probables ainsi que ceux pouvant être supportés par l'ouvrage.

Parfois, la possibilité d'avoir des charges inférieures aux limites de portance admissibles dépend étroitement du poids mort de l'ouvrage lui-même, et une grande importance s'attache alors aux techniques élaborées qui permettent de

réduire ce poids mort, comme par exemple l'emploi de matériaux légers, y compris le béton à argile soufflée.

La résistance au feu est une autre caractéristique qui doit être conférée à tout bâtiment de grande hauteur, et ce quels que soient les matériaux employés. Plus il y a d'étages, plus il devient difficile de réaliser des moyens d'évacuation simples et sûrs. Il s'ensuit que tous les matériaux utilisés dans la construction doivent être aussi résistants au feu qu'il est possible. Les codes de construction imposent que soit assuré un temps suffisant pour permettre l'évacuation des bâtiments en cas d'urgence, et fixent à cet effet des intervalles de trois ou quatre heures.

En raison de la faible largeur que présentent la plupart des constructions élevées par rapport à leur hauteur, c'est la résistance aux efforts sismiques et aux charges dues au vent qui vient se situer au premier plan des préoccupations. Il existe différentes façons de raidir le squelette tri-dimensionnel de forme rectangulaire d'un bâtiment de grande hauteur, ainsi peut-on prévoir: (1) des joints rigides entre, d'une part, tôle plane ou plancher-dalle (ou entre poutrelles, ou poutres) et, d'autre part, piliers, ce qui fait de l'ensemble de la charpente une poutre Vierendeel formant console dans la direction verticale à partir du sol, (2) le remplacement de ces figures quadrangulaires par un système d'entretoisement à barres obliques, (3) l'emploi de portiques à contreventement spécial ou de murs de cisaillement spécialement destinés à résister aux efforts horizontaux. Quand il s'agit de piliers s'étendant de manière continue dans la direction verticale selon un dessin simple, ces systèmes prennent déjà pas mal de temps à calculer. Le calcul s'allonge considérablement s'il y a des tassements ou si la répartition des axes des piliers varie d'un étage à l'autre, quand bien même le décalage n'intéresserait que des sections planes successives. Et si ces décalages se combinent à d'autres disposés à angle droit et à l'extérieur des sections planes successives, le calcul se trouve rendu encore plus compliqué. Les poutres de transfert des charges sont souvent des poutres courtes lourdement chargées dont le calcul peut exiger qu'on les considère comme des poutres de grande hauteur. Il n'est pas toujours possible de supprimer la torsion, et dans ce cas il faut l'évaluer. Il est en particulier nécessaire que le plan original prenne en considération ces entretoisements, murs de cisaillement, poutres de transfert et autres systèmes ainsi que les volumes où les loger.

Il faut aussi tenir compte des effets psycho-physiologiques sur les occupants. Il est apparu que les déformations et les accélérations horizontales peuvent être préjudiciables aux occupants. On a procédé à certaines études médicales sur les réactions des êtres humains aux mouvements cycliques de vitesse et intensité différentes qui se produisent. La figure jointe à la page 504 présente à cet égard suffisamment de données pour mettre en lumière la voie que prennent les recherches entreprises en vue de déterminer les mouvements horizontaux que les êtres humains peuvent supporter.

Il y a également lieu de faire entrer en ligne de compte les effets intéressant

les cloisons, les plafonds, les revêtements extérieurs et de plancher, et ce non seulement pour se prémunir contre des fissurations inesthétiques mais aussi pour éviter les fléchissements et gauchissements qui empêcheraient les portes et les fenêtres de se fermer convenablement. Il est nécessaire de pourvoir aux inévitables déformations verticales des piliers chargés en disposant les joints de dilatation appropriés. (Des piliers métalliques s'élevant à 300 mètres, sollicités partout à 2000 kg/cm^2 et ayant un module de Young de 2100000 kg/cm^2 , raccourciront nécessairement de quelque 30 cm, de sorte qu'il s'impose que, par exemple, les panneaux métalliques des murs, qui sont relativement peu sollicités, aient des joints permettant un déplacement de cette ampleur.)

Les méthodes de calcul sont à peu près les mêmes quels que soient les matériaux. En raison du grand nombre de répétitions des charges de plancher, il faut les établir minutieusement – avec des surcharges assez élevées pour satisfaire aux conditions de sécurité et assez basses pour satisfaire à l'économie, rendre minimales les charges sur les appuis et rendre possible l'ensemble de la construction. Les codes de construction locaux les ont établies pour tout ouvrage, mais leurs recommandations sont actuellement soumises à un examen minutieux. Les charges à la construction peuvent facilement excéder celles devant se manifester lors de l'occupation, aussi doivent-elles être prises en compte dans le calcul ou doit-on prendre des dispositions pour les répartir de façon que les hypothèses de calcul ne soient pas dépassées. Il convient d'évaluer conformément à la réalité les cloisons, surtout celles en maçonnerie, et quand il y a de nombreux tuyaux et passages, au lieu de les estimer globalement en leur affectant un coefficient arbitraire et peut-être excessivement faible par unité de surface. Il faut user de soin pour évaluer les poids morts et non pas poser des hypothèses arbitraires. Une canalisation élevée soutenue par une bride disposée dans un plancher donné peut produire une charge concentrée très importante, et il faut que le système de plancher, de chaque côté, la prenne en compte.

On peut réduire les effets des surcharges en leur appliquant un coefficient qui est déterminé dans une perspective probabiliste et qui dépend du nombre de planchers, de la surface des planchers supportés et de la grandeur respective des surcharges et du poids mort. Subissant d'une certaine façon l'influence des scientifiques et des constructeurs de l'aéronautique et de l'astronautique, les ingénieurs civils recourent de plus en plus à la statistique pour analyser les problèmes particulièrement complexes auxquels ils se trouvent parfois confrontés.

Les charges dues au vent sont étroitement liées aux vitesses des vents, et c'est là un domaine où la météorologie a accumulé d'abondantes observations. On doit toutefois considérer l'éventuel effet d'écran exercé par les constructions voisines. C'est généralement en tant que charges statiques couvrant complètement la surface exposée du projet que l'on traite les charges dues au vent. On étudie rarement individuellement les effets dynamiques des rafales et des chocs de forte intensité intéressant des surfaces restreintes; on admet que l'effort

statique général est d'une intensité suffisante pour inclure les effets dynamiques. Il est bien évident qu'une valeur de pression horizontale qui serait suffisante pour assurer la stabilité de la charpente de l'ouvrage dans son ensemble serait bien faible pour le calcul du verre de la verrière d'un atelier de peintre. Les mesures auxquelles on procède actuellement sur certaines constructions de hauteur inhabituelle, et qui comprennent simultanément l'observation des pressions exercées par le vent, permettront de mieux comprendre de nombreuses questions, parmi lesquelles: (1) la manière selon laquelle les pressions exercées sur la surface d'un bâtiment sont liées aux vitesses générales du vent enregistrées dans la région; (2) la mesure dans laquelle l'analyse permet de prévoir les mouvements horizontaux d'une construction et ses caractéristiques oscillatoires; (3) la question de savoir si ces mouvements peuvent être supportés par la construction et les êtres humains qui l'occupent; (4) l'effet approximatif d'encastrement exercé par les murs, les cloisons et autres éléments qu'on omet souvent de prendre en compte dans les calculs ou qu'on fait intervenir en réduisant la charge unitaire.

Les charges dues aux séismes sont elles aussi en cours d'étude, ainsi que les réactions des charpentes qui s'y trouvent exposées. C'est en les soumettant à l'analyse dynamique que, de plus en plus, l'on traite les efforts sismiques. Des facteurs comme la capacité d'absorber l'énergie et la plasticité des charpentes deviennent alors importants.

Le niveau au-dessus duquel des déformations permanentes pourraient être acceptées est une question qui mérite l'attention. De grands progrès sont faits actuellement, dans le cadre de recherches théoriques aussi bien qu'expérimentales. Des différences d'opinion se manifestent, bien entendu, mais un vaste ensemble d'informations a été recueilli qui va des données relatives aux forces mises en jeu par les tremblements de terre à la réaction que les charpentes leur opposent et aux niveaux qui peuvent être supportés par les constructions et leurs occupants.

Pour édifier des ouvrages résistant à ces efforts dus aux surcharges et au poids mort, aux vibrations, au vent et aux tremblements de terre, les méthodes de calcul mises en œuvre vont des plus simples aux plus élaborées en combinant souvent plusieurs approches du problème. En faisant intervenir les calculatrices électroniques, c'est chose possible que de calculer des charpentes auxquelles sont associées des matrices d'une considérable complexité. Il est aussi possible de développer une ossature satisfaisante à partir d'hypothèses assez simples. Tant que ces hypothèses simples s'appliquent à des ouvrages semblables à ceux à propos desquels leur application a déjà donné de bons résultats, il est probable qu'elles permettent de réaliser une construction sûre, les principaux problèmes étant alors l'économie et le comportement éventuel de l'ouvrage en présence d'une conjonction de circonstances défavorables, c'est-à-dire la valeur du coefficient général de sécurité. C'est une nécessité que d'avoir des méthodes simples pour dessiner l'ensemble du squelette initial auquel on pourra appliquer des

méthodes plus raffinées. Les analyses détaillées et traitées sur calculateur peuvent aller jusqu'à prendre en compte la déformation longitudinale des éléments, outre les effets dus à la flexion, ainsi que la déformation des cadres rectangulaires qui en résulte. Deux points méritent qu'on lance un appel à la prudence: (1) le travail impliqué et les occasions d'erreurs augmentent exponentiellement en fonction du nombre d'éléments considérés; le calculateur, une fois convenablement programmé, est capable de traiter un grand nombre de variables, mais l'analyste, pour ce qui le concerne, n'est pas toujours aussi doué; (2) on a tendance à se fier totalement aux belles colonnes de chiffres qui sortent de l'imprimante du calculateur; pour l'ingénieur qui n'est pas un expert en programmation, il est bien difficile de s'assurer que chaque pas de calcul et chaque élément a été bien traité, de distinguer le critère qui a déterminé le résultat ou quelle modification pourrait sensiblement l'améliorer. La construction relève encore presque autant de l'art que de la science; il n'existe pas encore de solution optimale qu'un calculateur puisse automatiquement délivrer.

Cet exposé succinct, par force très général, où les applications et les détails ne peuvent trouver place, procède du fait que toutes les constructions de grande hauteur posent à de nombreux égards les mêmes problèmes, parmi lesquels les questions architecturales et d'économie, les méthodes de calcul, le choix des charges et les tolérances humaines. Venons-en maintenant à ce qui touche spécifiquement les ouvrages de grande hauteur en béton armé.

Les systèmes de plancher peuvent être de différents types: (1) dalles et poutres; (2) planchers avec poutrelles en béton; (3) dalles du type gaufre; (4) tôle plane; (5) dalles plates; (6) dalles levées et (7) autres. Divers facteurs commandent le choix à faire entre ces différents types, au nombre desquels: (1) le système de plafond, (2) la portée, (3) la charge, (4) la hauteur des étages, (5) la hauteur du bâtiment.

Le système de plafond peut jouer un rôle important. Si les équipements sont logés dans des canalisations ou puits verticaux passant par les plafonds des couloirs et ne nécessitent pas l'exécution de plafonds suspendus dans les pièces, on a une solution en soi économique avec un plancher constitué par une tôle plane laissant le plafond exposé et soit recouvert de peinture, lorsque cette solution est acceptable, soit revêtu de carreaux d'insonorisation ou d'un matériau similaire si nécessaire; ce système permet de réduire l'épaisseur du plancher et est compatible avec ces espacements entre piliers arrangés de la façon la plus irrégulière. En l'absence de murs de cisaillement ou de portiques entretoisés, la transmission des moments entre la dalle et les piliers exige de calculer la charpente étant donné que les dalles sont plus minces que les piliers et que seule une partie de la largeur de la dalle participe à la transmission des moments. C'est souvent le cisaillement s'exerçant autour du pilier qui détermine la circonférence des piliers et l'épaisseur de la dalle. Ceci a souvent plus d'effet sur l'épaisseur de la dalle que n'en a la flexion.

On laisse parfois exposés et recouverts de peinture les systèmes à poutres

et dalles. Le coût du coffrage est, avec ce système, considérablement plus élevé que dans le cas d'une tôle plane; sauf avec de très longues portées, la hauteur du bâtiment est augmentée pour loger les poutres plus hautes, les poutres donnent au plafond un aspect entrecoupé et il est plus difficile de réaliser un entrecolonnement tout à fait irrégulier, ce qui fait que la solution des tôles planes est plus souvent retenue.

Les systèmes de plancher à poutrelles en béton peuvent se représenter comme constituant une dalle pleine d'épaisseur égale à la hauteur totale, en maintenant tout le béton situé au-dessus de la fibre neutre et, de ce fait, comprimé sous l'action de moments positifs, et en supprimant autant de ce béton plus ou moins inerte situé au-dessous de la fibre neutre qu'il est possible de la faire eu égard à la valeur adéquate de l'effort tranchant et à l'enrobage des fers. De cette façon, non seulement on économise le béton supprimé mais encore on réduit le poids mort que supporte la charpente sur toute sa hauteur jusqu'aux fondations. L'intérêt économique de ce système commence avec des portées aussi faibles que 4 ou 5 mètres et augmente avec les portées. Des portées de 15 à 20 mètres et plus ont été exécutées de façon donnant satisfaction et dans des conditions économiques. L'espacement relativement étroit et la répétition constante des nervures ne sont pas d'un effet très heureux. Les économies substantielles qu'il est possible de faire peuvent se trouver réduites du fait du coût des plafonds suspendus. Comme les poutrelles sont aptes à franchir des distances considérables, il en résulte souvent pour les poutres des portées de même grandeur dans la direction opposée. Ce peut alors poser un problème que d'avoir à faire entrer ces poutres relativement hautes dans le plan architectural sans sacrifier le dégagement vertical.

Ouvrons une parenthèse pour préciser que dans ce qui a été dit il est tacitement admis que le coût d'une construction de grande hauteur dépend de son volume intérieur. Ce qui en gros est vrai. Un bâtiment plus haut implique une plus grande surface de murs extérieurs, de cloisons intérieurs et de passages verticaux, des escaliers et des trajets d'ascenseur plus longs, une plus grande longueur de tuyaux et de passages pour canalisations. Généralement, les codes fixent la hauteur des étages du plancher au plafond. A quoi on ajoute l'épaisseur du système de plancher, du plafond à la surface du plancher terminé, pour obtenir la hauteur des étages plancher à plancher. Ce qui fait qu'un plancher mince représente une économie non seulement eu égard à la quantité de matériau que sa fabrication requiert mais aussi pour tout ce qui concerne les éléments des équipements qui viennent d'être mentionnés ainsi que d'autres du même genre.

La dalle du type «gaufre» (grillage) est à une dalle champignon ce qu'est un plancher à poutrelles à une simple dalle pleine. Elle peut être calculée comme une tôle plane sans poutres d'appui. Dans une certaine mesure, les poteaux n'ont pas besoin d'être espacés selon un mode exactement rectangulaire, bien que les possibilités d'arrangement irrégulier soient grandement limitées du fait

du nombre restreint des types de coffrages amovibles dont on dispose. Le grillage de la face inférieure a un caractère souvent acceptable pour constituer le plafond définitif. S'il est nécessaire de disposer un plafond suspendu sous la dalle, on y perd une partie des avantages économiques ainsi qu'un peu de dégagement vertical.

Le système des dalles levées consiste à ériger les poteaux en les entretoisant seulement au niveau de la plus grande hauteur de la construction, à placer la dalle en béton sur le sol avec, au-dessus d'elle et les unes sur les autres, toutes les dalles de plancher enduites d'une couche antiadhésive appropriée et contenant les conduites et tuyaux incorporés. Une fois les dalles suffisamment durcies, on les soulève le long des poteaux déjà en place pour les fixer, aux niveaux voulus, au moyen de colliers ou de pattes de fixation. On évite ainsi en grande partie la fabrication de coffrages compliqués.

Alors que les tôles planes sont déjà presque classiques dans les ouvrages de grande hauteur à usage d'habitation, qu'il s'agisse d'appartements ou d'un hôtel, un n'utilise que très rarement, si on le fait jamais, la dalle plate qui leur correspond, pourvue d'un chapiteau en saillie, voire d'un panneau basculant, au-dessus de chaque poteau, et qui ainsi absorbe des moments importants. On considère qu'il s'agit là d'un système plus particulièrement approprié aux entrepôts et aux usines où des charges élevées engendrent des moments importants.

Les poteaux, eux aussi, peuvent avoir toutes les formes imaginables. Les sections carrées, rectangulaires et circulaires représentent peut-être la solution la plus facile, mais celles en T et en L, s'adaptant aux angles des canalisations et des cloisons intérieures, occupent souvent une moins grande partie de la place utilisable à chaque étage. Les armatures hélicoïdales vont naturellement avec les poteaux de section circulaire. Alors que les spirales peuvent être utilisées avec les poteaux carrés, le nouveau Code ACI 318-63 ne reconnaît pas à ce système une portance suffisamment supérieure à celle que possède ce même poteau pourvu de tirants latéraux pour que l'emploi d'une spirale, étant donné son coût, soit payant. La place gagnée vaut si cher que le béton haute résistance est en général exclusivement spécifié pour les poteaux. Alors que pour le reste de la charpente on peut employer du béton de 250 kg/cm² à 275 kg/cm² (essais sur cylindre de 15 × 30 cm à 28 jours), on prend souvent pour les poteaux du béton à 350, 400 ou 450 kg/cm². Aux environs de 450 à 475 kg/cm², les agrégats gros doivent être choisis avec soin et il faut contrôler la confection et la mise en place du béton, ce qui fait que l'avantage économique ne tarde pas à disparaître. Avec les éléments préfabriqués et précontraints, on produit couramment des résistances atteignant ou dépassant 700 kg/cm², mais il n'en est pas de même du béton coulé sur place. Les coffrages tubulaires en papier ou ceux constitués avec de petits éléments en tôle donnent de très bons résultats avec les poteaux circulaires. On commence à les utiliser avec les poteaux carrés. Les sections en T et en L sont exécutées avec du contreplaqué ou des planches. Les petites canalisations électriques sont complètement enrobées dans les

poteaux, celles de faibles dimensions sans qu'on tienne compte dans le calcul, celles de plus fortes dimensions étant prises en compte selon la perte de surface portante qu'elles représentent.

Lorsque la conception architecturale fait qu'un poteau extérieur se trouve en partie exposé, à travers le mur extérieur, aux effets du froid et du gel et qu'en même temps la partie intérieure de ce poteau se trouve exposée à la température, tout de même assez élevée, qui règne dans les pièces, il se pose alors des problèmes de gradient de température à travers la masse de ce poteau. Au premier abord, il semble qu'on ait à faire face à des sollicitations sévères, mais la situation se trouve quelque peu modifiée dès que l'on a un peu d'expérience et que l'on étudie davantage le problème.

On a déjà parlé des fondations. Les problèmes qui s'y rapportent sont à peu de choses près les mêmes pour les ossatures métalliques et pour celles en béton armé. Bien qu'on ait soutenu que le poids mort des charpentes métalliques était tellement moindre que l'étude des projets s'en trouvait simplifiée, particulièrement avec des sols de portance limitée, les charges que plusieurs études présentant différentes variantes ont mises en évidence ne permettent pas de confirmer que cet argument a l'importance majeure que d'emblée on serait tenté de lui attribuer.

À la place des poteaux, on trouve dans nombre de constructions récentes de grande hauteur des cloisons et murs porteurs exécutés en béton coulé sur place, ou en panneaux préfabriqués ou encore en blocs de maçonnerie montés sur le chantier avec du mortier. Certains codes de construction, dont les auteurs en les rédigeant n'avaient pas spécifiquement les murs porteurs présents à l'esprit, font état de méthodes sûres mais plutôt empiriques pour déterminer les dimensions de ces murs porteurs. Du fait des études et essais actuellement entrepris, grâce aussi aux habitudes qui se prennent, le calcul de ces murs ou panneaux muraux en vient progressivement à être fait comme il est pratiqué pour les autres éléments.

Une variante intéressante consiste à monter le mur coulé sur place tout d'abord à l'aide de coffrages glissants se déplaçant verticalement, tels que ceux utilisés dans la construction des trémies de stockage de grains, et à continuer derrière avec le plancher. Ces murs présentent parfois un aspect tout à fait satisfaisant dans le bâtiment définitif. Il faut prévoir la mise en place des différents dispositifs électriques, tels que prises et interrupteurs, à mesure que le coffrage se déplace vers le haut. Alors que pilastres, rainures, éléments en saillie ou en creux sont rapidement inclus dans les coffrages pendant leur construction, et alors qu'on peut laisser des trous ou des évidements destinés à recevoir les planchers qui, par nécessité, seront construits ultérieurement, ce sont les mêmes profils qui, dans toute la mesure du possible, doivent s'étendre des fondations à la toiture. Aux fins du contreventement, c'est au plus deux ou trois étages au-dessous de l'endroit où se trouve le coffrage glissant qu'on doit mettre en place les planchers.

En l'état actuel, les panneaux muraux préfabriqués sont beaucoup plus largement employés en Europe qu'en Amérique du Nord, ceci en grande partie pour des raisons d'économie relative et, pour une part, en raison de l'intérêt, des compétences professionnelles et des techniques des entrepreneurs.

On a parlé de la possibilité d'utiliser l'argile soufflée pour diminuer le poids de la charpente et, partant, les dimensions des murs porteurs, poteaux et semelles. Les agrégats légers sont largement employés dans diverses régions des Etats-Unis, alors qu'ils le sont un peu moins dans les régions où l'on dispose d'une bonne pierre naturelle et beaucoup moins dans la plupart des autres pays.

2^e partie

L'objet de la seconde partie du présent rapport est d'étudier ce que les auteurs considèrent représenter les trois problèmes les plus importants et, ce faisant, de susciter des discussions et de fournir éventuellement une base à de futures recherches.

1. L'effet des charges dues au vent sur les charpentes des constructions de grande hauteur.

2. L'effet du retrait, de la température et du fluage sur les charpentes des constructions de grande hauteur.

3. L'étude et le comportement des systèmes de plancher de longue portée dans les charpentes des constructions de grande hauteur, eu égard, particulièrement, aux déformations et aux vibrations.

Chacun de ces problèmes principaux peut être subdivisé en plusieurs problèmes spécifiques qui n'ont été que peu ou pas étudiés jusqu'à présent ou dont les méthodes de traitement actuellement reçues se trouvent probablement invalidées par les modifications qui affectent la nature des constructions de grande hauteur. Il vaut la peine de faire quelques brefs commentaires sur ces modifications. Le premier changement que nous tenons à souligner est tout d'abord d'ordre architectural et concerne le remplacement des cloisons et murs rideaux lourds et rigides par des systèmes légers qui ne confèrent que peu ou pas du tout de rigidité supplémentaire à l'ouvrage. Dans les constructions modernes de grande hauteur, c'est à la charpente et à elle seule qu'il incombe de résister aux efforts horizontaux, et il lui faut non seulement présenter une sécurité structurale à la ruine et aux ruptures pouvant mettre des vies en danger mais aussi, lors de ses mouvements, se comporter de façon que les occupants n'éprouvent aucune gêne et qu'il n'en résulte aucun dommage pour les cloisons, les parois en verre et les murs légers, etc.

La tendance à prévoir de grandes surfaces sans poteaux a conduit à l'adoption de portées et de travées plus grandes dans les immeubles de grande hauteur. Il convient donc de prêter plus d'attention aux calculs par lesquels assurer, dans ces bâtiments modernes, le bon comportement de ces longues portées.

Les nouveaux types de murs extérieurs et la conception architecturale de nombre d'immeubles de grande hauteur, singulièrement ceux en béton, sont tels que la charpente de base se trouve maintenant partiellement ou totalement exposée aux agents météorologiques. Ces parties de la charpente sont soumises à d'incessantes variations quotidiennes et saisonnières de température alors que, dans le même temps, d'autres parties connexes se trouvent maintenues à une température sensiblement constante. Il est donc évident que, pour ces types modernes d'immeubles de grande hauteur, les constructeurs doivent étudier de très près les contraintes et déformations dues aux effets de la température, ce souci, au-delà de celui d'assurer la sécurité à la ruine ou aux ruptures susceptibles de provoquer des accidents personnels, concernant aussi les performances de comportement.

Les problèmes-types que nous allons aborder ne ressortissent pas du tout à des éventualités théoriques ou à d'improbables difficultés, ils se rapportent à des situations bien réelles dont les auteurs du présent rapport ainsi que d'autres ingénieurs ont eu à connaître dans la pratique. Dans les situations que nous évoquons, il fallut apporter des modifications à des constructions terminées alors que des améliorations auraient été possibles au stade de l'étude. L'analyse de chaque problème a fait ressortir que les éléments d'information, la documentation et l'expérience disponibles étaient tout à fait impropres à permettre l'obtention d'une solution rigoureuse pour ces problèmes.

Le premier de ces problèmes, «Les effets des charges dues au vent sur les charpentes des immeubles de grande hauteur», couvre des questions très variées qui vont de la détermination, conforme à la réalité, des vitesses du vent affectant, pendant toute sa durée de service, une construction située en un lieu donné, jusqu'à celle des effets physiologiques et psychologiques qu'exercent les mouvements de la construction sur ses occupants. Les problèmes spécifiques afférents à cette rubrique peuvent s'énumérer comme suit :

1. Etudes météorologiques en vue de déterminer les vitesses du vent au sol et à des hauteurs de peut-être 600 mètres au-dessus des agglomérations urbaines et des environs.

2. Analyse des informations météorologiques existantes rassemblées au cours des années passées partout où elles sont disponibles.

3. Instrumentation et collecte d'une documentation météorologique intéressante, sur une période de durée raisonnable, les constructions de grande hauteur existantes, et appareils permettant de déterminer la distribution des pressions et les réactions aérodynamiques des constructions, les déplacements, les périodes de vibration, etc.

4. Etude aérodynamique, sur modèle, d'une construction existante avec les bâtiments qui l'entourent et la configuration réelle du sol avoisinant, pour comparaison avec les résultats réels des analyses visées au point 3 ci-dessus.

5. Elaboration de méthodes d'analyse dynamique en vue de pré-déterminer les déplacements des bâtiments sollicités par des vents conformes à la réalité et non plus soumis aux pressions statiques conventionnellement admises.

6. Etude des effets psychologiques et physiologiques des déplacements auxquels sont soumis les bâtiments réels tels que déterminés dans les conditions du point 3.

7. Etude des réactions aérodynamiques des constructions en béton possédant différents types de charpentes, et comparaison avec des types de charpentes métalliques.

8. Etude de la réaction aérodynamique d'un bâtiment réel et de ses effets sur la génération de bruit et l'apparition de fissures dans les cloisons et les planchers.

9. Méthodes de calcul de cloisons et de murs rideaux se comportant de manière satisfaisante sous l'effet de la réaction aérodynamique de la charpente.

10. Sous les pressions du vent, il peut arriver que des renversements d'effort se produisent dans certains éléments de la charpente d'une construction de grande hauteur. Il semble opportun d'entreprendre des recherches en vue de pouvoir pré-déterminer de façon précise le nombre de ces alternances, et leur intensité, durant la vie d'une construction. Il serait alors possible d'étudier avec plus de profit le problème de la fatigue dans les poutres métalliques et les armatures. Ces recherches devraient comprendre l'étude de la pré-détermination des surcharges réelles, étant donné que ce sera la combinaison des surcharges réelles et des poussées réelles du vent s'exerçant sur la construction qui constituera le facteur déterminant pour calculer le nombre et l'intensité des alternances d'effort à prévoir. Les effets de fatigue dus aux vibrations provoquées aussi bien par le vent que par d'autres forces méritent aussi d'être considérés.

De nombreux problèmes spécifiques entrent dans notre seconde catégorie d'études «L'effet de la température, du retrait et du fluage sur les charpentes des constructions de grande hauteur», ainsi qu'ils sont énumérés ci-dessous:

1. Elaboration de méthodes en vue du calcul des gradients thermiques dans les éléments d'une charpente partiellement ou totalement exposée aux variations de température.

2. Recherches, y compris l'étude des appareils mis en œuvre, sur des constructions existantes en vue de vérifier la validité des méthodes de calcul développées conformément au point 1 ci-dessus.

3. Elaboration de méthodes permettant de calculer de manière précise les contraintes et déformations résultant des effets du retrait, des variations de température et du fluage.

4. Recherches, y compris l'étude des appareils mis en œuvre, sur des constructions existantes en vue de vérifier la validité des méthodes de calcul développées conformément au point 3 ci-dessus.

5. Etude et développement de systèmes de murs rideaux et de cloisons se comportant de manière satisfaisante dans des constructions présentant des déformations et des mouvements causés par le retrait, la température et le fluage.

6. Développement d'éléments de charpentes propres à assurer un bon com-

portement dans les conditions où certaines parties sont totalement ou partiellement exposées à des variations de température.

Notre troisième catégorie de problèmes, «L'étude et le comportement des systèmes de plancher de longue portée dans les bâtiments de grande hauteur», permet de distinguer les problèmes spécifiques suivants:

1. Recherches à exécuter sur des constructions existantes pourvues de planchers de longue portée, en vue de déterminer:

- a) Les effets des flèches sur les enduits des cloisons et des planchers.
- b) Les effets psychologiques et physiologiques des mouvements et des vibrations des planchers provoqués par les occupants, les appareils mécaniques et les poussées du vent.
- c) Effets d'humidification des éléments annexes tels que cloisons, ameublement, allèges, etc.

2. Analyse des informations recueillies conformément au point 1 et établissement d'une théorie et de méthodes propres à permettre de prévoir les problèmes de mouvements qui peuvent se poser et de les résoudre.

3. Définition de critères donnant les caractéristiques de bons systèmes de plancher, non seulement en vue d'assurer la sécurité à la ruine ou aux ruptures susceptibles de provoquer des accidents personnels mais aussi pour garantir un comportement excluant tout déplacement ou mouvement entraînant des inconvénients.

4. Appel à l'ingéniosité et à l'esprit d'invention en vue de développer de nouveaux systèmes de plancher spécifiquement appropriés aux constructions de grande hauteur.

Notre avis est que si nombre de constructions anciennes de grande hauteur et certaines des modernes ont un comportement satisfaisant, ce n'est pas dû à la précision des hypothèses de calcul ni des méthodes appliquées mais résulte, bien plus, de ce que l'on a admis des conditions de charges statiques horizontales et verticales exagérément prudentes et de ce que les charpentes se trouvent raidies, à une valeur atteignant 200% à 300%, par les cloisons et les murs. En bref, l'habitude, fort heureuse, était d'introduire du côté conservatif une erreur suffisamment importante pour contrebalancer les effets de la méconnaissance des problèmes de calcul réels et de l'impropriété de leur traitement. Il est évident que cette façon de procéder a donné des résultats avec les types de constructions qui étaient conçus, mais nous devons renoncer à ces méthodes dans l'établissement des projets, nouveaux et différents, que nous sommes aujourd'hui et serons demain appelés à réaliser. Il faut faire progresser l'art de la construction. Les problèmes doivent être clairement définis, il faut rassembler et analyser les données fournies par les appareils de mesure et l'observation des constructions modernes existantes, et il faut établir une nouvelle théorie et formuler de nouvelles méthodes de calcul. Il est nécessaire de revoir en permanence les codes pour les adapter aux acquisitions de l'expérience et au progrès des connaissances.