

La recherche et l'enseignement à l'ICOM

Autor(en): **Badoux, Jean-Claude**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **115 (1989)**

Heft 20

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76987>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

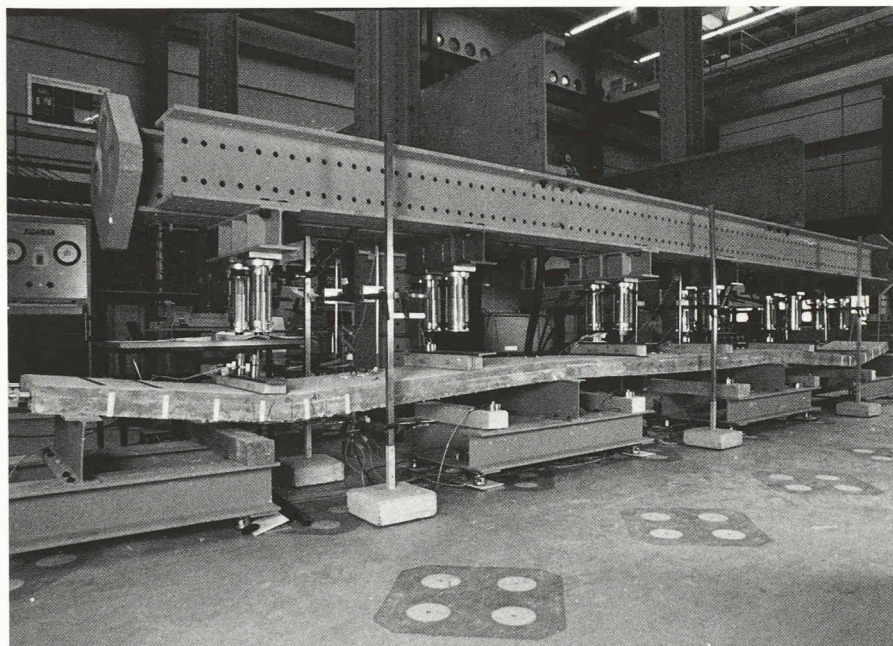
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

La recherche et l'enseignement à l'ICOM



L'ICOM a une double vocation de formation et d'information. La complémentarité est forte entre ces deux activités. La recherche, fondamentale ou appliquée, et le développement sont

PAR JEAN-CLAUDE BADOUX,
LAUSANNE

les soubassements essentiels de tout enseignement actualisé, qu'il soit de premier, de deuxième ou de troisième cycle ou même de recyclage. La recherche elle-même, telle qu'elle est pratiquée extensivement à l'ICOM, a deux visées essentielles :

- obtenir des connaissances qui deviendront objet d'information pour le monde scientifique, pour les responsables de la réglementation et pour les praticiens les plus qualifiés ;
- former de jeunes ingénieurs et leur donner ainsi la possibilité d'une compréhension très profonde et intime du comportement des constructions métalliques ou mixtes.

Cette volonté de former et d'informer est bien inscrite dans la vocation propre de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, dont l'ICOM est partie intégrante. Elle est d'autant plus possible et efficace que l'ICOM dispose d'une équipe très soudée, formée d'une dizaine de permanents et d'une petite vingtaine de non-permanents. Voyons d'abord ce que l'ICOM a pu apporter, très directement, à la pratique suisse du génie civil : des ingénieurs et des connaissances ; de la formation et de l'information.

D'abord et avant tout, l'ICOM a pu envoyer dans la pratique de jeunes ingénieurs formés à la dure école de la construction métallique et à ses exigences. Beaucoup d'étudiants ont appris, dans les cours de construction métallique offerts chaque semestre, du 4^e au 8^e, une méthode rationnelle de travail ; ils ont acquis des connaissances en structures, ont vu la réalité physique des constructions au travers de modèles concrets. A suivre ces cours, beaucoup d'étudiants ont compris que la conception d'un pont ou d'un bâtiment était prioritaire par rapport au dimensionnement et que la construction devait les préoccuper bien plus que le calcul.

A part ces cours, tous les ingénieurs civils diplômés à Lausanne ont eu plusieurs exercices et projets en construction métallique. Une très grande importance a été donnée à l'étude de projets tirés de la pratique. Chaque fois, les exigences de conception et de construction ont été mises en évidence. Les étudiants, depuis vingt-deux ans, ont toujours travaillé dans des groupes d'une demi-douzaine. Les assistants de construction qui ont animé ces groupes, un semestre durant, sont venus de la pratique une demi-journée par semaine. Qu'ils en soient ici remerciés, tout comme les entreprises de construction métallique, les bureaux techniques et les administrations qui leur ont permis de transmettre à nos étudiants un peu de leur expérience et de leurs réflexions. Selon les années, il y a eu entre trois et

dix-huit « diplômants » en construction métallique. Pendant deux mois, chaque étudiant travaille à plein temps sur un seul projet concret de construction métallique ou mixte. L'accent principal y est mis sur la conception d'un ouvrage réel, ouvrage bien différent de celui de chacun de ses camarades. Il arrive que ces projets soient ensuite utilisés par des maîtres d'ouvrage et servent d'avant-projets pour des réalisations. Cette période de « diplôme pratique » a toujours été une excellente possibilité de formation dans une vision synthétique et globale du projet.

Nul doute que la pratique a bénéficié du fait que, pendant ces deux mois, l'église a été mise au milieu du village, en d'autres termes que ces jeunes ingénieurs ont pu concevoir et construire, et non plus seulement analyser et calculer. Même l'enseignement en CAD (computer-aided design) que nous leur offrons est une aide à la conception.

L'envoi dans la pratique de « diplômants » intéressés et confiants dans leur capacité de projeter une construction métallique est sans nul doute utile à l'entier de la profession et pas seulement aux entreprises de construction métallique.

L'ICOM offre aux praticiens intéressés, en particulier aux plus jeunes, de multiples manières de s'informer, de se recycler, de s'instruire. Souvent, ces occasions deviennent des lieux d'échange entre responsables techniques des entreprises, des bureaux et des administrations. Il s'agit d'abord de conférences et de présentations variées et diverses qui, malheureusement, n'ont pas toujours l'audience qu'elles méritent. Ensuite, ce sont de nombreux articles scientifiques, techniques et de vulgarisation qui sont publiés : plus de deux cents en vingt-deux ans. Une importante bibliothèque spécialisée est aussi utilisée par des praticiens. Le véhicule le plus fréquent du transfert des connaissances reste, pour les gens de la pratique, la participation, à Lausanne ou ailleurs, à une journée d'étude ou à un cours, avec la plupart du temps des exercices qui seront corrigés ou notés. L'ICOM a organisé, ou pour le moins coorganisé, de très nombreux cours de recyclage dès 1968. Le premier fut consacré, six soirées durant, au dimensionnement plastique des charpentes métalliques ; en 1969, ce fut un cours sur la stabilité des constructions ; les photocopies en furent vendus à plus de mille exemplaires dans l'ensemble du monde francophone. Ces deux mêmes cours furent ensuite répétés à Lugano. Après une longue série, vingt ans durant, les derniers cours auxquels l'ICOM a contribué datent de l'été 1989 et concernent l'introduction de nouvelles normes SIA.

De tels cours et de telles journées, répétés fréquemment, exigent un très grand engagement de la part de l'ICOM. Ils mobilisent une part très importante des ressources et des énergies. Il apparaît pourtant que le jeu en vaut la chandelle et que, ce faisant, la compétitivité des bureaux techniques, de la construction métallique et de l'économie générale en est améliorée. En Europe aussi, le besoin existe de cours de troisième cycle très « pointus », offerts à des praticiens qui interrompent pour une année leur activité professionnelle. L'ICOM a proposé à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne d'offrir tous les trois ans un cours de troisième cycle en construction métallique. Pour avoir un nombre suffisant de participants de qualité, un tel cours devrait être donné en anglais et en français. Ce serait indubitablement mieux concrétiser notre volonté d'être, sur le plan européen, un centre d'excellence en construction métallique et mixte. Les ingénieurs suisses les plus motivés et les plus doués pourraient ainsi largement bénéficier de ce qu'un des centres européens de post-formation en construction métallique soit situé en Suisse. Ils pourraient, eux, par exemple suivre une partie des cours seulement, à temps partiel. Cette proposition doit encore obtenir l'appui du Département de génie civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

Mais notre responsabilité d'enseignement dépasse les cours et les projets. A ce niveau, l'apport le plus marqué en faveur de notre profession, le transfert de connaissances le plus efficace de l'Université vers la pratique, l'ICOM les a effectués par la formation interne de collaborateurs, à plein temps pendant deux ans au moins dans l'Institut. La plupart des assistants ou ingénieurs ont en effet quitté ensuite l'ICOM pour prendre des postes d'ingénieur dans la pratique. Ils ont emporté avec eux une manière de voir, une philosophie, une meilleure compréhension de la réalité physique, un surcroît de connaissances, utiles leur carrière durant.

Parmi ces ingénieurs se trouvent tout particulièrement les « doctorants ». Au-delà des résultats scientifiques qu'ils obtiennent au terme de leur recherche, les « doctorants » reçoivent eux aussi une formation très poussée et très utile à l'entier de la profession. De nombreux docteurs ès sciences techniques issus de l'ICOM assurent, par leur emploi dans des bureaux techniques, entreprises ou administrations, un important transfert de connaissances.

L'activité des « doctorants » relève essentiellement de la recherche en construction métallique. Les changements ont été nombreux et de tous

ordres ces vingt dernières années dans la réalité quotidienne de la construction métallique suisse ou européenne. De fait, cette évolution a impliqué de très nombreuses recherches ayant abouti à des résultats concrets. La recherche scientifique est essentielle et fondamentale pour l'Ecole polytechnique; elle l'est pour l'ingénierie en général; elle l'est pour le génie civil; elle l'est pour la construction métallique bien évidemment. Elle crée et développe de nouvelles connaissances, de nouvelles méthodes, de nouveaux procédés et, d'autre part, elle forme de jeunes ingénieurs de qualité à une vision physique plutôt que mathématique du comportement des matériaux et surtout des structures.

Depuis 1967, et en particulier depuis la création de l'ICOM en 1969 par le Conseil fédéral, notre recherche a été volontairement et systématiquement confinée dans quatre domaines, soit :

- la stabilité des cadres tridimensionnels
- la construction mixte acier-béton
- la fatigue des structures soudées lourdes
- les charges, la sécurité et la fiabilité des structures.

C'est afin d'obtenir un impact, une résonance internationale, tout comme un approfondissement des sujets que ces quatre domaines, très partiels, ont été retenus pour l'entier de l'effort de recherche de l'ICOM.

Prenons quelques exemples de résultats de recherches transférés dans la pratique.

- Bien mieux qu'en 1969, tout ingénieur sait maintenant dimensionner plastiquement: cela permet d'employer des sections hybrides ou asymétriques, de choisir plus souvent des systèmes hyperstatiques, d'éviter certains changements de section sur un même élément.
- Tout autrement qu'il y a vingt ans, les ingénieurs savent maintenant que le voilement d'une tôle n'implique pas la ruine de l'ensemble et qu'on peut prendre en compte la résistance postcritique d'une âme.
- Depuis 1969, les constructions mixtes sont plus connues, on sait mieux superposer les résistances des différents matériaux ou distribuer les goujons tout autrement. De nouveaux connecteurs cloués, de nouveaux profils de tôles minces, les boulons HR, les rivets Hucks, d'autres procédés de soudure sont apparus.
- La recherche en fatigue a modifié l'allure des ponts, surtout des ponts-rails, l'emploi des différents procédés d'assemblage, les dimensions des soudures, la forme des attaches et des goussets, la présence plus ou moins fréquente de raidisseurs, etc.
- L'emploi généralisé de tôles minces

comme contreventement ou comme coffrage perdu a lui aussi été rendu possible par nos recherches ou d'autres recherches parallèles.

Il est certain, à mon sens, que les recherches menées à terme à l'ICOM depuis plus de vingt-deux ans ont eu une incidence sur :

- le contenu de normes suisses, européennes et internationales
- la conception d'ouvrages métalliques et mixtes réalisés
- le dimensionnement de ces mêmes structures
- la construction, les procédés de construction et de montage des ponts et bâtiments en acier ou mixtes acier-béton
- la durée de vie et la sécurité de nombreux bâtiments et ouvrages d'art
- la maintenance du patrimoine immobilier.

Une recherche utile et efficace à long terme doit d'abord être reçue, commentée et acceptée par les chercheurs d'un même domaine dans le monde entier. Elle doit ensuite être largement prise en compte par ceux qui préparent et établissent les normes techniques. Enfin, par de multiples publications et conférences, elle doit être disponible pour les plus créatifs, les plus innovateurs parmi les ingénieurs praticiens. Les résultats de la recherche doivent sous-tendre tout l'enseignement dispensé dans une Ecole polytechnique aux étudiants des premier, deuxième et surtout troisième cycles. Ils doivent être utiles à ceux qui préparent des cours de recyclage.

Dans le domaine des structures, la recherche doit s'appuyer simultanément sur trois bases :

- la réflexion théorique
- la simulation à l'ordinateur
- les essais en laboratoire, si possible en vraie grandeur.

Les nouvelles théories, les modèles de comportement doivent être imaginés et formulés de manière abstraite. Ils sont ensuite élaborés et concrétisés selon des modèles mathématiques utilisés en informatique. Ils doivent ensuite être contrôlés et précisés par les essais sur de grandes éprouvettes. L'utilisation des résultats d'essais permet de reformuler les hypothèses et les théories et de modifier les modèles ou les outils informatiques.

Dans la recherche effectuée à l'ICOM depuis plus de vingt ans, les contacts internationaux, en particulier avec les pays anglo-saxons, la France et l'Allemagne, ont été vitaux et d'une extrême importance dans la maturation de tous les projets de recherche. Il ne suffit pas d'avoir un excellent laboratoire, ou même une équipe de premier plan, encore faut-il que ceux qui sont les moteurs de l'innovation dans cette équipe soient en discussions, en dialogues et en contacts quasi constants

avec les chercheurs et les groupes de recherche à la pointe de leur spécialité à l'étranger. La présence systématiquement voulue de Suisses romands, de Suisses alémaniques et d'étrangers d'origines diverses dans chacune de nos équipes de recherche a largement contribué à la créativité de ces mêmes équipes. La présence occasionnelle d'un Tessinois n'a fait qu'amplifier cette synergie essentielle. En effet, l'approfondissement de mêmes problèmes ardu par des coéquipiers d'origine, de formation et de sensibilité très diverses a toujours contribué à susciter des résultats concrets aux questions de la recherche.

La gestion d'une équipe de recherche exige beaucoup de liberté et de discipline pour chacun des chercheurs. La direction du personnel doit être fondamentalement différente de celle qu'on peut et doit rencontrer dans une usine, sur un chantier et même dans un bureau technique. La recherche a absolument besoin de la grande motivation de chercheurs très compétents techniquement, très créatifs. Il est bon de souligner que les résultats les meilleurs seront ceux obtenus par des chercheurs encore jeunes, dont la situation matérielle et les conditions de travail seront très bonnes ou excellentes. En conclusion, depuis plus de vingt

ans, l'ICOM veut assumer une responsabilité de recherche et d'enseignement, de formation et d'information. Grâce aux moyens obtenus de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne et d'ailleurs, il a été possible de mener ces activités dans un esprit de service et avec le sentiment du devoir accompli.

Adresse de l'auteur :

Jean-Claude Badoux, professeur
Ecole polytechnique fédérale
de Lausanne
ICOM - Construction métallique
GC - Ecublens
1015 Lausanne

Des colonnes résolument modernes : les colonnes mixtes

1. Le domaine des colonnes mixtes

De nos jours, aucun ouvrage de génie civil n'est réalisé sans que le concepteur recoure aux matériaux acier et béton. Le choix du matériau dépend fortement de critères esthétiques, mais aussi des coûts liés à la nature et au type de la construction. L'acier et le

PAR ANDREAS MEILI,
GUY MAYOR
ET JAN WIUM,
LAUSANNE

béton possédant chacun ses avantages spécifiques, on peut choisir le matériau le plus approprié à l'ouvrage.

Le domaine du béton armé est considéré comme une discipline à part entière mais, par définition, il fait partie du domaine de la construction mixte, car les éléments en béton armé sont également tributaires de la liaison qui existe entre l'acier des barres d'armature et le béton. Le domaine du béton armé a cependant fait l'objet de recherches depuis plus longtemps que celui de la construction mixte, c'est pourquoi tous les détails de construction (distance minimale entre les barres, enrobage de l'armature, relief de la surface des barres) garantissent un comportement satisfaisant du béton armé, fondé sur le monolithisme des sections. La définition d'une colonne mixte, en revanche, ne répond pas actuellement à ce même critère, elle repose sur la contribution plus ou moins importante de l'acier à la force nécessaire pour provoquer l'écrasement de la colonne. On pourrait tout aussi bien définir un élément mixte

selon le même principe admis pour le béton armé - ne pas tolérer de rupture à l'interface des deux matériaux - mais satisfaire un tel principe nécessiterait des moyens de connexion entre acier et béton suffisants pour résister aux efforts de cisaillement jusqu'à la charge de ruine. La recherche dans le domaine des colonnes mixtes a pour but de résoudre ce problème de la liaison acier - béton.

Les premières réalisations utilisant des éléments «mixtes» remontent à la fin du XIX^e siècle, l'acier constituant l'entier de la structure porteuse et le béton étant utilisé comme matériau de remplissage. Ce principe de construction était analogue à celui des maisons à colombages, avec poutres en bois constituant la charpente, façades et cloisons en torchis et planchers en hourdis. Les premières colonnes mixtes furent construites en Angleterre vers 1900 [1]¹. Il s'agissait de profils ouverts enrobés de béton afin de protéger l'acier en cas d'incendie, le béton n'étant pas considéré dans le calcul de la colonne. Cette façon de construire était très conservatrice et peu économique, car le béton autour du profilé augmentait la résistance de la colonne, mais aucune méthode de calcul ne tenait compte de cet apport positif. Il fallut une première série d'essais sur ce type de colonne et la comparaison des résultats avec des essais de colonnes en acier pour que soient développées les premières méthodes de calcul. Celles-ci étaient fondées sur le comportement élastique-linéaire des matériaux, sans tenir compte d'une plastification des fibres les plus sollicitées. Les études les

plus récentes incluent le comportement non linéaire et la plastification des matériaux.

Il existe plusieurs méthodes de calcul différentes qui sont reprises dans les normes des pays de leurs auteurs [2] [3] [4]. La plupart de ces méthodes sont empiriques et soumises à certaines limites restrictives (élancement, excentricité, type de section), et elles ne conviennent en général pas à un calcul manuel rapide, mais elles permettent de calculer tous les types de sections conventionnelles. Au Japon, la méthode de calcul [5] est fondée sur la superposition des charges que supportent l'acier et le béton armé; seule cette méthode permet de dimensionner des sections asymétriques. En Suisse, la norme SIA 161 (1979) [2] (article 3 134) ne fournit pas d'indications explicites pour dimensionner une colonne soumise à un effort normal et à un moment de flexion. Il est donc nécessaire de combler ce vide soit par l'emploi d'une méthode existante, par exemple l'une des deux méthodes que propose le projet d'Eurocode 4 [3], soit par une nouvelle méthode.

2. Pourquoi opter pour des sections mixtes

Le développement des sections mixtes connaît deux cheminements différents: d'une part l'amélioration de la résistance d'une section en béton armé et d'autre part la protection d'une section en acier contre le feu.

D'un côté, donc, on retrouve les colonnes en béton armé qui sont fabriquées avec le taux d'armature le plus grand possible (fig. 1 a, b). Les limites théoriques maximales de ce taux d'armature sont fixées par l'enrobage des barres d'armature, la bonne mise en place du béton et la garantie de la transmission des efforts de cisaillement entre les barres d'armature et le béton. La stabilité locale doit être garantie par un fret-

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.