Quelques réflexions sur la formation des ingénieurs civils et sur les traveaux effectués par les bureaux techniques suisses

Autor(en): **Cosandey, Maurice**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **109 (1983)**

Heft 3

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74918

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

René Walther, Alfred Rösli et Manfred Hirt, tous professeurs dans une de nos deux Ecoles polytechniques fédérales.
Lors d'une réunion tenue en 1982 à Lausanne, à l'occasion d'un colloque international sur la fatigue des structures, ce sont vingt-cinq anciens de Lehigh qui ont pu rappeler à Bruno Thürlimann ce qu'avait signifié, pour eux-mêmes comme pour la Suisse et l'Europe, sa décision de partir en pionnier aux Etats-Unis en 1948.
L'appel de la Suisse au professeur Thürlimann de reprendre en 1960 la chaire de béton armé et de béton précontraint de l'EPFZ consacre un choix excellent. Il fait honneur aussi bien au professeur qu'à l'institution.
Mais il n'est certainement pas facile, pour une famille, de quitter les Etats-Unis après douze ans pour revenir dans le Vieux-Monde. Outre-Atlantique, les racines poussent si vite et si bien, surtout pour un Suisse. Et puis il y avait cette incontestable réussite en tant que chercheur, en tant qu'ingénieur, et en tant qu'enseignant. Il y avait le poids de cette chance accordée au jeune ingénieur suisse, qu'il avait si bien su saisir et mettre à profit. Pourtant, l'appel du pays résonne parfois plus fort... Ce fut le *oui* au Poly, à la Suisse.
Cette nouvelle étape fut pour notre pays et pour nous, ingénieurs civils, une chance et pour Bruno Thürlimann les débuts d'une toute nouvelle carrière, des plus fécondes, elle aussi. Très rapidement il a été possible, en particulier par de multiples cours, de troisième cycle aussi, de faire souffler un autre vent et d'apporter de nouvelles idées quant au dimensionnement de toutes les structures comme dans la recherche et dans l'enseignement. Fort du succès d'une concomparable expérience à l'étranger et grâce à une intelligence exceptionnelle des hommes et des choses, avec une exigence constante de niveau et de qualité, Bruno Thürlimann a pu exercer immédiatement un très grand rayonnement. Petit à petit, l'esprit de la recherche s'est modifié, les normes ont connu une mutation, la pratique du dimensionnement a évolué; toutefois, l'apport essentiel a problablement été constitué par l'encouragement prodigué à tant de jeunes ingénieurs, par l'influence bénéfique sur leur carrière professionnelle, par l'offre faite aux meilleurs d'entre eux de pratiquer la recherche scientifique pendant quelques années en Suisse ou aux Etats-Unis. Combien de thèses de doctorat entreprises dans le domaine des structures grâce à la vision optimiste du professeur Thürlimann! Il est un «grand patron», dans le sens où le comprennent les jeunes médecins: un chef, un inspirateur, un soutien continu et persévérant. Peut-on ajouter que, mieux que la plupart des «grands patrons», Bruno Thürlimann frappe ses collègues et ses élèves par sa profonde gentillesse, sa bonté pénétrante et un sens de l'humain qui ne peut venir que d'une vie spirituelle accomplie.
La Suisse a bénéficié du retour de ce pionnier de si diverses façons qu'aucun ingénieur constructeur ne saurait en douter. Il convient de signaler sa grande disponibilité pour ses collègues comme pour toute sa profession. Non seulement il a influencé toutes les normes de construction SIA comme la 161 et la 162, mais il a encore participé, en tant que responsable principal, à l'élaboration de la directive 34. Le simple fait d'avoir exercé une influence prépondérante sur la mutation des normes de construction — aussi bien en béton qu'en acier — est remarquable en soi-même. Avec une grande modestie, Bruno Thürlimann s'est mis au service de la SIA pour siéger activemment dans plusieurs comités, comme celui du Groupe professionnel des ponts et charpentes (GPC). Quand il s'est agi pour le département de Génie civil de l'EPFZ de se battre pour faire comprendre à beaucoup de milieux — dont le Conseil fédéral — quel était pour le pays l'enjeu d'une recherche et d'un enseignement de haut niveau, c'est en premier lieu au professeur Thürlimann que l'on a fait appel, non sans succès. Ayant également accepté la lourde tâche de présider l'Association internationale des ponts et charpentes (AIPC), il remplit son mandat avec, une fois de plus, beaucoup d'imagination, d'idées neuves et avec une admirable capacité de faire donner le meilleur d'eux-mêmes à beaucoup de ses collaborateurs. Cette activité internationale a fait de lui un ambassadeur écouté de l'ingénierie suisse.
Pour nous Romands, il est bon de souligner que le rayonnement personnel, l'activité continuelle en faveur d'une recherche appliquée et d'un enseignement des structures de très haut niveau n'ont pas porté ombrage aux hommes ou aux institutions d'ici. Au contraire, Bruno Thürlimann a une conscience très profonde des particularités des Romands et de la Suisse romande; il est attentif à tout ce qui se fait chez nous, sur les chantiers comme dans les laboratoires. Il a été, et c'est naturel, l'un des initiateurs des rencontres régulières entre tous les professeurs de structures de Suisse. Et si l'on trouve deux fois le nom de Thürlimann dans la liste des étudiants de l'EPFL, c'est à lui et à Madame Susi Thürlimann qu'on le doit... Qu'ils soient tous deux remerciés ici du profond respect qu'ils nous ont témoigné et qu'ils ont manifestement transmis à deux de leurs enfants. Je crois que dans notre pays, il est bon que de tels ponts soient aussi lancés et bien entretenus...

Adresse de l'auteur:
Jean-Claude Badoux,
professeur ICOM —
Construction métallique EPFL
1015 Lausanne

Quelques réflexions sur la formation des ingénieurs civils et sur les travaux effectués par les bureaux techniques suisses

par Maurice Cosandey, Lausanne

1. De l'intérêt de l'histoire des techniques

Il existe au moins une lacune dans la formation au sein de nos Ecoles polytechniques: celle de l'histoire des techniques. Si chaque professeur détient tout ou partie de l'histoire de sa discipline, il subsiste d'une part la faiblesse de la vision interdisciplinaire et d'autre part les lacunes dans la transmission du savoir. En effet, notre société européenne actuelle est beaucoup plus attachée à la satisfaction d'un accroissement matériel (revenu individuel) qu'à la préparation de l'avenir (dût-il en résulter quelques sacrifices momentanés). Il est vrai que l'accroissement considérable des connaissances rend toujours plus difficile une formation à la fois de culture technique étendue et d'approfondissement disciplinaire. Mais précisément, comme il n'est pas possible de tout enseigner pendant la période de formation de quatre ans, il serait avantageux de discuter quelques leçons de l'histoire. Il s'agit moins ici de tenir compte d'expériences de cas concrets que de s'imprégner de réflexions faites par nos prédécesseurs.
Pour être plus explicite, prenons un exemple: plusieurs accidents se sont produits au moment où la dimension des chantiers du génie civil a obligé de sortir des chemins battus en ce qui concerne les installations. Les silos à gravier ou à ciment, notamment, ont changé d'échelle par rapport à ce qui avait été fait précédemment. On a mal-

heureusement parfois passé du connu à l'inconnu par une simple extrapolation et cela a conduit à la catastrophe. Or, l'intuition étayée par l'histoire aurait pu l'éviter. Vilma Fritsch n'écrit-elle pas dans « Galilée ou l'avenir de la science » (Seghers 1971) ce qui suit: « Dans le *Dialogo*, Galilée avait, en quelque sorte, comparé la Terre au Ciel, mais il était loin des conceptions médiévales, de l'idée du monde construit sur le modèle humain. La Terre n'est pas, pour lui, un microcosme que reflète le macrocosme; il se méfie des analogies. Le « petit » ne peut être comme le « grand »... Un premier regard sur les problèmes de la résistance des matériaux lui apprend ainsi que « en matière de machines... il ne faut pas inférer du petit au grand ». Pour que les grandes lois, qui ont leur fondement dans la géométrie, restent partout les mêmes, il faut précisément que certaines grandeurs ne le soient pas: la résistance des constructions varie avec leur taille. »

Cet exemple ne suffit évidemment pas pour une généralisation. Mais par une recherche systématique, il serait possible de trouver de nombreux autres cas qui montreraient d'une manière plus probante l'intérêt de relier le futur au passé en incorporant le présent.

Restant encore un moment sur le passé, il est intéressant de remarquer que les nouvelles technologies ayant déclenché au XVIII^{e} siècle la révolution industrielle ont été le fait de créateurs engagés dans la pratique. « Les inventeurs des premières machines de manufacture pour l'industrie textile, des premières machines à vapeur, des tours et des autres machines étaient des forgerons, des artisans, des tisserands, des ouvriers de diverses spécialisations » (UNESCO, Histoire de l'humanité, vol. V, page 368). Ce fut aussi le cas pour le génie civil, lié dès l'Antiquité aux problèmes de fortifications, de travaux hydrauliques et d'adduction d'eau. Mais avec l'accroissement de la population et de la difficulté des problèmes à résoudre, il devient de plus en plus difficile d'agir en autodidacte. Aussi dès le XIX^{e} siècle et surtout dans sa deuxième moitié, les grands progrès techniques sont dus aux travaux des ingénieurs formés dans les Ecoles techniques. Dans la création de ces Ecoles, la France a joué pour l'Europe un rôle de pionnier puisqu'en 1675 fut créé le corps des ingénieurs militaires, en 1720 le corps des ingénieurs des ponts et chaussées et en 1745 l'Ecole des ponts et chaussées. La création de l'Ecole polytechnique de Paris n'intervint qu'en automne 1794.

Ce qui montre bien le parallélisme du développement du génie civil et l'art de l'ingénieur en général (malgré le fait que l'Ecole polytechnique de Paris ait un statut militaire et qu'elle s'attache essentiellement aux disciplines de base de l'ingénieur: mathématiques, physique, chimie et sciences appliquées fondamentales). Cette tendance de s'éloigner de la pratique pour faire appel aux sciences s'est poursuivie jusqu'à nos jours, au point qu'il faut sérieusement s'interroger si nos Ecoles polytechniques ne forment pas trop de savants au détriment des ingénieurs créateurs de technologies et d'entreprises. A cet égard, le génie civil est resté très équilibré et l'ingénieur qui a suivi toute la formation peut véritablement jouer rapidement son rôle.

On peut naturellement regretter le temps où il était possible de conjuguer tous les efforts vers un but unique à partir d'une idée originale, comme ce fut le cas lors de la construction du Palais de Cristal devant abriter, en 1851, la Grande exposition universelle de Londres. 233 idées avaient été soumises par des architectes et ingénieurs pour la réalisation des bâtiments de l'exposition. Ce fut un ancien jardinier Joseph Paxton, devenu, il est vrai, une notabilité, qui soumit une idée de génie dont il assuma la maturité en neuf jours. 90 000 m^2 d'exposition furent réalisés en quatre mois grâce à une normalisation et une préfabrication qui annonçaient les constructions les plus hardies du XX^{e} siècle.

2. L'évolution du génie civil et le diplôme d'ingénieur civil EPF

Aujourd'hui, la population du globe a passé d'un peu plus d'un milliard au milieu du siècle passé à plus de quatre milliards. L'interdépendance des pays de la planète s'est accentuée sans qu'elle soit toujours reconnue. Tous les problèmes politiques, économiques, sociaux ou techniques sont devenus plus complexes. Dans cette situation, les responsables de la formation doivent rester prospectifs et dynamiques.

Ainsi, il s'agit d'être capable de répondre aux interrogations suivantes:

— Est-ce que la formation des ingénieurs civils dans nos Ecoles polytechniques fédérales est adaptée aux nécessités du futur? Est-ce qu'elle permet de garantir à la fois une grande ouverture d'esprit et une connaissance approfondie des problèmes?

— Est-il possible de porter un jugement sur la qualité de la formation par l'examen des ouvrages exécutés par nos bureaux d'ingénieurs en Suisse et à l'étranger?

Avant de répondre à ces questions, esquissons à grands traits les aspects principaux de l'évolution du génie civil depuis la fin de la deuxième guerre mondiale.

Tout d'abord, l'influence de la science sous forme de théories nouvelles a donné la possibilité d'approcher par le calcul le comportement réel des ouvrages. Ceci a conduit à utiliser au maximum les propriétés des matériaux qui ont fait eux-mêmes l'objet d'études approfondies soit en laboratoire, soit sur chantier. L'informatique est venue compléter les outils à disposition de l'ingénieur. L'importance volumétrique grandissante des ouvrages à exécuter sur ou dans des terrains de plus en plus aléatoires a imposé un développement considérable de la mécanique des sols et de celle des roches. L'industrialisation de la construction, dont la mécanisation et la préfabrication ne sont que des aspects, a exigé des méthodes de gestion nouvelles. Le travail interdisciplinaire s'est développé. L'étude du système et la conception générale ont précédé l'analyse de l'objet à construire, afin de mieux l'intégrer dans son environnement.

Si la démarche de l'ingénieur civil présente une certaine unité quel que soit le genre de construction, la palette des objets est extrêmement variée. En effet, on ne voit pas a priori les similitudes entre l'exploitation des chemins de fer et la conception des structures, sans parler d'un déversoir hydraulique ou d'une bâche de turbine. Cette diversité impose pour les plans d'études la cohabitation de deux exigences opposées: l'ouverture des connaissances et l'approfondissement du savoir. Nos deux Ecoles polytechniques fédérales ont su trouver chacune la solution convenant à son caractère propre. Remarquons qu'étant donné la très ancienne tradition dans les deux Ecoles et le contact très étroit avec la pratique, les deux plans d'études sont suffisamment voisins pour permettre le passage d'un étudiant d'une Ecole à l'autre. Si le mouvement n'est pas celui que nous souhaitons, ce n'est pas la faute des plans d'études, mais celle des étudiants eux-mêmes qui ne voient pas l'intérêt majeur de connaître mieux une autre mentalité et une autre langue.

Un plan d'études, aussi bien élaboré soit-il, présente des lacunes. Ces dernières sont inévitables. Je n'irai pas jusqu'à dire qu'elles sont indispensables en me référant aux lacunes d'un réseau cristallin d'un métal qui, elles, contribuent à la résistance. Non! Je veux simplement attirer l'attention sur la responsabilité de l'étudiant qui doit déborder du cadre obligatoire du plan d'études et assumer personnellement l'élimination des lacunes, voire aller au-delà du plan d'études.

Le diplôme d'ingénieur civil ne représente pas seulement la sanction d'études universitaires réussies. C'est aussi dans notre pays un certificat d'aptitudes professionnelles. Pour cette raison, il est important que, dès le premier semestre, l'étudiant soit initié à la profession. L'EPFZ le fait à la fin du semestre par un stage pratique dirigé d'une semaine. L'EPFL le fait par des cours et projets

pendant le semestre à raison de 5 heures par semaine.

3. De la responsabilité humaniste et sociale de l'ingénieur civil

Les ingénieurs civils (comme du reste d'autres catégories) sont parfois accusés de concevoir leurs ouvrages dans un esprit technocratique sans se préoccuper des conséquences socio-éthiques et écologiques. Cette critique n'est pas sans fondements, mais il est parfaitement injuste de porter cette accusation sur la corporation des ingénieurs. Toute notre société et ses membres sont responsables de l'utilisation abusive de la science et de la technique. C'est un problème majeur de notre temps, fondamentalement politique et éthique, mais économique aussi par son influence sur le niveau de vie à court terme. Dans un plan d'études étendu sur quatre ans (et il ne serait pas sage de l'allonger), l'enseignement scientifique et technique est prépondérant. Afin toutefois de sensibiliser l'étudiant aux autres disciplines de l'esprit humain, des cours sont mis à disposition. A l'EPFZ par les professeurs de la section des sciences humaines (lettres et sciences sociales), à l'EPFL par des professeurs des universités occupant des charges de cours. Afin d'en tirer un vrai profit, cet aspect est contrôlé. Par exemple, l'EPFL a introduit au quatrième semestre un séminaire intitulé « Génie civil et homme, technique, environnement (HTE), écologie technique ». Pour être admis à l'examen final, un projet doit être présenté dont la note participe à l'établissement de la moyenne nécessaire des travaux pratiques.

4. Action et rétroaction entre formation et pratique

Pour résoudre le dilemme cité plus haut — généralisation/spécialisation — les deux Ecoles ont introduit des orientations. L'EPFL s'est limitée à deux en dernière année (structures et ouvrages d'art/planification et grands travaux), tandis que l'EPFZ exige d'en choisir deux parmi six possibilités (un choix entre construction/économie hydraulique/fondations de route et un choix entre planification et transports/exploitation et entreprise/matériaux et mécanique et les deux orientations non retenues du premier groupe).

Les réponses au premier groupe d'interrogations cité plus haut doivent évidemment être données par les intéressés eux-mêmes et par les maîtres d'ouvrages. Elles sont très généralement positives en ce qui concerne le fond et cela n'est pas étonnant, car la pratique a été largement consultée pendant l'élaboration des plans d'études. Le côté enthousiasme est lui largement tributaire de la personnalité et de la pédagogie du professeur, comme de l'attitude de l'étudiant. Là également, la situation est favorable étant bien entendu que des améliorations ponctuelles peuvent et doivent intervenir.

C'est par leurs travaux que nos ingénieurs démontrent leur potentiel personnel et la qualité de leur formation. Bien évidemment, ce sont les qualités personnelles qui, avec le temps, sont déterminantes pour le succès. Pour l'enseignant, il y a là motif à modestie, mais surtout à prendre conscience de l'importance de développer le potentiel des étudiants. Il ne s'agit pas seulement de transmettre avec brio des connaissances, il faut simultanément faire éclater les personnalités.

Notre pays comprend un millier de bureaux d'ingénieurs civils. On peut les classer dans trois grandes catégories:

— celle des grands bureaux issus par exemple de sociétés de production d'électricité ou de sociétés financières;

— celle des bureaux en nom personnel qui sont les plus nombreux et dont certains se sont transformés avec le temps en sociétés anonymes;

— celle des bureaux d'entreprises du génie civil.

D'une manière générale, nous constatons que le niveau d'originalité et de qualité est très élevé en Suisse. Les succès que notre ingénierie a obtenu à l'étranger pendant ces dernières années sont là pour le prouver. Ce sont en général les grands bureaux qui sont ainsi mis en vedette. Pour exploiter la créativité des petits bureaux, qui souvent manquent de trésorerie pour satisfaire aux appels d'offres, des groupements de bureaux se sont formés. Ainsi avons-nous, dans notre pays, une panoplie extraordinairement variée, ce qui fait à la fois notre force et notre faiblesse. Force par le foisonnement des idées, la souplesse et la capacité d'exécution, faiblesse par la dispersion et la concurrence qui ne reste pas toujours sur le plan de la qualité malgré les exigences des tarifs d'honoraires de la SIA.

Compte tenu de la situation que je viens de décrire, c'est sur la pointe des pieds que je m'aventure sur le terrain consistant à spécifier, par des exemples, les contributions durables de nos bureaux au développement du génie civil. Par le mot durable, je veux dire dans le sens d'une idée ou d'un procédé nouveau qui est ensuite incorporé dans les « règles de l'art » et utilisé par chacun. Il faut, pour être complet, rappeler ici le rôle capital joué par nos professeurs dans le domaine de la recherche. Cette dernière ne fait pas l'objet de cette contribution, mais il est juste de relever la symbiose remarquable existant dans le génie civil entre la pratique et les instituts universitaires. Un inventaire des contributions de la Suisse au génie civil devrait donc comprendre les résultats des travaux de recherche. Mais je n'en tiendrai pas compte vu le but qui est, comme dit plus haut, d'expliciter par quelques exemples l'activité originale de nos bureaux d'études. Je le ferai en prenant quelques domaines. Ces vues seront, par la force des choses, très partielles et lacunaires. On voudra bien m'en excuser.

5. Les installations de transformation d'énergie

L'après-guerre (dès 1945) a été caractérisée par une activité intense dans les domaines des travaux hydrauliques, des communications et du bâtiment public, industriel ou de logements. Dans chacun de ces secteurs, notre pays a démontré la capacité de ses bureaux et de ses entreprises. En disant cela, il ne faut pas oublier la dimension de la Suisse et l'application plus rigoureuse qu'ailleurs des règles de l'économie de marché.

Les *travaux hydrauliques* sont un exemple typique de l'interdépendance de la recherche, des études de cas concrets et des méthodes d'exécution. Depuis plus de cinquante ans, nos Ecoles polytechniques disposent chacune d'un laboratoire de recherches hydrauliques permettant des essais sur modèles. Ces laboratoires ont deux missions: celle de recherche universitaire nécessaire à la qualité de l'enseignement et celle d'activités de service sous forme d'exécution de mandats facturés. Un cas particulier de cette collaboration est celui des vidanges de fond du barrage de Gebidem sur la Massa (torrent issu du glacier d'Aletsch). Il s'agissait de trouver la meilleure solution pour lutter contre l'ensablement du bassin d'accumulation. L'examen qualitatif des apports solides de la Massa a été confié au laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL, alors que la vérification sur modèle réduit du bon fonctionnement de la solution proposée s'est faite au laboratoire de recherches hydrauliques et de mécanique des terres de l'EPFZ [1][1]. La solution proposée a donné entière satisfaction et représente une contribution originale qui pourrait être utilisée dans d'autres cas analogues.

Dans le *secteur des barrages*, les ingénieurs suisses ont été des pionniers, qu'il s'agisse de barrages-poids, de barrages-poids évidés, de barrages-voûtes ou de digues en enrochement. Pour illustrer l'affirmation, je me limiterai aux barrages en voûte mince. Dès les années 1920, les ingénieurs A. Stucky, H. E. Gruner, H. Juillard, H. Gicot, E. Bosshard, A. Kaech apportent une contribution théorique et pratique de qualité internationale. Là également, il est diffi-

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

cile d'oublier la symbiose entre les bureaux privés et les Ecoles polytechniques soit parce que le professeur (à temps partiel) est simultanément propriétaire du bureau (A. Stucky, A. Gardel), soit parce que c'est un élément de la philosophie d'action (A. Rohn, K. Hofacker, G. Schnitter). Ce bouillonnement d'activités créatrices culmine en quelque sorte avec la thèse de Jean Lombardi [2] qui a donné une contribution décisive en apportant la solution des problèmes posés par le calcul et la construction des barrages en voûtes par l'emploi de la théorie des coques d'épaisseur moyenne en attendant l'emploi de la méthode des éléments finis. Avec la fin des grandes installations hydroélectriques en Suisse, nos bureaux d'ingénieurs ont dû intensifier leur action à l'étranger. Les plus grands bureaux ont eu moins de difficultés que les autres pour maintenir leur capacité intellectuelle et financière, afin d'intervenir dans la concurrence internationale. Parmi de nombreux autres exemples, nous pouvons citer l'aménagement d'El Cajon au Honduras où le barrage-voûte de 226 m de haut a fait l'objet, en raison des tremblements de terre, d'une étude dynamique particulièrement complexe représentant le summum de ce qui est possible de faire aujourd'hui [3].

Nos bureaux d'ingénieurs sont particulièrement compétitifs dans les cas difficiles et spéciaux qui demandent une capacité particulière d'appréciation et une grande expérience. Pour rester dans les barrages, signalons comme un cas exceptionnel celui de la surélévation du barrage des Zardézas, en Algérie, obtenue sans augmentation de la largeur de base grâce à l'introduction de 110 tirants de précontrainte de 500 t chacun [4].

La *production d'énergie par voie nucléaire* a ouvert un champ d'action important aux ingénieurs civils. Dans la question des caissons en béton précontraint participant à la résistance de la cuve du réacteur tout en assurant la protection biologique, il s'agit de tenir compte dans une étude tridimensionnelle, notamment des déformations différées, de la fissuration et des effets thermiques. La collaboration germano-suisse pour le réacteur à haute température avec turbines fonctionnant à l'hélium a été un champ d'action privilégié dans ce domaine [4].

Les exigences relatives à la sécurité imposent l'étude des installations sous l'influence des tremblements de terre ou de l'impact d'un avion. Il s'agit là d'études particulièrement intéressantes, mais ardues, auxquelles nos ingénieurs prennent une part importante [5].

Les *conduites forcées* en galeries sous forme de puits blindés posent, notamment à l'ingénieur civil, la question du voilement de la tôle sous l'influence de la pression extérieure lorsque la conduite n'est pas sous pression. Nos ingénieurs civils de bureaux ou d'entreprises ont apporté une réponse qui n'a pas bénéficié, me semble-t-il, de l'aide de la recherche universitaire. Il s'agit d'un problème lié très fortement aux conditions du chantier, ce qui explique cela [6].

Les *chambres d'équilibres* représentent un élément complexe et coûteux de beaucoup d'installations hydroélectriques. Les calculer et les construire mieux a donc aussi été la préoccupation de nos hydrauliciens. A ces études sont associés les noms d'ingénieurs tels J. Calame, D. Gaden, H. Favre, M. Ebner, Ch. Jaeger, M. Cuénod et A. Gardel. Une bibliographie complète est donnée dans le livre de ce dernier, paru en 1956 [7].

L'*énergie électrique* doit être transportée. Nos lignes à haute tension sillonnent le pays et assurent la répartition du courant et les échanges avec l'étranger, grâce à notre réseau interconnecté. L'observateur peut constater la diversité des solutions utilisées et cela même pour les tensions identiques. Une normalisation n'a pas été possible, malgré des efforts de bonne volonté. Aussi n'avons-nous pas, dans ce domaine, de leçons à donner à l'exception peut-être des pylônes à treillis et arbalétriers tubulaires remplis de béton qui ont fait l'objet de brevets et dont la silhouette permet de résoudre d'une manière élégante des franchissements de grande portée [3].

6. Les voies de circulation

Dans le chapitre des communications, les autoroutes, les pistes d'aéroport, les améliorations des tracés des routes cantonales et du chemin de fer constituent un champ d'action ouvert à la plupart de nos bureaux d'ingénieurs. Les ponts ont reçu un intérêt particulier. Ne personnifient-ils pas l'art de l'ingénieur civil? Pour ce dernier, les noms de O. H. Amann et R. Maillard sont quasiment vénérés. C'est dire que la concurrence dans notre pays a été extrêmement forte, ce qui a contribué à l'obtention d'une qualité exceptionnelle. Le béton précontraint et l'acier (constructions mixtes) se retrouvent en concurrence sur tous les ouvrages d'une certaine importance. Je ne citerai que deux exemples en Suisse romande. Le pont-courbe d'autoroute en construction mixte sur la Veveyse [8], caractérisé par sa méthode de lancement, et le viaduc de Chillon [9] en béton précontraint, adaptation à des ponts-courbes de la méthode française des «joints conjugués» de voussoirs préfabriqués.

Notre topographie tourmentée nous a obligé à construire de nombreux tunnels, domaine dans lequel nos ingénieurs du début du siècle ont démontré une belle maîtrise. Qui dit tunnel dit mécanique des sols, mais surtout mécanique des roches. Si dans la mécanique des sols les Ecoles polytechniques ont très tôt rempli leur mission d'enseignement et de recherche et motivé les bureaux techniques, il n'en est pas de même de la mécanique des roches pour laquelle c'est la pratique qui a eu l'initiative. Ce défaut a été corrigé, il y a quelques années, par la création de la Chaire de mécanique des roches à l'EPFL. Ce domaine est maintenant traité dans les deux Ecoles avec effort principal à Lausanne. A Zurich, c'est à la Chaire de construction de routes, de tunnels, de chemin de fer et de mécanique des roches qu'incombe cette responsabilité.

La mécanique des roches est quasiment la discipline idéale pour motiver l'ingénieur civil complet. A la fois théorique et expérimentale, elle exige la rigueur du staticien et l'intuition du savant [10]. Quant à la mécanique des sols, elle offre chaque jour un champ d'action plus vaste. Par exemple, la technique du gel permet de résoudre de difficiles problèmes pratiquement insolubles par d'autres méthodes [11].

7. Les superstructures

Avec le bâtiment public, industriel ou de logement, nous entrons dans un domaine d'une variété très grande où la mission de l'ingénieur civil change de caractère. S'il agit à titre indépendant, il est malheureusement souvent désigné tardivement, l'architecte ayant déjà pris certaines options. S'il est membre d'une entreprise générale, il peut perdre aussi une partie de sa liberté créatrice pour des raisons liées aux méthodes d'exécution propres à l'entreprise. Dans un cas comme dans l'autre, il y a un intérêt général à l'impliquer dans les toutes premières discussions entre le maître de l'ouvrage et le mandataire. Je pense notamment à l'importance du choix du matériau le plus approprié. Le béton armé ou précontraint, l'acier et le bois ont des domaines d'application privilégiés. Dans d'autres cas, l'ingénieur peut hésiter. C'est par la symbiose des réflexions de l'architecte, de l'ingénieur et si possible de l'entrepreneur que surgissent les constructions novatrices aux coûts les meilleurs.

Parmi la multitude de constructions intéressantes citons:

— Le bâtiment en forme d'hyperboloïde de révolution de la Banque des règlements internationaux à Bâle, lequel, à côté des questions de statique, a posé de nouveaux problèmes quant à la mensuration et au jalonnage [12].

— La halle de 128/128,40 m pour l'entretien des Jumbo-Jets à l'aéroport du Zurich-Kloten. Les façades doivent pouvoir être partiellement dé-

truites par le souffle d'une explosion sans que cela provoque l'effondrement de la toiture, d'où le choix de quatre piliers porteurs seulement capables de résister à une explosion. La structure est telle que la destruction d'une partie quelconque de la charpente sur une surface de 30 m sur 30 m, située directement au-dessus d'un foyer d'incendie, n'entraîne pas l'écroulement de la toiture [13].

— La halle des sports de Macolin de 92,40 m de long et 50,40 m de portée dont les poutres transversales en acier sont précontraintes [14].
— Le système structurel CROCS pour constructions scolaires et administratives en Suisse et à l'étranger [15].
— L'emploi de dalles plates précontraintes dans la construction de bâtiments [16].

Les exemples précédents touchent à la conception. L'art de l'ingénieur s'exerce souvent d'une manière prépondérante pour la réussite dans les méthodes d'exécution. Dans l'avenir, c'est même dans cette direction que des progrès substantiels restent à faire.

Depuis 1963, on utilise sur les chantiers des nattes isolantes placées sur le béton frais (dalles), afin d'améliorer la qualité du béton. Par cela, on retient la chaleur dégagée par la prise du ciment et l'évaporation de l'eau est ralentie [17].

Les entreprises suisses de la construction métallique ont puissamment contribué au développement de la soudure. Un des premiers ponts de chemin de fer intégralement soudé a été conçu par Auguste Chevalley. Cette tradition a conduit à une collaboration américano-suisse pour la fabrication répétitive de sphères en aluminium, diamètre 36,60 m, destinées au transport maritime de gaz naturel liquide (LNG). Le but à atteindre était « d'obtenir la grande exactitude nécessaire sur chacune des pièces composant la sphère pour que le tout s'assemble selon une géométrie quasi parfaite, avec les tolérances de jeu résiduel très étroites pour permettre l'exécution correcte des soudures ». Pour ce faire, la firme suisse a mis au point la méthode de fabrication et a assuré la conception et la fabrication « d'un système de gabarits de très grandes dimensions ayant des éléments mobiles permettant la présentation des pièces composantes les unes par rapport aux autres, leur maintien en position et l'exécution des soudures par des procédés automatiques » [18].

8. Conclusion

Les réflexions et faits explicités dans cette contribution sont incomplets et négligent notamment des réalisations remarquables de bureaux moyens et petits. Par ailleurs, je n'ai pas utilisé tous les éléments d'information recueillis.

Il ne s'agit absolument pas d'une étude historique, d'où le titre. J'espère cependant que mon énumération montre suffisamment la qualité et la richesse des travaux des ingénieurs civils de notre pays.

J'ai renoncé à incorporer des photographies. « Qui trop embrasse mal étreint » dit un proverbe. Le lecteur voudra bien faire appel à la liste de références.

Références

[1] R. Oberlé, Ch. Dubas et collab. *Protection contre l'ensablement du bassin d'accumulation de l'aménagement hydro-électrique de la Massa.* 9e Congrès des grands barrages, 1967.

[2] G. Lombardi. *Les barrages en voûte mince.* Etude de l'effet de coque et de l'effet de torsion. F. Rouge et Cie SA, Lausanne, 1955.

G. Lombardi, Locarno. *L'impianto idroelettrico della nuova Verzasca.* Rivista technica della Swizzera italiana, n° 4, 1962.

[3] R. Dungar. Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG Baden. *Aseismic design considerations for a large arch dam. Design of dams to resist earthquake*, ICE. London 1980.

Système bréveté Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG Baden.

[4] R. Lafitte, J. D. Marchand. Bonnard et Gardel Ingénieurs-Conseils SA Lausanne. International Atomic Energy Agency. Meeting on gas-cooled reactor safety licensing aspects. 1-3.9.1980. *Safety assessment of a multicavity prestressed concrete reactor vessel with hot liner.*

R, Lafitte and J. D. Marchand. Bonnard et Gardel Consulting Engineers Ltd Lausanne. *Prestressed concrete vessel for the HHT project.* ASME, Paper No. 81-GT-14, march 1981.

[5] J. P. Wolf, K. M. Bucher and P. E. Skrikerud. Electrowatt Engineering Services Ltd, Zurich. *Response of equipment to Aircraft impact.* Nuclear Engineering and Design, vol. 47, No. 1, May 1978.

J. P. Wolf and P. E. Skrikerud. *Influence of geometry and of the constitutive law of the supporting columns on the seismic response of a hyperbolic cooling tower.* Earthquake engineering and structural dynamics, vol. 8, 415-437, 1980.

J. P. Wolf and P. Obernhuber. *Effects of horizontally travelling waves in soil-structure interaction.* Nuclear Engineering and Design, vol. 57, No. 2, May 1980.

[6] A. Hutter et A. Sulzer. Electrowatt Ingenieurunternehmung AG. *Beitrag zur Theorie und Konstruktion gepanzerter Druckschächte.* Wasser und Energiewirtschaft, 11/12, 1947.

W. Müller. *75 Jahre Druckleitungsbau*, Technische Rundschau Sulzer, n° 4, 1954.

J. C. Ott. *Résultats des essais à haute pression du puits blindé d'Electra-Massa (Valais)*, BTSR, nos 6 et 10, 1964.

E. Amstutz. Wartmann et Cie SA. *Das Einbeulen im Schacht und Stollenpanzerungen.* SBZ, n° 28, 1969.

S. Jacobsen. Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG. *Buckling of circular rings and cylindrical tubes restrained against radial displacement under external pressure.* Water Power, déc. 1974.

[7] A. Gardel. *Chambres d'équilibre.* F. Rouge et Cie SA, Lausanne, 1956.

[8] Bulletin des Ateliers de constructions mécaniques de Vevey SA, 1978.

[9] Bureau technique Piguet ingénieurs-conseils SA. R. Hofer ingénieur.

[10] B. Gilg et E. Dietlicher. Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG. *Felsmechanische Untersuchungen an der Sperrstelle Punt dal Gall.* SBZ, Heft 43, 1965.

G. Lombardi, Locarno. *Der Einfluss der Felseigenschaften auf die Stabilität von Hohlräumen.* SBZ, Heft 3, 1969.

G. Lombardi, Locarno. *Zur Bemessung der Tunnelauskleidung mit Berücksichtigung des Bauvorganges.* SBZ, Heft 32, 12.8.1971.

G. Lombardi, Locarno. *Nuovi concetti sulla statica delle gallerie.* Ingegneria ferroviaria, n° 2, Febbraio 1975.

G. Lombardi, Locarno. *Long-term measurements in underground openings and their interpretation with special consideration to the rheological behaviour of the rock.* International Symposium on Tied Measurements in Rocks Mechanics, Zurich 1977.

S. Skaanes. Elektrowatt Ingenieurunternehmung. *Ausbruch und Felssicherung im Valanginienmergel.*

G. Lombardi. *Some Comments on the Convergence-Confinement Method.* Underground Space, vol. 4, No. 4, 1980. Pergamon Press Ltd.

W. Amberg. Ingenieurbureau G. Lombardi, Locarno. *Fortschritte in der Felsmechanik im Zusammenhang mit dem Gotthard-Strassentunnel.* Schweizer Ingenieur und Architekt. Sonderdruck aus Heft 36/1980.

G. Lombardi, Locarno. *Bau von Tunneln bei grossen Verformungen des Gebirges.* Congress on Tunnelling, Düsseldorf, 1981.

[11] R. Simitovic. *Analyse der Thermal-Konduktivitäts-Prozesse bei Gefriervorgängen für den Milchbucktunnel.* Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 1978.

K. Aerni. *Techniques de la congélation dans les travaux de génie civil.* Journées d'études SIA, 30/31 mars 1979. Tiré à part de la documentation SIA, n° 32.

[12] Gruner SA. Ingénieurs-conseils, Bâle.

[13] Zwahlen et Mayr SA, Aigle, et Giovanola frères SA, Monthey.

[14] Geilinger SA, Winterthur.

[15] Bureau technique Piguet Ingénieurs-conseils SA, Lausanne.

[16] Stahlton AG: *Stützstreifenvorspannung. Berechnungsgrundlagen*, Eigenverlag 1974.

P. Marti, P. Ritz, B. Thürlimann. *Prestressed Concrete Flat Slabs.* IABSE Surveys S-1/77 (Association internationale des ponts et charpentes).

Dr. W. Wüthrich. Electrowatt Engineering Services Ltd. *Posttensioned concrete flat slabs in building design and construction — the supportstrip method.* The Ninth International Congress of the FIP 1982.

Ramasubba Narayanan et J. Schneider, Zurich. *Calcul et dimensionnement de dalles plates précontraintes à l'aide d'un ordinateur de table.* Ingénieurs et architectes suisses, n° 22, oct. 82.

[17] W. A. Schmid. Locher et Cie Zurich. *Einfluss des Kriechens, Schwindens und der Temperaturänderungen in Stahlbetonkonstruktionen.* Association internationale des ponts et charpentes. Symposium de Madrid, 1970.

[18] Ateliers de constructions mécaniques de Vevey SA.

P. Takis Veliotis. *A Solution to the Series Production of Aluminium LNG Spheres.* The Society of Naval Architects and Marine Engineers, November 1977.

Adresse de l'auteur:
Maurice Cosandey, professeur
Président du Conseil des Ecoles polytechniques fédérales
3001 Berne

Zusammenfassung

Aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen werden heute schlanke Stehbleche ohne Längssteifen ausgebildet, so dass die überkritischen Beulreserven ausgenützt werden. Bei Verbundkonstruktionen sind für jede Beanspruchung andere Querschnittswerte (reine Stahlquerschnitte oder Verbundquerschnitte) zu berücksichtigen. Die für die Bestimmung des Biege- und des Schubwiderstandes von Verbundträgern mit dünnwandigen Stehblechen auftretenden Probleme werden untersucht und einfache Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen.

Summary

At the present time economical criteria lead to slender webs without longitudinal stiffeners, so that the postcritical behaviour must be taken into consideration. For composite structures different section properties have to be introduced (steel section or composite sections). The problems arising for the computation of the bending and the shear resistance of composite girders with slender web are discussed; simple solutions are presented.

Problèmes relatifs au dimensionnement des poutres mixtes à âme mince

par Pierre Dubas, Zurich

Résumé

Les critères d'économie amènent à l'heure actuelle à réaliser des âmes élancées sans raidisseurs longitudinaux, travaillant largement dans le domaine de voilement postcritique. Dans les ouvrages mixtes, les sollicitations s'appliquent à des sections différentes, sans liaison ou avec liaison à la dalle. On examine les problèmes qui en découlent pour la détermination de la résistance ultime des poutres mixtes à âme mince fléchie ou cisaillée; des solutions simples sont présentées.

Evolution dans le raidissage des âmes

Jusqu'à la parution, en 1979, de la dernière édition de la norme SIA 161, on ne tenait pas compte explicitement des réserves de voilement postcritiques; on se contentait de les escompter forfaitairement en abaissant à 1,3 le coefficient de sécurité y relatif. Pour les âmes de ponts mixtes, dépassant souvent deux mètres de hauteur, un raidissage longitudinal était donc indispensable pour garantir une épaisseur économique.

Les ouvrages conçus avant 1970 environ comportent une ou plusieurs files de nervures longitudinales, souvent en augets trapézoïdaux pour assurer des rigidités flexionnelle et torsionnelle élevées ainsi que des conditions d'appui favorables pour les sous-panneaux. Ces caissons s'appuient sur des raidisseurs verticaux, principaux et intermédiaires. Les premiers servent de montants reprenant la composante postcritique des efforts tranchants; de plus, ils font partie des entretoisements, en treillis ou en cadre comme pour l'ouvrage représenté à la figure 1.

Pour simplifier la fabrication, on placera les nervures longitudinales à l'extérieur tout en laissant les raidisseurs verticaux à l'intérieur. Cette disposition, visible à la figure 2, évite les intersections toujours onéreuses et qui limitent l'emploi du soudage automatique. L'introduction du moment tordant dans la nervure longitudinale, dû à la rigidité flexionnelle du montant vertical, conduit toutefois à une distorsion locale réduisant l'efficacité du raidissage longitudinal [1][1]. Il est en effet difficile de disposer des diaphragmes prolongeant les raidisseurs verticaux.

A l'heure actuelle, la tendance est de supprimer le raidissage longitudinal même pour des âmes hautes, près de

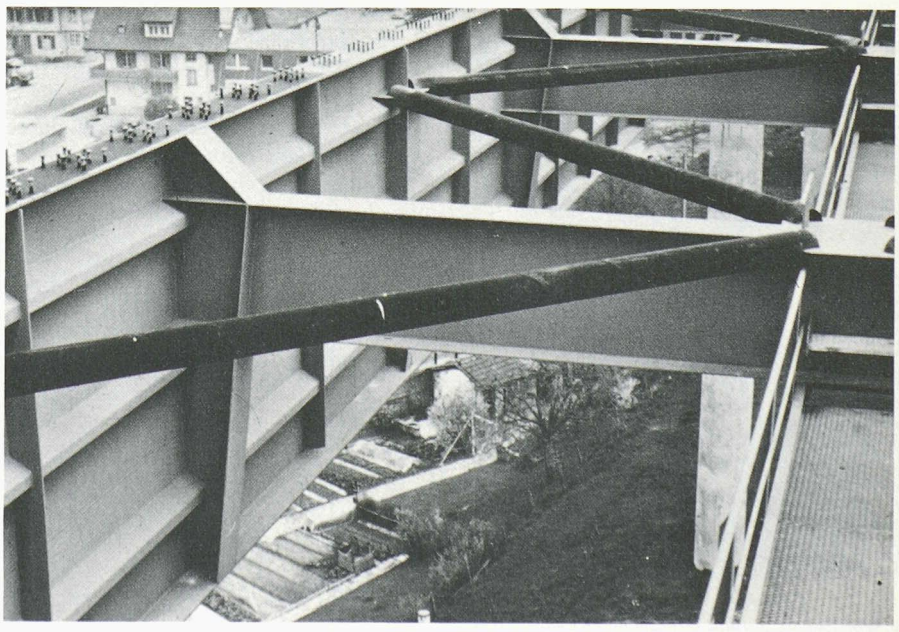


Fig. 1. — Raidissage du viaduc de Flamatt (1970); hauteur de la poutre 3740 mm, épaisseur en travée 10 mm; portées 51 + 63 + 71 + 63 + 8 × 50 + 36 m.

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