



Lors de la rénovation de la Maison-Mère de la communauté des Diaconesses de St-Loup, une chapelle provisoire a été projetée pour la période des travaux. En collaboration avec les ingénieurs, les architectes ont développé une structure de panneaux bois qui interprète l'espace traditionnel des églises protestantes à l'aide d'une succession de plis qui rythment le volume. Le nouveau lieu de culte occupe le centre du plateau de St-Loup et devient ainsi un élément réunificateur pour l'ensemble du site.

Équipe de mandataires

LOCALARCHITECTURE (pilote)
Bureau d'architecture Danilo MONDADA, Lausanne
SHEL / IBOIS EPFL, Lausanne
Bureau d'étude WEINAND / Yves Weinand, ingénieur EPFL, Liège (Belgique)

Structure & architecture

Nouveaux matériaux, nouveaux outils... nouvelles relations?

Ce dossier s'intéresse à la relation entre l'ingénieur en structure et l'architecte, du point de vue historique, mais aussi dans son mode de fonctionnement actuel, avec l'apparition, depuis une vingtaine d'années, de nouveaux matériaux et de nouveaux outils de projet et de calcul.

Par le passé, l'ingénieur et l'architecte donnaient souvent l'image de deux professions parallèles, forcées de travailler ensemble, sans se compléter vraiment: le premier plus créatif mais en-dehors de certaines réalités, le second souvent rigide car confronté à des exigences de type statiques ou constructives. Cette vision réductrice est, nous l'espérons, dépassée.

Tout d'abord grâce aux écoles d'ingénieurs et d'architectes. Il y a quelques décennies les études d'ingénieur civil se déroulaient presque sans contact avec les architectes, qui allaient pourtant devenir leurs principaux interlocuteurs. Les cours étaient alors purement orientés sur la science et la technique, la dimension culturelle et historique de la construction et de l'architecture étant largement oubliée. Quant aux architectes, leur formation intégrait quelques notions de statique qui n'étaient que survolées avec un intérêt tout relatif par les étudiants.

Recherche sur une nouvelle architecture en bois, Timber Project/IBOIS.



SOMMAIRE STRUCTURE ET ARCHITECTURE

Introduction	8
1. Brève histoire du binôme ingénieur-architecte	10-11
2. Innovation / Le bois à l'ère du numérique	14-15
3. Brauen + Wälchli / Partager la même curiosité	16-17
4. La création à l'heure de la culture de l'architecture digitale	18
Conclusion	19

Ce dossier a été préparé par François de Marignac, Jérôme Ponti et Marie-Christophe Ruata-Arn

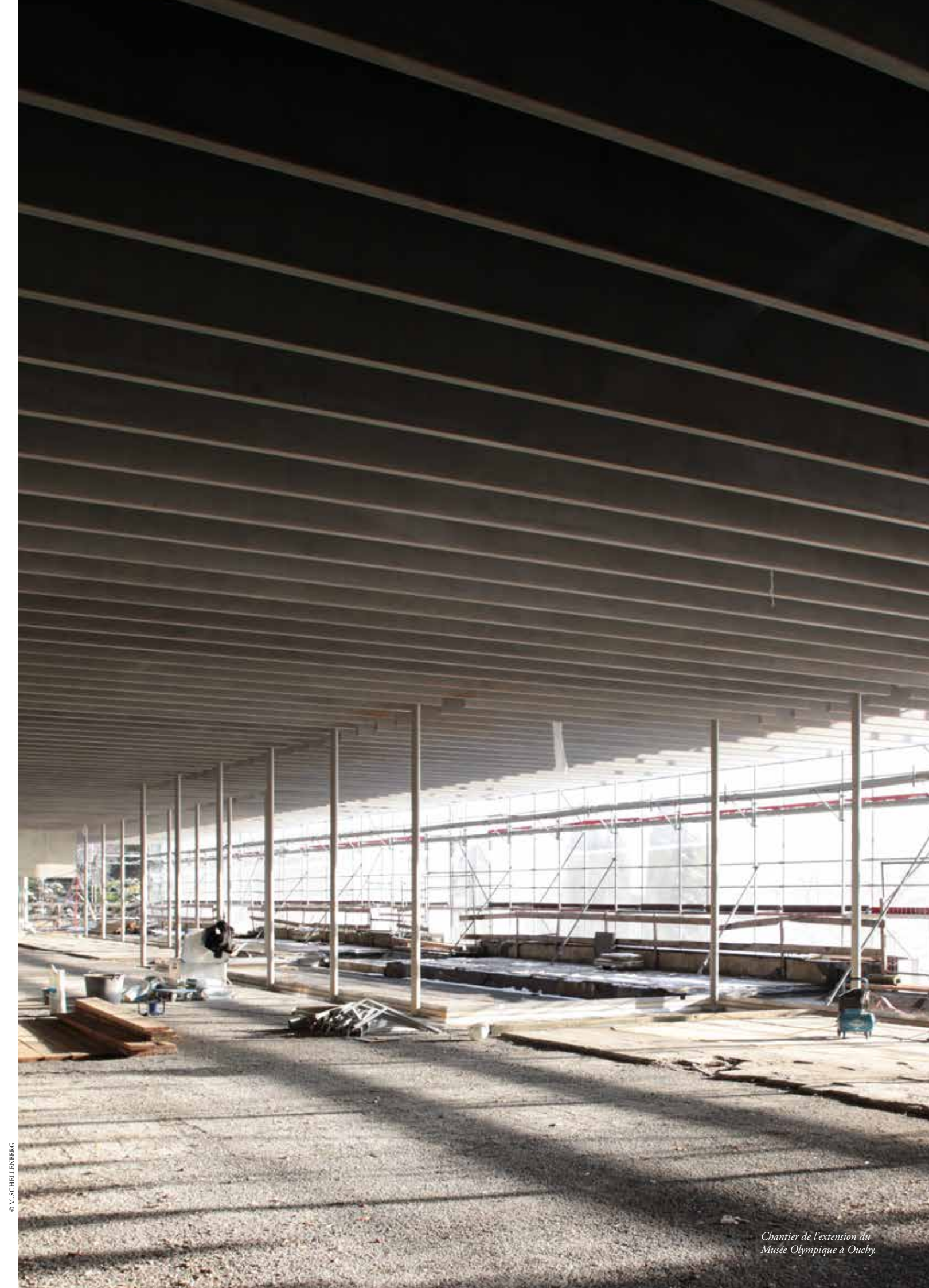
Désormais, on apprend à s'intéresser au métier de l'autre, notamment par des enseignements croisés, tels que ceux dispensés à l'EPFL au sein de l'ENAC (Faculté de l'Environnement naturel, architectural et construit). Il semble que les efforts déployés au niveau de la formation portent leurs fruits et que l'on assiste, dans la génération d'ingénieurs et d'architectes active aujourd'hui, à un intérêt réciproque pour le travail de l'autre.

Ceci se retrouve sur certains projets qui, même s'ils ne constituent pas le quotidien du travail de l'ingénieur civil en Suisse, permettent d'avoir une réflexion en ne cherchant pas seulement à trouver des solutions structurales pour un projet architectural donné, mais à faire en sorte que la structure s'intègre au projet, en fasse partie. Il est évident que cette ambition doit être partagée par les deux intervenants, mais, si elle est bien conçue, elle participe certainement à la réussite d'une construction. A cet égard, la collaboration exemplaire entre ingénieurs et architectes pour le projet d'agrandissement du Musée Olympique à Lausanne, construit dans un matériau récent: le béton fibré, a permis de trouver un équilibre fragile entre la forme, la construction et la fonction.

Comme pour ce projet, l'avenir des professions d'ingénieur et d'architecte s'appuiera sur de nouveaux matériaux, mais également sur les progrès de l'informatique dont plusieurs logiciels permettent de modéliser, calculer et dessiner des structures avec une grande liberté formelle. A cet égard, les recherches menées par IBOIS sont exemplaires et permettent de développer de nouveaux potentiels constructifs avec des matériaux traditionnels.

Ces progrès indéniables ne devront toutefois pas faire oublier la mission première de nos métiers: construire d'une manière responsable mais avec poésie. La question de la création reste entière. Quelques jalons sont posés pour une réflexion que nous souhaiterions également susciter avec ce dossier.

Jérôme Ponti



© M. SCHELLENBERG

Chantier de l'extension du Musée Olympique à Ouchy.



Brève histoire du binôme ingénieur - architecte

On trouve l'origine du binôme ingénieur-architecte dans l'Antiquité, même si c'était parfois la même personne cumulant les deux savoirs, à qui les maîtres d'ouvrages confiaient la réalisation de leurs projets. Le domaine de la construction des bâtiments, lorsqu'il était traversé par des questions de société et de convenance, était néanmoins plutôt celui des architectes, qui bâtissaient alors grâce au savoir faire de métiers telle la taille de la pierre, la maçonnerie, la charpente ou la serrurerie.

Le domaine des ponts, des ports et canaux, des fortifications, des *engins* militaires ou civils, lui, était celui des ingénieurs qui, de même, faisaient appel à différents corps de métiers pour leurs réalisations. Ces ingénieurs avaient la connaissance des arts mécaniques qui, dès la Renaissance, furent enrichis par l'activité scientifique des *savants* dont le savoir était avant tout philosophique et spéculatif, et non pas technique.

Avec le développement industriel, les liens entre sciences et techniques se resserrent, si bien que des ingénieurs deviendront d'authentiques savants physiciens ou mathématiciens, qui, en retour, produiront cette « science de l'ingénieur » caractéristique de la formation des ingénieurs modernes et qui constitue une grande part de leur efficacité dans la conception des structures porteuses des bâtiments ou des ouvrages de génie civil.

On l'a compris, avant ce moment, les architectes n'avaient finalement nul besoin des ingénieurs pour dimensionner les constructions, régies par les **règles de proportions**, une loi suffisante lorsque la stabilité des édifices n'est tributaire que des forces gravitaires appliquées aux masses construites, elles-mêmes proportionnelles aux dimensions c'est-à-dire aux aspects visuels et architecturaux des constructions. Car ce qui « paraît proportionné » est, en effet, stable.

L'introduction du fer, que ce soit sous forme de construction métallique, ou, plus tard, de béton armé, cassera cette belle harmonie. Et cela, parce que les efforts internes dans les parties métalliques peuvent être, à sections égales, infiniment plus élevés que les efforts de descente des charges dans les maçonneries et, de plus, peuvent alterner compressions et tractions qui sont exclues des maçonneries ! Dorénavant, le dimensionnement passera obligatoirement par les sciences mécaniques, **la statique et la résistance des matériaux**, seules à même de rendre compte de ce nouveau fonctionnement interne des constructions. Leur connaissance est l'héritage sans cesse développé des ingénieurs, qui deviennent dès lors les partenaires obligés des architectes.

On remarquera que l'histoire a procédé par « conjonction des savoirs et non par « division des tâches », et que cette évolution est la conséquence d'un changement paradigmatique dans l'art de construire qui est à l'origine d'une révolution en architecture : l'architecture moderne. Aujourd'hui, celle-ci est le cadre bâti universel de nos sociétés.

Des rôles différents aux relations paradoxales

Dans les rapports entre les deux professions, il y a aussi eu des épisodes plus tendus. Ainsi, avant l'avènement du fer industriel, il est arrivé que les ingénieurs des ponts soient consultés pour expertiser les structures portantes des bâtiments. C'est ce qui se passera par exemple pour les piliers de l'actuel Panthéon de Paris qui se fissuraient alors même que l'édifice était en construction. On est là, dans les rapports entre ingénieurs et architectes, bien loin d'une « collaboration » au moment de la création d'un projet.

Durant la deuxième moitié du XIX^e, lorsque la forme des halles métalliques des grandes expositions et des halles de chemin de fer sont créées par les ingénieurs grâce à leurs calculs statiques, et que, grâce à leur savoir, ils génèrent de nouvelles formes qui échappent à la « tyrannie » millénaire des murs massifs et des arcs en maçonnerie, on retient les noms des ingénieurs et on oublie souvent ceux des architectes. Cela étant, les architectes ne se sont pas contentés de diriger le décor de staff et ont assumé leur rôle de maîtres d'œuvre en intégrant la nouvelle donne structurelle dans le projet architectural. Mais l'heure est à l'innovation technique et à l'expérimentation ; l'ingénieur Viereckel dans son ouvrage « L'Architecture du fer » (Louvain, A. Uystpruyt-Dieu ; Paris Mme Vve. Dunod, 1901) emploie même, pour désigner les nouveaux arcs métalliques, l'expression paradoxale et enthousiaste d'« arcs sans poussée ». Dans cette situation, le rôle architectural majeur est alors porté par l'ingénieur. Pourtant, ces grands ouvrages métalliques qui ont permis le développement d'une architecture de verre ou de briques légères sans murs massifs, étaient des bâtiments exceptionnels et n'ont pas bouleversé les rapports de travail entre ingénieurs et architectes. C'est avec l'invention et surtout la pratique du béton armé qu'ils ont développé de nouveaux rapports.

C'est avec ce nouveau matériau qu'émergera une collaboration créative, à l'inverse d'une juxtaposition, hiérarchisée ou non, des fonctions et des compétences de l'une et de l'autre des professions.

Le béton armé vecteur de nouveaux types de relations...

Pourtant l'invention de ce nouveau matériau dans les dernières décennies du XIX^e n'est généralement pas due à des ingénieurs mais à des entrepreneurs, comme Monnier ou Hennebique, qui ont directement traité avec des architectes. C'est encore le cas lorsqu'au début du XX^e, les architectes commencent à s'intéresser au béton armé. Lors de la réalisation de leur premier bâtiment en béton armé, au 6 rue Franklin en 1902, les frères Perret traitent avec l'entreprise spécialisée Latron et Vincent et ne feront appel à l'ingénieur Gelluseau, qu'après 1906, lorsque le béton armé, libéré des brevets d'invention, sera dans le domaine public et son calcul codifié. Dès lors, les qualités constructives et architecturales du béton armé seront mises en évidence et le rôle de l'ingénieur amplifié. Ce dernier sera désormais seul à même de dimensionner et de maîtriser les projets de structures monolithiques où les piliers, les dalles et les parois sont interdépendants. Son conseil dès l'avant-projet, son expertise pour le projet et pour l'exécution étant incontournables, il sera désormais considéré comme le partenaire indispensable de l'architecte.

... et de polémiques

Les rapports entre les deux acteurs vont rapidement donner lieu à des polémiques sur le partage des tâches, car souvent les prouesses impressionnantes dans l'art de l'ingénieur ont nécessité des recherches tant mathématiques qu'expérimentales importantes. Alors : l'ingénierie est-elle un art au même titre que l'architecture, ou une « simple » technique ?

Voire, en 1923, la critique d'Auguste Perret à propos des hangars à dirigeables d'Orly construits par l'ingénieur Eugène Freyssinet : « *Etant donné leur destination, leur situation, on n'a pas essayé de faire de l'art. Le cintre, en forme de chaînette ou de parabole, n'a pas été massacré : on voit du premier coup d'œil quelle est la destination de ces édifices. Ils ont donc du caractère. Exécutés avec la plus stricte économie, ils ont même du style, mais est-ce de l'architecture ? Non ! pas c'est l'œuvre d'un grand ingénieur, ce n'est pas l'œuvre d'un architecte. (...) C'est qu'il manque aux hangars d'Orly, pour être une œuvre architecturale, l'Echelle, la Proportion, l'Harmonie, l'Humanité.* » Il faut dire que son propre projet n'avait pas été retenu au concours, alors que la solution de Freyssinet était « révolutionnaire » : il avait supprimé la charpente et utilisé la forme autoportante de la couverture en tant que

structure. Ce faisant, il définissait le type même de ces « voiles courbes autoportants » qui sont emblématiques de l'architecture du XX^e siècle.

La période des grandes couvertures en voiles minces de béton armé, phase particulièrement innovante de l'histoire des structures et de l'architecture moderne, est aussi celle durant laquelle les collaborations entre ingénieurs et architectes seront les plus visibles et les plus débattues. Le numéro 99 de la revue « Architecture d'Aujourd'hui » en 1962 est un « dossier Architectes-Ingénieurs ». L'article de René Sarger, ingénieur, commence par ces mots : « *L'Architecture d'Aujourd'hui n'a pas craint d'aborder ce problème et ce numéro est une réponse à certains architectes persuadés que l'ingénieur n'est qu'un calculateur, comme à certains ingénieurs convaincus que l'architecte n'est qu'un décorateur.* » Dans le numéro de la revue, la plupart des auteurs relèvent l'unité nécessaire du geste créateur entre les deux professions. Ils soulignent également que le statut d'artiste dont jouissent les architectes depuis la Renaissance, pourrait, à plus d'un titre, être également donné aux ingénieurs, dont l'apport à la création commune est indéniable.

Aujourd'hui, cette période héroïque étant révolue, on pourrait penser que le rôle des ingénieurs dans le processus créateur est plus routinier et que son poids dans le processus de création architecturale est moindre. Il n'en est rien, car les conditions contemporaines en matière économique, sécuritaire ou environnementale, maintiennent en permanence la nécessité d'innover techniquement. Même les structures porteuses en béton armé dont on pouvait croire l'histoire achevée sont secouées de nouveaux soubresauts : la bonne vieille descente de charges verticales pourrait être balayée au profit d'une construction plus spatialisée de voiles et de dalles permettant une conception plus « libre » des espaces et des fonctions superposées dans les immeubles à étages. On regrettera alors peut-être la sage simplicité architecturale de nos actuelles constructions, mais l'informatique apportera son aide tant aux architectes qu'aux ingénieurs, pour faire face à cette nouvelle complexité. Née de l'innovation technique au XIX^e siècle, la collaboration créative des architectes et des ingénieurs n'est donc pas en voie d'extinction !

Jean-Pierre Cêtre, ingénieur



TIMBER PROJECT

Introduction

Le bois est un matériau de construction polyvalent et durable. Il offre une solution écologique et esthétique pour la construction moderne. Ce projet explore les possibilités du bois dans l'architecture contemporaine.

Le bois en construction

Le bois est utilisé depuis des siècles pour la construction. Cependant, les nouvelles technologies permettent aujourd'hui d'utiliser le bois pour des structures plus complexes et plus élevées.

Les avantages du bois

- Écologique
- Durable
- Esthétique
- Facile à installer

Les défis de la construction en bois

- Le poids
- La résistance
- Le traitement du bois

Conclusion

Le bois est un matériau de construction prometteur pour l'avenir. Il offre une solution durable et esthétique pour la construction moderne.

Direction de recherche : IMB/EPFL
 Prof. Dr. Yves Meuzard
 Directeur de recherche

Collaborateurs : IMB
 Prof. Dr. Antoine
 Prof. Dr. Christophe
 Prof. Dr. Olivier
 Prof. Dr. Philippe
 Prof. Dr. Sébastien
 Prof. Dr. Thomas

Financement :
 EPFL, CNRS, BNP Paribas
 Partenaires industriels
 Schlüter Holz AG, Hilti AG, Knauf Gips KG
 Prof. Dr. Philippe
 Prof. Dr. Sébastien

Proposée par le Laboratoire des constructions en bois (BOIS) à l'EPFL en 2010, l'exposition « Timber Project » présentait les recherches sur les nouvelles architectures en bois.



Innovation / Le bois à l'ère du numérique

Entretien avec le professeur Yves Weinand, directeur de l'IBOIS (Laboratoire de construction en bois) à l'EPFL depuis 2004. Son approche du matériau se situe dans le prolongement du courant rationaliste qui cherche la vérité constructive d'un matériau, allant au-delà de la question purement formelle. À la fois ingénieur et architecte, il réunit dans son laboratoire des compétences complémentaires, qui permettent de développer des recherches reliant l'ingénierie à l'architecture. Poussées à leur paroxysme, les qualités inhérentes au matériau bois offrent tout un champ d'innovations et de nouvelles stratégies d'interventions, encore trop peu explorées jusque-là. Cette rencontre dresse aussi un bilan: quel est aujourd'hui l'état des recherches menées à l'IBOIS ?

Quels sont les potentiels de la construction en bois, mis en lumière par vos recherches ?

Yves Weinand: L'objectif, en reprenant la chaire de construction du bois en 2004, était de développer une nouvelle vision de l'utilisation de ce matériau traditionnel – le bois. En adoptant une approche pragmatique et scientifique, basée sur l'expérimentation, la mesure et le calcul, nous voulons démontrer que ce matériau permet des expressions architecturales très contemporaines et qu'il s'inscrit également dans l'ère du temps pour toutes autres sortes de raisons (économiques, écologiques, ...).

Les premières recherches s'intéressaient à la forme globale à optimiser, tout en ne s'arrêtant pas au formalisme pur, mais en gardant toujours à l'esprit la question de la performance du matériau bois dans la construction.

Les qualités statiques du bois sont amoindries par la présence des nœuds, c'est-à-dire des ruptures de fibres qui fragilisent tout système constructif. Nous avons suivi deux pistes pour optimiser l'usage de ce matériau dans la construction. La première tout d'abord observe le monde de l'aviation du début du XXe siècle qui n'utilisait que de petites pièces constructives. Cette petite échelle des éléments permettait de « choisir » soigneusement chaque morceau de bois, d'éliminer les nœuds, les défauts et toutes les fragilités, permettant ainsi d'être très performants. En deuxième lieu, Philibert de l'Orme, un architecte français de la Renaissance, a été une référence importante en proposant des systèmes en bois



basés sur le principe de la multiplication de petites pièces « simples » à réaliser. De leur assemblage final naissait la complexité et les qualités statiques de structures capables de franchir des grandes portées. L'utilisation de petits éléments non continus permet d'élaborer des formes qui franchissent de grandes portées, tout en n'utilisant que la partie la plus performante du matériau. Il n'est en effet pas nécessaire que chaque pièce atteigne sa limite de résistance: s'il y en a une qui cède, cela ne provoquera pas l'effondrement de la structure entière.

Les chercheurs à l'IBOIS ont également exploré la technologie des panneaux dérivés du bois, un produit qui existe depuis la fin des années 1990, mais qui n'avait jusque-là pas encore été envisagé comme un élément structurel. Ces panneaux sont déjà optimisés dans leur fabrication, puisque les défauts naturels sont réduits par la superposition de plusieurs couches croisées. On tend vers une performance maximale du matériau. L'IBOIS s'est concentré sur les calculs numériques de ces structures, constituées uniquement de panneaux, c'est-à-dire d'assemblages d'éléments plans. Ces structures, composées de surfaces relativement petites, peuvent adopter différentes formes avec une grande liberté.

L'IBOIS se dédie à des réalisations de bâtiments publics et institutionnels, et non de logements collectifs et individuels, pour lesquels une industrie et un savoir-faire du bois existent déjà. Nous avons pu mettre à jour des applications très intéressantes structurellement, pour des échelles assez importantes, qui pourraient s'appliquer à des programmes sportifs par exemple.

Quelle est la place de l'outil informatique dans vos recherches ?

Il est venu changer radicalement la donne. Pour de bonnes et de moins bonnes raisons. D'un côté, on peut dessiner plus vite, plus précisément et plus. Mais de l'autre, la perte progressive du dessin à la main risque à terme de rendre le champs de la construction plus abstrait.

L'outil informatique aide à gérer la subdivision de l'objet en facettes, c'est-à-dire en autant d'éléments plans en bois qu'il s'agira d'assembler ultérieurement, puis de tester différentes transformations virtuellement. Les modèles à l'échelle 1:1 nous permettent ensuite de tester les capacités réelles du matériau. De fait, il permet de générer des formes très complexes, telles que des structures plissées, inspirées de l'art du pli japonais, l'origami, pour lesquelles il n'y a théoriquement pas de chute, et donc pas de déchet.



Il est clair que lorsque nous parlons de fractales, de tressage, d'origami, etc. nous effectuons des transferts d'un domaine vers un autre. Mais l'objectif est de rester authentique dans ces transferts d'une échelle à une autre, tant au niveau du comportement du matériau, qu'à celui de l'interaction entre forme et structure. Ce que nous cherchons dans les structures tressées à l'échelle du bâtiment, ce sont les qualités d'ores et déjà exploitées dans la vannerie, c'est-à-dire le fait d'entrelacer les éléments qui confèrent une rigidité à l'ensemble. Nous ne nous contentons pas de « copier » l'image d'un objet tressé, nous cherchons à comprendre le comportement physique et mécanique du matériau, pour pouvoir le transposer à une autre échelle. Ainsi, au-delà de l'aspect très « sculptural » de certains modèles réalisés, le but est avant tout la recherche de cohérence et d'optimisation du matériau.

Ces nouvelles utilisations contemporaines du matériau bois impliquent-elles de nouveaux rapports entre ingénieurs et architectes ?

À l'IBOIS, nous nous intéressons aux notions de structure, forme et enveloppe. L'architecture et l'ingénierie sont intimement liées, pour plus de cohérence; l'enveloppe et la structure ne deviennent plus qu'un ensemble homogène. Un lien fort et pertinent entre forme et structure est cherché, tout en optimisant les qualités

structurelles du matériau bois. Lors de la conception, les rapports entre ingénieurs et architectes doivent être encore plus resserrés. Mais ensuite, lors de la mise en œuvre, les responsabilités « classiques » sont maintenues. C'est normal, car un architecte peut toujours adapter son avis; l'ingénieur non.

Quelle est l'actualité de l'IBOIS ?

L'IBOIS est actif dans la recherche fondamentale, c'est-à-dire que nous cherchons quelque chose qui n'existe pas encore. Nous ne cherchons pas une application particulière pour une architecture particulière. Ainsi, même si nous réalisons des prototypes, c'est dans le cadre de vraies questions de recherche, plus fondamentales. Par exemple, nous étudions le potentiel de transferts technologiques d'assemblages classiques, existants dans le mobilier traditionnel, à une autre échelle, sur un autre produit dérivé du bois, avec une autre manière de fabriquer. Ces recherches sont menées à l'aide d'un paramétrage numérique, puis des contrôles sont effectués sur le matériau réel, sur des modèles à l'échelle 1:1.

Nous avons démarré récemment un grand projet de recherche pour élaborer un système de coffrage destiné à des structures dans l'espace. Ces dernières peuvent être pliées, doublement courbées, etc. Il semble possible de les réaliser avec du béton fibré. Cette recherche a été présentée au Salon des Technologies et de l'Innovation de Lausanne, en mai 2014.

Nous nous investissons également dans un pôle de recherche national (PRN) en collaboration avec l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich (Matthias Kohler, ETHZ, Directeur du PRN) et l'Institut interdisciplinaire de recherche pour les sciences des matériaux et de développement des technologies (EMPA): le PRN Architecture et réalisation numérique – Processus de construction avancée. Le premier objectif de cette recherche d'envergure, menée par treize laboratoires, porte sur la réalisation numérique en tant qu'outil essentiel pour l'avenir de l'industrie du bâtiment. Le deuxième but visé repose sur la recherche d'une diminution de l'impact environnemental des procédés de construction, tant d'un point de vue national qu'international. Ainsi, ce pôle de recherche s'oriente vers des percées fondamentales dans les domaines de la conception et de la construction, en encourageant les applications avancées des technologies numériques de pointe en architecture, ainsi que des étapes de construction efficaces et écologiques. ❖

Marielle Savoyat, IBOIS

Brauen + Wälchli / Partager la même curiosité



Extension du Musée Olympique à Ouchy.

© M. SCHELENBURG

Entretien avec le bureau B+W, du nom des deux associés Doris Wälchli et Ueli Brauen, qui cumule les formations d'ingénieur et d'architecte en multipliant depuis les années 90 les réalisations pour des clients privés et publics en Suisse comme à l'étranger. Ce bureau, situé à Lausanne, qui a obtenu maints prix et distinctions pour son travail est devenu l'un des acteurs incontournables de la scène architecturale de notre pays.

Tout projet architectural est le résultat d'un processus qui associe une réflexion à l'échelle territoriale d'une part, et la mise en œuvre d'une structure, lié à un matériau spécifique d'autre part. Rationnel et intuitif, ce lien ne peut s'établir sans une intense collaboration entre l'ingénieur et l'architecte, car il requiert tout à la fois une culture de tradition humaniste et une connaissance technique. L'une nourrit l'autre. L'architecte propose une forme respectant l'espace, l'ingénieur s'y intéresse, en reconnaît le potentiel structurel, les idées surgissent, s'échangent, le secret étant sans doute d'avoir envie de trouver ensemble des solutions élégantes pour un contexte spécifique.

Afin que cette collaboration puisse naître, il faut se choisir mutuellement. Sinon, le projet risque d'être découpé en moments distincts, « je dessine, je calcule, je fabrique ce qui a été calculé », au risque de finalement créer la forme sans lien avec le lieu pour lequel elle est faite, sans échanges entre ceux qui contribuent à la faire et, dans ce sens, terriblement éloignée de l'idée culturelle du projet chère au bureau B+W.

Le projet d'agrandissement du Musée Olympique à Ouchy qui a été réalisé avec l'ingénieur et professeur

Aurelio Muttoni (Muttoni & Fernández) est l'un des exemples les plus intéressants d'une collaboration réussie entre les deux métiers. Le Musée avait été construit en 1993 par l'architecte Ramirez Vazquez. En 2007, le Comité international olympique (CIO) a lancé un mandat d'étude parallèle pour un agrandissement et une transformation, afin d'accueillir de nouvelles collections dans le bâtiment, et de valoriser sa terrasse extérieure. Les architectes ont proposé un espace couvert et modulable. Etant données les dimensions de la terrasse (30x80 mètres), il était nécessaire de réaliser une structure de très grande portée, mais légère, et perméable à la lumière naturelle.

La couverture du pavillon nordique de la Biennale à Venise de 1962, réalisé par Sverre Fehn, s'est imposée comme image de référence. Il s'agit d'une toiture constituée d'une superposition de lames de béton très fines. Le maillage étroit des lames assure tout à la fois la stabilité structurelle et un jeu de lumière zénithale. Elle a été soumise au professeur Aurelio Muttoni. D'autres auraient dit: « La coupure thermique n'est pas réalisable avec des lames aussi fines ». Aurelio Muttoni, lui, a commencé par vérifier la viabilité de l'avant-projet dans plusieurs maté-

riaux, pour finalement proposer d'utiliser le béton fibré à ultra-haute performance, le BFUHP, mieux adapté tant techniquement que financièrement.

Le processus de réalisation a été plus compliqué que prévu, car c'était la première fois en Suisse qu'on réalisait une structure porteuse aussi importante dans ce matériau relativement récent, le brevet ayant été déposé par une entreprise française en 1998 seulement. Les appels d'offres auprès de différentes entreprises suisses se sont révélés peu concluants. Finalement, la matière a été livrée par une entreprise française, la préfabrication des éléments réalisée par une entreprise de Neuchâtel, puis la mise en œuvre confiée à une entreprise de maçonnerie/béton armé. De plus, ce montage complexe a dû être élaboré avec un budget très serré pour lequel il était nécessaire de trouver des solutions à la fois économiques et efficaces. Tous les détails ont été dessinés par le bureau Muttoni & Fernández SA qui a su, pour chaque question, trouver des réponses non seulement parfaites techniquement, mais qui présentent toutes une grande qualité formelle. Autant le dire: ces détails sont des œuvres d'art. Quand on a affaire à des professionnels de cette qualité, c'est un cadeau.

De l'usage des outils informatiques

Avec certains programmes informatiques, il est actuellement possible d'imaginer des formes qui n'étaient pas envisageables auparavant. Ces outils révolutionnent aussi la mise en œuvre des projets, dans la construction robotique ou la préfabrication. Et si l'on partage l'idée du théoricien des médias Marshall McLuhan selon qui le médium est le message, c'est-à-dire que l'outil de communication influence ce que l'on dit et la manière de le dire, alors la question de l'informatique mise au service du projet d'architecture est très intéressante, car son utilisation va indéniablement influencer la production de notre cadre bâti.

Jusqu'à-là, la convention utilisée pour dessiner l'espace était la géométrie euclidienne, dont le grand principe est l'orthogonalité, et qui procède essentiellement par agrégation de formes rationnelles: sphère, cube, parallélépipède, etc. Avec l'informatique, les possibilités deviennent plus complexes et s'envisagent d'entrée de jeu dans un espace non plus à deux, mais à trois dimensions. L'agrégation des formes est, elle aussi, liée à d'autres règles que celles de la géométrie euclidienne, et s'approche certainement de la capacité que la nature a de produire des



© C. WIDMER

« En ce moment, nous sommes dans une période où l'outil de création est en avance sur le savoir-faire nécessaire pour réaliser cette création. Nous ne sommes pas toujours en mesure de mettre en œuvre ce que nous sommes capables de créer. »

structures optimisées, comme l'être humain par exemple, constitué par la multiplication et l'agrégation de cellules spécifiques pour un organe, un doigt, une jambe, etc. Cependant, si le potentiel de création formelle semble infini, le passage entre une forme générée par ordinateur et sa traduction dans une structure porteuse ou dans un bâtiment à grande échelle pose encore des problèmes. Actuellement, les logiciels anticipent les techniques disponibles pour réaliser des formes architecturales qu'ils savent dessiner.

B+W a vécu cela à travers un projet d'escalier pour le siège lausannois de l'assurance CSS (Lausanne 2012-2013). Cet escalier évoque une plante trilobée sur trois niveaux; chaque volée de forme ovoïde se déployant dans une position légèrement décalée, l'escalier vu en plan présente la forme d'un trèfle. La structure et le balancement de cet objet ont été calculés et dessinés par ordinateur. C'est lors de la phase de réalisation, lorsqu'il a fallu trouver le professionnel qui allait construire la structure métallique, que le bureau a mesuré combien il était difficile de réaliser ce que l'outil informatique avait permis de dessiner avec une certaine aisance.

La réalisation des nouvelles formes générées par les outils informatiques pose une autre question, à savoir le coût de ces opérations. Dans des réalisations comme la Fondation Louis Vuitton de Frank Gehry à Paris, où chaque pièce est unique, les budgets sont sans aucune mesure avec la réalité de la production architecturale moyenne. Ce ne sera qu'à partir du moment où les formes complexes créées par ordinateur pourront être réalisées pour le plus grand nombre, qu'une étape aura été franchie et que cette discipline pourra amener un véritable développement pour l'exercice de nos professions. Malheureusement, la dérive de nombreux projets d'architecture qui, actuellement, tendent vers un formalisme éclectique, risque de pervertir la question et de brouiller les acquisitions extraordinaires promises par l'outil informatique.

Brauen + Wälchli travaillent encore en maquette. Mais comme ils apprécient le savoir faire de leurs jeunes collaborateurs, notamment en matière de dessins paramétriques, ils utilisent l'outil informatique soit pour vérifier ou contrôler une forme, soit, et ceci de plus en plus, sur des projets trop complexes pour être vérifiés uniquement par la maquette. « Cependant, on ne doit pas évacuer la question du contexte qui, elle, reste essentielle. L'intérêt que l'on doit avoir pour le lieu est le moteur d'une remise en question permanente de la capacité à projeter. Là réside finalement le défi: rester attentifs, ouverts, tout au long de notre carrière. Non seulement entre ingénieurs et architectes, mais également avec un autre acteur incontournable du processus: le client, public ou privé et quel que soit le budget qu'il met à disposition. Ce doit être là aussi l'occasion d'une collaboration et d'un dialogue. Si l'on n'accepte pas l'idée d'aller plus loin que ce que l'on avait envisagé au départ, cela ne sert à rien. La clef, c'est de partager la même curiosité. »

Propos recueillis par Marie-Christophe Ruata-Arn

La création à l'heure de la culture de l'architecture digitale

Parlons-nous nouveaux outils ou nouvelle création ? La question mérite d'être posée.

Regardons ce qui, il y a une quinzaine d'années, passait pour être un must en matière de création, d'invention formelle: le Musée Guggenheim de Frank Gehry à Bilbao. Vous ôtez la peau en écailles de titane, vous découvrez une structure métallique plutôt traditionnelle, que l'outil informatique a certes permis de modéliser, de discrétiser, mais qui n'innove guère au niveau du matériau, tant en matière de profilé que d'assemblage. Sur le chantier, in vivo, que s'est-il passé? Curieusement, très peu de photos ou de documents témoignent de ce moment important qui est la mise en œuvre. Pourquoi? Parce que, certainement, c'était un peu du bricolage. Gehry a mobilisé tout un arsenal informatique pour la mise en forme du projet, mais au niveau de la mise en œuvre, on est resté dans le domaine des savoir-faire traditionnels.

Prenons l'exemple du béton fibré ultra haute performance (BFUPH), dont un architecte comme Rudy Ricciotti fait un usage immodéré. Le Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (MUCEM) ouvert en 2013 à Marseille) par exemple, est très spectaculaire, mais c'est de l'ornementation pure. Une vaste peau tricotée autour d'un cube... de l'ornement, encore. Le principe structurel du bâtiment reste un système poteau/poutre traditionnel, même s'il torsade ici ou là ses poteaux soit disant en «os de poulet». La pensée structurelle reste basique.

Le savoir-faire relatif à ce nouveau matériau n'existe pas vraiment. Il reste dix fois plus cher que le béton traditionnel et pratiquement impossible à mettre en œuvre sur un chantier standard. Il faut arriver à un mélange totalement équilibré, homogène, entre la masse de ce ciment déjà très particulier (on ne l'enfourne pas dans la bétonnière à la pelle!) et les micro-armatures qui le composent. C'est très complexe à réaliser. On doit impérativement préfabriquer les éléments, voire les précontraindre dans des ateliers spécialisés. Ceci signifie qu'on ne peut utiliser ce matériau que pour des applications restreintes, très particulières, et que cela implique un travail poussé en amont, quant au transport, ou au contrôle des assemblages entre éléments par exemple.

Aujourd'hui aussi, la recherche sur les matériaux reste très active et il y a pléthore de brevets enregistrés. Lafarge dépose des centaines de brevets par an. On a ainsi cherché à améliorer la résistance des bétons par

des adjonction de cendres volantes. Les cimentiers travaillent également sur la plasticité, sur la fluidité, avec les bétons autoplaçants... Plus encore: comme la fabrication du ciment est source d'émission de gaz à effet de serre (on brûle une tonne de combustible pour produire une tonne de ciment), on cherche le moyen de le produire à basse température en essayant de comprendre comment les poules produisent la coquille d'œuf afin de les imiter!

Il n'y a pas que le béton ou le métal. Il y a encore d'autres matériaux, comme le verre structurel, dont est fait l'Apple Center à New York, ou avec lequel un architecte a proposé récemment de constituer une structure de couverture de 18 mètres de portée dans son projet pour le concours du Musée d'ethnographie de Genève (MEG) à la place Sturm. Il y a le Corian, matériau de revêtement courant pour les cuisines, et que l'on commence à utiliser en façade; ou la fibre de carbone, très utilisée dans l'architecture navale, et qui sert au renforcement de la structure dans la construction. Mais le problème du bâtiment, c'est son échelle. Il nécessite de fait une grande quantité de matériau, ce qui suppose un niveau de production industriel important. Ainsi, les matériaux par trop sophistiqués ne peuvent guère être utilisés dans le gros œuvre.

Qu'avons-nous fait de notre potentiel d'invention? De notre capacité à chercher, à bricoler, comme Heinz Isler (concepteur du pavillon Sicli à Genève) qui, dans les années 70, accrochait, la nuit, en hiver des draps mouillés dans son jardin pour voir, au petit matin, quelles formes le gel leur avait conféré. Aujourd'hui, les ingénieurs font des calculs. Font-ils des expériences dans leur jardin, dans leur garage? Le garage! C'est l'apanage des informaticiens en herbe (Bill Gates, Steve Jobs)! Pas des ingénieurs-structure...

De nos jours on a les outils pour faire la forme, mais il n'y a ni la matière, ni le savoir-faire. Il existe pourtant un potentiel fantastique. Nous ne sommes plus dans la même conception du progrès tel qu'on le valorisait au XIX^e siècle. Il n'y a plus le même optimisme. Au contraire, le progrès est souvent taxé de connotations négatives: risques pour l'environnement, inadaptation sociale, etc. Les maîtres mots aujourd'hui sont «Durabilité», «Flexibilité», «Economie d'Énergie». Potentiellement, nous sommes plutôt dans une période où l'on améliore l'existant. Même connectée, informatisée, notre époque est plus nostalgique qu'il n'y paraît... ❖

Cyrille Simonnet,
Architecte et historien de l'art

En conclusion



La question des relations entre ingénieurs et architectes a déjà été débattue à maintes reprises. La position des uns par rapport aux autres a de nombreuses fois évolué, en fonction de l'époque, du mode de faire et des sensibilités culturelles du moment. Ce dossier nous a permis d'apporter un éclairage sur la situation actuelle.

Les avis peuvent diverger sur l'impact que peuvent avoir les nouvelles technologies ou l'informatique sur les créations architecturales et structurelles. L'interdépendance et la prédominance des ingénieurs vis-à-vis des architectes (ou inversement) peut également être perçue de diverses manières. Par contre, à la lecture de tous ces points de vue, un fil conducteur se dégage. Malgré les relations ambivalentes qu'ont pu entretenir les ingénieurs et les architectes, il est indéniable qu'aujourd'hui tout projet a besoin des compétences de multiples intervenants pour voir le jour. A notre époque où la construction s'est considérablement complexifiée, la collaboration dans la création est devenue incontournable. Il n'y a plus de projets où les compétences des ingénieurs et des architectes ne sont pas obligatoirement indispensables et intimement liées. Il ne s'agit d'ailleurs pas que des ingénieurs civils et des architectes, mais également de tous les autres spécialistes de la construction: ingénieurs CVSE, acousticiens, éclairagistes, paysagistes, urbanistes, ingénieurs trafic, entre autres, et ne les oublions pas, les

Maîtres d'ouvrages. Et c'est bien comme le souligne Jean-Pierre Cêtre, par «la conjonction des savoirs» et non «la division des tâches» que les projets complexes de notre époque peuvent être conçus.

D'ailleurs, cette interdépendance des métiers, ne peut fonctionner que lorsque la rencontre de personnes porte ses fruits. Car ingénieurs et architectes créent certainement de façons plus abouties lorsqu'ils parviennent à mettre leurs compétences au profit des idées de l'autre. Les plus grandes réussites sont souvent nées de la rencontre magnifiée de personnes. Brasília a vu le jour en quelques années grâce à la rencontre du président Kubicek et d'Oscar Niemeyer. Les grandes œuvres d'Oscar Niemeyer n'auraient pas été possibles sans le travail avec son ingénieur Joaquim Cardoso. Le musée Guggenheim de New York n'aurait pas existé sans la rencontre de Frank Lloyd Wright et de Solomon R. Guggenheim. Et pour réussir ce que Brauen + Wälchli appelle «le secret de trouver ensemble des choses qui n'existent pas encore» il faut plus qu'une adjonction de compétences; il faut que les personnes s'écoutent et se rencontrent pour transcender leurs compétences.

Au fil des années les relations ingénieurs et architectes ont évolué, mais aujourd'hui, plus que jamais, leur interdépendance est devenue une évidence inéluctable. Et c'est bien cette interdépendance qui permettra de concevoir les ouvrages de demain. Quelle que soient leurs relations futures. ❖

François de Marignac