

Interface 31

Interface, numéro 31 | Revue éditée par la FAI | Juin 2020



POUR LA BONNE FORME
Ingénierie structurale et
usage raisonné des ressources



© PIERRE BELLABOCCO

Model Room
In Real life,
rétrospective
Olafur Eliasson.
Tate Modern,
Londres (2019).

4 **Éditorial**
Trois temps forts

Dossier
POUR LA BONNE FORME

9 **Introduction**
Pour la bonne forme

10 **Structural Xploration Lab**
A la recherche de la bonne forme pour construire et déconstruire mieux

16 **Ingénierie structurale**
Quelques références

18 **Block Research Group**
La résistance par la forme : prototypes pour un monde à venir

26 **Réflexion**
L'ingénieur et l'histoire

29 **Conclusion**
Hier, aujourd'hui, demain

30 **Ingénierie structurale**
Créativité, rationalité et innovation

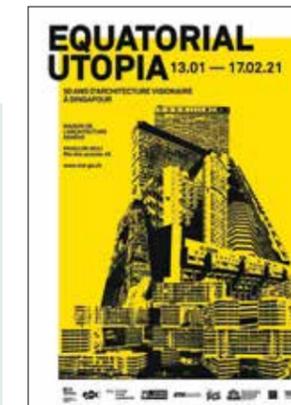
32 **Atelier FAI-OPS**
Autorisations de construire

33 **Commission aménagement et urbanisme**
Des suites logiques de la mise en route du Léman Express

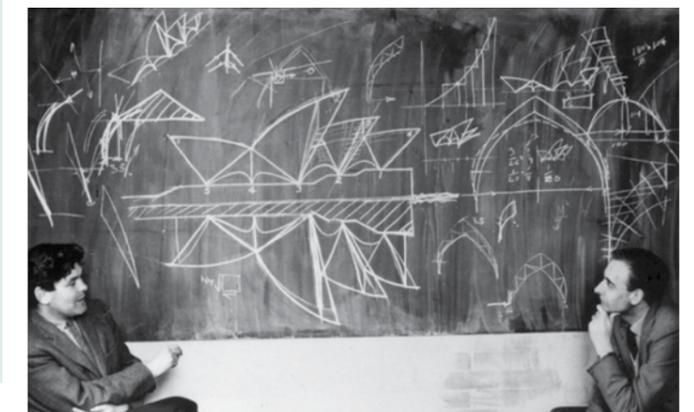
Associations

- 34 FAS
- 34 AGA
- 35 SIA
- 36 AGG
- 37 AGI

37 **Maison de l'architecture**
Rentrée d'automne



37
Maison de
l'architecture



6-31
Dossier
Pour
la bonne
forme



35
Saga
médiatique
autour
du métier
d'ingénieur



ERRATUM → Interface 30

Dans notre dossier consacré à la mobilité dans notre canton, une erreur s'est glissée à la page 14. Mme Hornung-Sokoup est Présidente du Conseil des TPG, et c'est M. Denis Berdoz qui est en est le Directeur général. Avec les excuses du Comité de rédaction aux intéressés.

Repères

3 temps forts, très forts, trop forts, en 1 an

Lorsque vous lirez ces lignes, je ne serai plus la présidente de la FAI mais seulement sa past-présidente et ce, depuis le 11 juin dernier. Cet édit est mon dernier, mais je fais le choix de ne pas vous lister les nombreuses actions qui ont été menées par la FAI durant les deux années de ma présidence. Non, cet édit sera l'occasion pour moi de revenir sur les trois temps forts qui ont marqué les douze mois qui se sont écoulés depuis la dernière assemblée des délégués de notre Fédération, les douze mois qui se sont écoulés depuis le 5 juin 2019. Trois temps forts qui auront impacté violemment et fortement nos professions et nos vies.

1-OCEN et simplification des procédures d'autorisation de construire

Le 12 juin 2019, l'entrée en vigueur du nouveau règlement d'application de la Loi sur l'énergie (L2 30.01; REn), est annoncée à tous via une simple newsletter de l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) le 13 juin 2019.

La FAI a immédiatement réagi en écrivant au Conseiller d'Etat en charge du Département du Territoire, Monsieur Antonio Hodggers, ainsi qu'au directeur général de l'OCEN. Les demandes de la FAI ont été entendues. Une période transitoire a été mise en place jusqu'au 1^{er} janvier 2020 et un groupe de travail FAI-OCEN-OAC a été constitué dans le but de modifier ce règlement d'application. Ce travail est en cours.

2-Moratoire sur la densification de la zone villas

Le 28 novembre 2019, Monsieur le Conseiller d'Etat Antonio Hodggers a décidé de geler avec effet immédiat la densification de la zone villas en n'accordant plus de dérogation à la densité comme le prévoit l'article 59 LCI.

Ce gel, sans concertation et sans période transitoire, a sonné comme un véritable couperet pour un nombre important de mandataires qui étaient en train de finaliser des projets en vue de la dépose d'une demande d'autorisation de construire. Ces derniers se sont retrouvés sans travail, voire, pire, sans rémunération pour les prestations déjà réalisées.

Ce gel a eu des impacts financiers considérables sur les divers acteurs du secteur du bâtiment, dont les mandataires agissant en amont de l'acte de bâtir.

Là aussi, la réaction de la FAI fut immédiate pour aboutir à une séance de travail avec Monsieur le Conseiller d'Etat Antonio Hodggers, la directrice générale de l'Office des autorisations de construire (OAC), Madame Dufresne, et le directeur général de l'Office de l'urbanisme (OU), Monsieur Ferretti.

La FAI a obtenu le droit de participer aux travaux visant à la création de nouveaux outils permettant de juger les demandes de dérogation en zone 5 et ainsi de lever ce gel. Ces travaux ont été confiés à l'OU-DPC (Direction de la Planification Cantonale). Le travail a démarré et va bien évidemment se poursuivre.

3-Covid-19 ...

Il y a tant de choses à écrire sur ce point qu'il est difficile de vous faire l'historique de tout ce qui s'est passé, en si peu de temps finalement.

La FAI a été immédiatement présente sur tous les fronts (courriers et courriels au Conseil d'Etat, téléphones, communications,...) pour défendre vos intérêts mais aussi pour vous venir en aide (RHT pour les patrons, les indépendants, retour au travail de nos partenaires étatiques,...).

La FAI a été présente à vos côtés durant toutes ces semaines pour preuve les très nombreuses communications que vous avez reçues de notre secrétariat. Communications sur l'urgence de la situation, communications sur l'évolution des mesures étatiques et fédérales (arrêtés, ordonnances,...) mais aussi réponses téléphoniques à vos très nombreux appels pour vous guider dans vos démarches (RHT, APG,...). Le secrétariat de la FAI a effectué un travail remarquable et je remercie vivement Mesdames Larissa Robinson et Emilie Grassineau pour cela!

«Le gel de la densification de la zone villas, sans concertation et sans période transitoire, a sonné comme un véritable couperet pour un nombre important de mandataires qui étaient en train de finaliser des projets en vue de la dépose d'une demande d'autorisation de construire. Ces derniers se sont retrouvés sans travail, voire, pire, sans rémunération pour les prestations déjà réalisées.»



Nadine Couderq,
présidente de la FAI

En conclusion

Durant les longues semaines qui viennent de s'écouler, les médias et les réseaux sociaux n'ont cessé de relayer les élans de solidarité et de générosité dont les individus ont fait preuve partout dans le monde, de proclamer le retour de cette grande part d'humanité qui est en chacun de nous.

Pour ma part, j'ai envie de dire que c'est dans ces moments-là que la nature profonde de chacun se révèle. Il y a ceux qui font face, qui posent, qui aident, qui affrontent la réalité et qui avancent.

Mais il y a aussi ceux qui, lorsqu'ils se sentent en danger, préfèrent s'en prendre aux autres car c'est plus facile pour eux; c'est le défouloir dont ils ont besoin pour supporter cette situation si injuste. Alors, il est tellement facile d'interpeller la présidente de la FAI et de s'en prendre à elle. Que fait-elle? A quoi occupe-t-elle ses journées? A quoi nous sert-elle? Peut-elle nous fournir une preuve de son travail? Elle est complètement déconnectée du monde réel et des répercussions de cette pandémie mondiale sur nos vies professionnelles!!

Alors, à tout ceux-là, je veux répondre que cette présidente de la FAI, cette mère de famille et épouse, cette cheffe d'entreprise n'était nullement déconnectée.

Cette présidente s'est investie et a assumé de son mieux et BÉNÉVOLEMENT toute cette charge de travail durant deux années et n'a rien lâché.

Je quitte la présidence de la FAI avec un peu d'amertume en doutant parfois du bien-fondé de tant d'énergie et d'enthousiasme.

C'est peut-être pour cela que nous sommes si peu nombreux à nous investir avec autant de conviction dans le monde associatif pour défendre les intérêts de tous?

Il n'est toutefois pas question d'arrêter notre travail en donnant raison à ces esprits grognons qui, bienheureusement, ne constituent qu'une minorité de nos membres. J'encourage donc vivement et chaleureusement notre nouveau président à reprendre vaillamment et brillamment le flambeau avec les valeurs qui ont toujours animé la FAI. □

Dossier

POUR LA BONNE FORME

Ingénierie structurale et
usage raisonné des ressources

Dossier préparé par Marcio Bichsel et Marie-Christophe Ruata-Arn.

Prototype 1:1 du toit du NEST HiLo
construit par le Block Research Group (BRG)
sur le campus de l'EPFL en 2017.

Peter Rice et
Geoffrey Booth
Opéra de Sidney, 1958.



Sommaire

Introduction	9
Structural Xploration Lab A la recherche de la bonne forme pour construire et déconstruire mieux	10
Portraits Six ingénieurs de référence	16
Block Research Group La résistance par la forme : prototypes pour un monde à venir	18
Réflexions L'ingénieur et l'histoire	26
Conclusion	29
Ingénierie structurale Créativité, rationalité et innovation	30

Parler d'ingénierie structurale, c'est à la fois interroger la forme et le processus de travail, les choix constructifs tout autant que la place respective de l'ingénieur et de l'architecte.

Introduction

Pour la bonne forme

Marie-Christophe Ruata-Arn

Depuis bientôt deux siècles, les professions d'architecte et d'ingénieur ont vu leur rôle codifié, parfois figé, dans la majeure partie de leurs échanges professionnels. L'un dessine la forme, puis l'autre la calcule et la rationalise: la partition ainsi réglée est celle que l'on continue à apprendre dans bon nombre de nos écoles et de nos académies.

Ajoutons à ce tableau brossé à grands traits, le rôle spécifique de l'ingénieur des années cinquante auquel on demandait d'optimiser la matière et qui, dès les années quatre-vingt, devant le renchérissement de la main d'œuvre et le développement des normes de sécurité, en est venu à proposer des solutions où l'épaisseur de la matière était toujours plus conséquente. Depuis la fin du XX^e siècle, les problèmes de « développement durable » se sont ajoutés à d'autres règles de sécurité: cette conjonction produit désormais des détails constructifs et des dispositifs que la Clémentine de *L'Arrache-cœur* de Boris Vian ne renierait pas.

Mais l'urgence climatique et les transformations sociales ont parallèlement ouvert d'autres chapitres dans les champs de la réflexion et de la recherche. À la rivalité supposée ou avérée du binôme architecte-ingénieur, d'aucuns ont proposé non seulement de reconsidérer ces rôles, mais aussi d'interroger le processus tout entier.

Dans ce nouveau monde qui utilise d'une manière particulièrement performante et rafraîchissante les avancées de l'outil informatique et de la création numérique, nous avons envie d'en cerner l'un des aspects, en rencontrant deux représentants de la recherche en matière d'ingénierie structurale qui exercent en Suisse.

Des ingénieurs-architectes

Le professeur Corentin Fivet à l'École polytechnique fédérale de Lausanne et le professeur Philippe Block à l'École polytechnique fédérale de Zurich nous ont ouvert les portes de leurs laboratoires. Ce dossier s'articule principalement autour des entretiens qu'ils nous ont accordés.

Ces ingénieurs-architectes, une double formation dispensée en Belgique, sont chacun à la tête d'une équipe de chercheurs avec laquelle ils élaborent de nouveaux processus et des outils de projets destinés, à terme, à des programmes de construction d'envergure. Si leur analyse de la situation mondiale concorde, les outils de projets qu'ils proposent présentent plusieurs variations; cependant, tous deux soulignent l'importance de l'analyse des modèles anciens et utilisent la statique graphique, une méthode de résolution des calculs par le dessin, héritée du XIX^e siècle et revitalisée ces dernières décennies grâce aux progrès de l'informatique.

C'est cette méthode que plébiscite également Jürg Conzett, ingénieur civil et associé, à Coire, du bureau Conzett Bronzini Partner AG. Dans sa contribution qui complète le dossier, ce praticien auquel on doit nombre de réalisations remarquables, illustre notamment ce que l'analyse du passé, non de manière nostalgique, mais consciente et rationnelle, apporte d'essentiel aux projets.

Des recherches à partager

Savoir dans quelles conditions les inventions apparaissent et, simultanément, quels fondamentaux resurgissent régulièrement dans l'œuvre et la société humaine, ne sont pas des questions si absurdes qu'il y paraisse. Cela dans nos domaines professionnels bien entendu, mais pas seulement. Nous pourrions les partager, par exemple, avec l'historien médiéviste Jean Gimpel¹ qui situe de façon documentée la première révolution industrielle au XI^e siècle et pose la question du cycle des civilisations.

Lorsque nous regardons, aujourd'hui, les questions qui nouent les dernières réalisations et l'ensemble des recherches en matière d'ingénierie structurale, l'intérêt d'une réflexion ouverte sur la question se pose tout autant. Nous nous contenterons de parler ici d'« apports », d'« influences » et peut-être de « rebondissements » pour ce dossier rédigé à un moment bien particulier pour nos métiers et nos vies professionnelles. □

¹ Jean Gimpel, *La Révolution industrielle au Moyen Âge*, Paris, éditions du Seuil, 1975

Structural Xploration Lab

À la recherche de la bonne forme pour construire et déconstruire mieux

Situé à Fribourg, le Structural Xploration Lab (SXL) de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) développe des recherches qui proposent d'établir et de renforcer un lien organique entre le champ traditionnel de l'architecture et celui de l'ingénierie, soit de créer des espaces en gérant l'ensemble des opérations qui permettent de concevoir et de dessiner une structure cohérente au projet. De fait, si le SXL regroupe des chercheurs ingénieurs civils ou architectes, la majorité, et parmi eux le professeur Corentin Fivet qui le dirige, possède une formation conjointe d'ingénieur et d'architecte.

Propos recueillis par Marcio Bichsel et Marie-Christophe Ruata-Arn

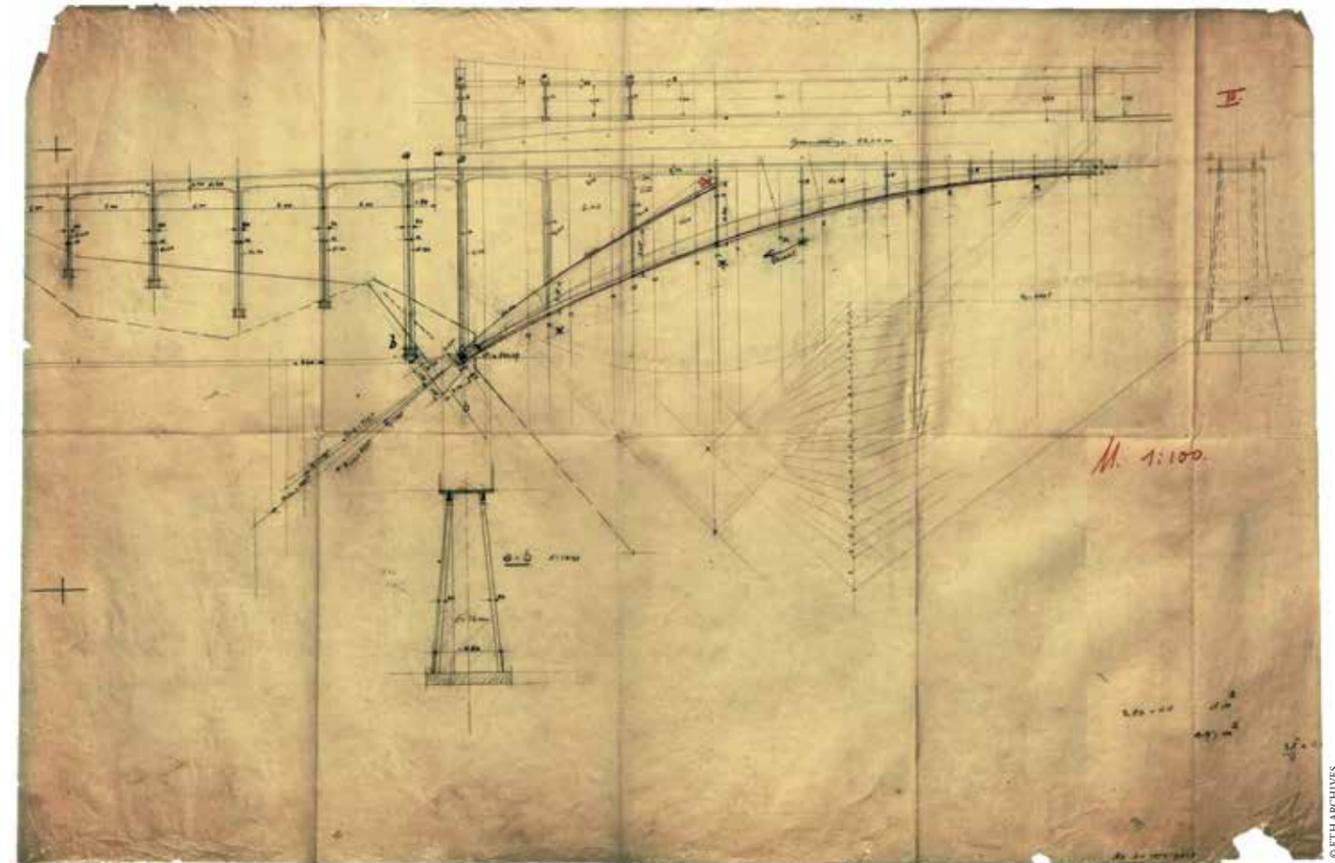
Structure et espace : contenant et contenu

Les travaux du SXL¹ s'articulent autour de recherches liées à la logique structurale, soit l'équilibre d'une structure, la cohérence de ses composantes et l'efficacité d'un assemblage. Les liens avec l'architecture sont immédiats : lorsque l'on trouve la corrélation entre un matériau, les efforts que celui-ci est en mesure d'assumer et un projet proposé, alors la forme de la structure produit un ou plusieurs espaces spécifiques. Au fond, comme le souligne le professeur Fivet : « Dès lors que l'on travaille sur les systèmes structuraux, on travaille simultanément le contenant et le contenu du lieu architectural ».

En proposant en outre de placer cette phase de conception de la structure dans les premiers moments d'un projet d'architecture, l'approche reverse un paradigme : celui des étapes de la collaboration entre l'ingénieur et l'architecte. Il ne s'agit plus de donner à l'ingénieur le seul rôle de réalisateur – vérificateur du dimensionnement – d'un espace conçu préalablement, mais de le faire participer, dès les premiers instants, à la formalisation d'un programme, en proposant toute une série de structures potentiellement viables et génératrices d'autant de variations spatiales. Une diversité enrichissante, qui permet de trouver la « meilleure réponse structurelle possible », d'être attentif à des questions budgétaires, d'assumer un propos symbolique, ou de répondre aux préoccupations actuelles en matière de développement durable. Cette attention à la structure développée au SXL prélude à toute une série de travaux autres, de la construction à la déconstruction.

À la recherche de « la bonne forme »

À l'instar des chercheurs et des praticiens que nous avons rencontrés pour élaborer ce dossier, une grande partie des travaux dirigés par le professeur Corentin Fivet réactualise l'image et l'usage de la « statique graphique ». Fruit de plusieurs recherches menées parallèlement à travers l'Europe au XIX^e siècle, cette méthode à la croisée de la géométrie descriptive et de la mécanique propose



Pont de Salginatobel
Robert Maillart (1928)

des règles pour comprendre et générer par le dessin les équilibres de forces dans les structures, indépendamment du matériau avec lequel elles seront construites.

Les formes créées « par » la statique graphique répondent aux objectifs vitruviens de stabilité, d'efficacité et d'un équilibre des proportions apparenté à la *venustas*.

La statique graphique a connu un ferveur chez les ingénieurs, mais aussi chez certains architectes du XIX^e siècle, période où la question de la légitimité de la forme et de la crise du sens étaient vives. Son usage demeurera encore important jusque dans les premières décennies du XX^e siècle. Citons une esquisse d'Antoni Gaudí pour le parc Güell, la tour Eiffel, les églises maçonnes de Luis Moya Bianco, ou encore le projet du pont de Salginatobel de Robert Maillart élaboré grâce à cette méthode où chaque calcul est dessiné, et pour lequel l'ingénieur suisse a utilisé une unique feuille de papier. Ce document étonnant sur lequel sont visibles, sous formes de traces plus ou moins effacées, toutes les tentatives et les repentirs qui ont prélué au projet final, a été analysé par les professeurs Corentin Fivet et Denis Zastavni dans un article paru en 2012.¹

L'intérêt pour la statique graphique décline après-guerre. On lui préférera des méthodes d'analyse numérique qui, outre l'équilibre statique, permettent également de calculer d'autres données telles que la déflexion ou le comportement dynamique des structures. Intéressants pour l'analyse, ces outils s'avèrent néanmoins réducteurs pour la conception. Leur usage requiert de connaître au préalable non seulement la matière utilisée dans le projet final et ses propriétés mécaniques mais aussi la géométrie de la structure. Des choix qui ne laissent a priori que peu, voire pas, de place pour des variations ultérieures.

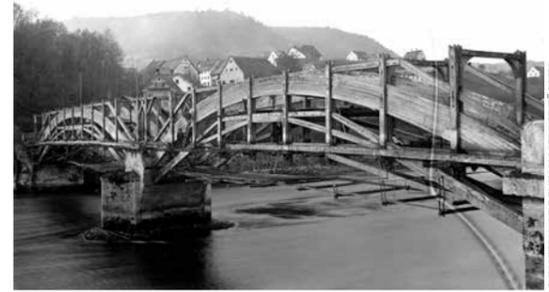
Nourrie par les chercheurs et les praticiens qui s'intéressent à l'exploration des formes structurales, la statique graphique va connaître un regain d'intérêt au début du XXI^e siècle et bénéficier du développement des outils informatiques et des interfaces graphiques.

Traité désormais de manière interactive, la méthode constitue un allié précieux des travaux du SXL.

1. Robert Maillart's Key Methods From the Salginatobel Bridge Design Process (1928), <https://infoscience.epfl.ch/record/218819>



© F. HEGI / ZENTRALBIBLIOTHEK ZÜRICH



© KANTONALE DENKMALPFLEGE ZÜRICH



© KANTONALE DENKMALPFLEGE ZÜRICH

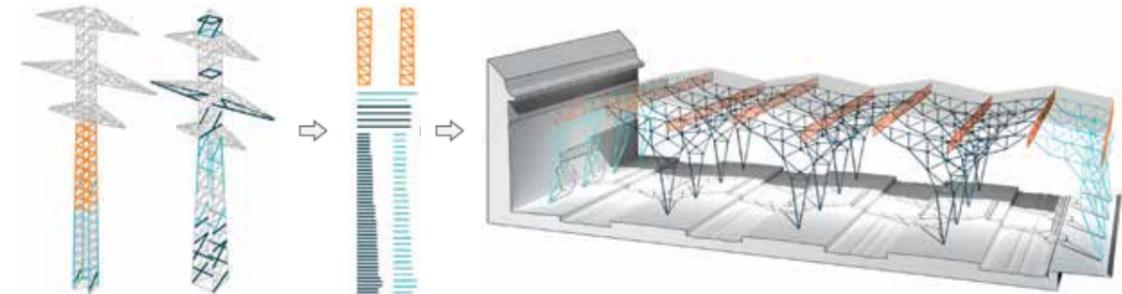


© JAN BRÜTTING / SXL-EPEL

Eglisau
Le réemploi à une longue histoire, riche de réalisations. Ici, à Eglisau dans le canton de Zurich, les éléments d'un pont en bois couvert, édifié en 1810, ont été récupérés en 1920 pour construire une grange à Rheinau, encore sur pied aujourd'hui.



© JAN BRÜTTING, JOSEPH DESRUELLE / SXL-EPEL



Train Station
«Form-Finding» d'une toiture pour la gare de Lausanne à partir d'éléments récupérés de pylônes électrique (Joseph Desruelle et SXL, travail de master).

«Nous conduisons plusieurs travaux qui examinent comment récupérer et intégrer des éléments structurels dans de nouvelles constructions et s'inscrire ainsi dans une économie circulaire.»

barre. Un travail colossal pour cet objectif de réutilisation des composantes. Dans ce cas: le réemploi est-il réellement intéressant économiquement?

«Oui» répond le professeur Fivet qui argumente, études à l'appui: «Si l'on compare le réemploi et la production de nouveaux composants, en acier pour l'exemple, avec un haut pourcentage de fer recyclé, le réemploi implique bien sûr une masse plus grande: la structure est moins optimisée; les sections sont plus grosses parce qu'elles sont données; on ne peut pas vraiment les choisir. Pour un treillis, il faut compter 50% de matière en plus si on le produit à partir d'éléments réutilisés, suivant le stock disponible. En revanche, le réemploi diminue la dépense d'énergie de 40%. La question du coût énergétique du transport des éléments à réutiliser n'a finalement que très peu d'impact, dans un rayon de 2'000 km. De fait, les économies réalisées avec le réemploi sont meilleures que celles générées par le recyclage.»

Sachant que les démolitions sont planifiées longtemps à l'avance, la systématisation du réemploi pourrait faire sens dans un futur proche. L'idée d'une banque de données informatisée mise à disposition des professionnels s'élabore. Elle viendrait à point nommé s'ajouter à des expériences de cartographie des stocks de matériaux de récupération, tel le projet *Opalis* (www.opalis.eu/fr) élaboré et suivi par la coopérative d'architectes Rotor en Belgique.

Réemployer le «gisement urbain», selon l'expression consacrée, renverse alors les données initiales du projet. Il s'agit, cette fois, de trouver comment créer de nouveaux systèmes structurels en minimisant la matière et en dessinant la forme la plus adaptée à l'usage, mais à partir d'un stock donné. L'approche est opposée à la chronologie traditionnelle visant à définir les géométries et matériaux des éléments après que le système structurel soit établi. De nouveaux outils de conception sont donc nécessaires. Par ailleurs, le stock d'éléments à réemployer a un historique inconnu et il conviendra de diminuer la capacité portante des éléments réemployés et de les mettre en œuvre dans des configurations mécaniquement moins exigeantes.

En amont, apprendre à démonter les structures sans détériorer des éléments qui pourraient être utiles dans une future construction est un savoir indispensable. L'équipe du professeur Fivet a notamment suivi un travail de master proposant une nouvelle toiture pour la gare de Lausanne élaborée à partir des éléments d'une ligne électrique en Valais qui sera démantelée dans quelques années.

Le stock est constitué de deux cents pylônes de hauteurs différentes. Ce sont au final 14'000 éléments répartis en 232 familles différentes qui seront étudiés en vue d'être réutilisés pour dessiner une nouvelle structure. La recherche s'appuie sur le fait que les pylônes seront démolis, pièce par pièce, les boulons cassés un à un, laissant des trous dont la taille dimensionne la résistance de chaque

Exploration structurelle et nouveaux outils de conception

Un volet des recherches du Structural Xploration Lab se penche sur l'exploration structurelle. Il ne s'agit pas de rendre des expertises rapides ou de suggérer des solutions immédiates, mais de jongler avec les formes et les présupposés du projet pour explorer différentes alternatives possibles, et ce, dès les toutes premières étapes du travail.

L'équipe du SXL parle même «d'exploration de conception» et élabore des analyses complètes des projets constructifs, afin de trouver la ou les meilleures formes structurales qui répondent à la demande de départ. Le processus de recherche est optimisé en intégrant immédiatement des questions liées à la géométrie, mais aussi à la typologie et à la topologie de la structure. Ce qui permet ensuite de la détailler, d'en dimensionner chacun des éléments, et de proposer un matériau de mise en œuvre, sans remettre en cause le choix global qui aura été fait.

En automatisant une partie du dessin avec une rapidité inégalée, l'outil informatique permet d'explorer le champ des possibilités de manière pertinente et complète, tout en révélant que la solution optimale n'est jamais unique mais bien plurielle. Une structure performante, stable, équilibrée peut assumer topologiquement et géométriquement des formes très différentes.

«Explorer» le champ des possibilités, pour le professeur Fivet, c'est donc vouloir trouver non pas une, mais dix solutions, toutes aussi performantes les unes que les autres, mais différentes spatialement, géométriquement, ou encore constructivement. Le but du jeu étant de permettre au concepteur de choisir celle qu'il développera.

Construire, déconstruire, reconstruire

Cet intérêt pour la conception des structures a amené le professeur Fivet à développer un autre axe de recherche, celui du «réemploi».

L'industrie du bâtiment représente 40% de la demande énergétique mondiale. Et si l'on a beaucoup œuvré à la réduction des énergies opérationnelles, notamment avec l'usage de panneaux photovoltaïques ou la mise en place d'isolations plus performantes, l'énergie grise liée à la construction en tant que telle a que peu fait l'objet d'études particulières. Or, avec la multiplication des maisons dites «à basse énergie» ou «passives», l'énergie grise prend une plus grande importance, dont généralement 70% sont liés au processus de construction, aux fondations et au squelette porteur.

Par ailleurs, la durée de vie d'un bâtiment dépend aussi de facteurs indépendants de ses qualités constructives. Mutation d'un quartier, problèmes économiques, transformation des standards, les démolitions annoncées ne s'intéressent pas à la qualité des structures qui seront mises à bas. Perte de capital, génération de déchets, utilisation de ressources et émission de gaz à effet de serre: détruire les composants d'une structure qui n'a pas perdu son efficacité est absurde techniquement, économiquement et, bien sûr, énergétiquement.

La réflexion, trop peu partagée par les chercheurs et architectes de ce début du XXI^e siècle au sein du SXL. Le professeur Fivet dirige plusieurs travaux qui examinent comment récupérer et intégrer de manière performante des éléments structurels réutilisables dans de nouvelles constructions et s'inscrire ainsi dans une économie circulaire.

Pavillon 1to3
Trois structures aux typologies différentes, assemblées avec le même jeu de barres et de nœuds (kit-of-parts).
International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), Barcelone (2019).

Stocks d'espaces, espaces en stocks

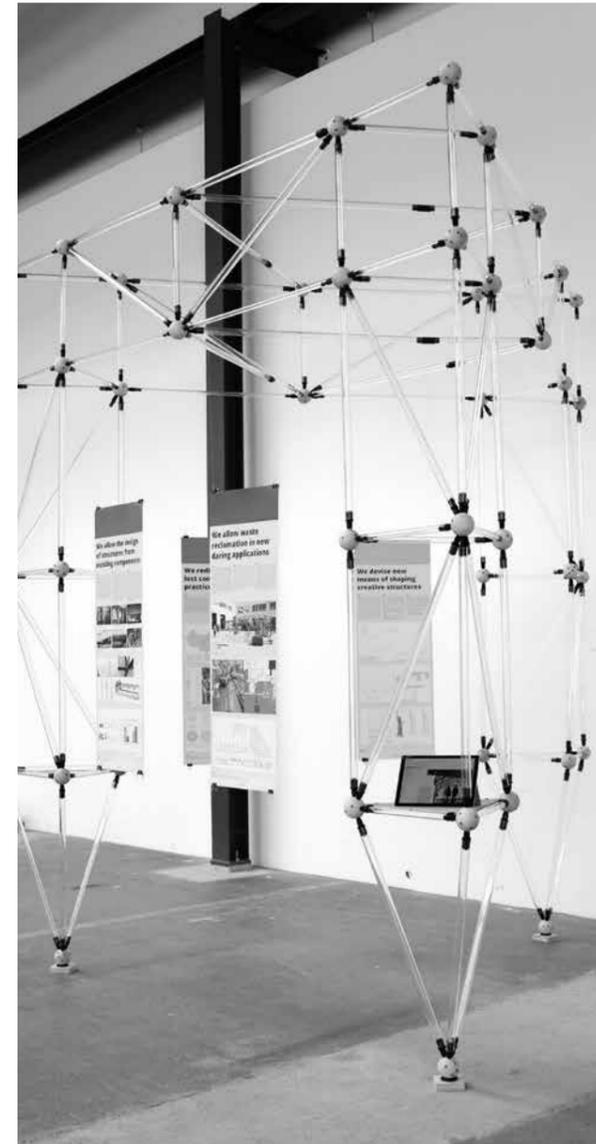
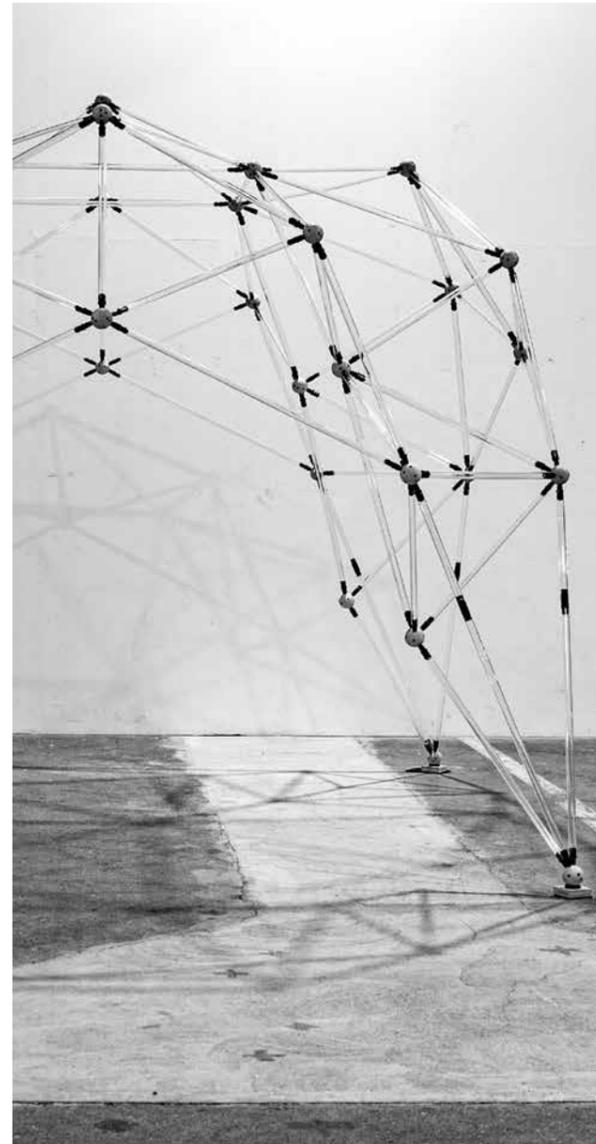
La logique du réemploi amène une autre approche, celle qui consiste à concevoir de nouveaux systèmes constructifs réutilisables. Une attitude, elle aussi, partagée par plusieurs laboratoires de recherche: l'Université de Technologie de Delft (TUDelft), l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie en France (ADEME), mais aussi des partenaires dans le monde entrepreneurial.

Loin de la notion de préfabrication, il s'agit là de stocks destinés a priori à avoir plusieurs existences. Ils sont associés aux recherches du SXL en matière de structures, où l'économie de matière est liée à l'efficacité de la forme et à ses qualités formelles.

Le projet du *Pavillon 1 to 3* est, à cet égard, exemplaire. Le stock, réutilisable, a été conçu avec une contrainte particulière: créer trois structures aux typologies complètement différentes – un dôme, un cadre trépieds, et une tour – mais avec une topologie et une géométrie qui leur permette de partager un maximum d'éléments. L'idée étant donc, théoriquement, de pouvoir construire le dôme, le démanteler, puis de construire la colonne avec les mêmes éléments.

Démonstration faite, il s'est avéré que le dôme avait besoin de 108 barres et 41 nœuds; le cadre trépieds de 111 barres et 45 nœuds. Soit au total, d'un stock de 351 barres et 140 nœuds. En revanche, en s'assurant qu'il était possible de réutiliser les éléments pour chacune des trois structures, Jan Brütting, doctorant au SXL a pu ramener le stock total à 170 barres et 54 nœuds. A l'éclairage d'une réutilisation possible: seuls 48% des barres et 38% des nœuds de base étaient vraiment nécessaires pour construire ces trois structures aux formes totalement différentes. Le projet était assorti d'une dernière contrainte: que le(s) pavillon(s) soit transportable dans trois valises aux dimensions données et qu'il puisse être monté en une journée.

Ces pavillons ont été exposés en octobre 2019 à l'International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) à Barcelone, démontrant ce qu'il est possible de faire avec trois structures et un stock d'éléments conçu et optimisé pour pouvoir monter et utiliser un maximum d'éléments dans chacune de ces structures. Le projet est visible sur un court métrage disponible en ligne.²

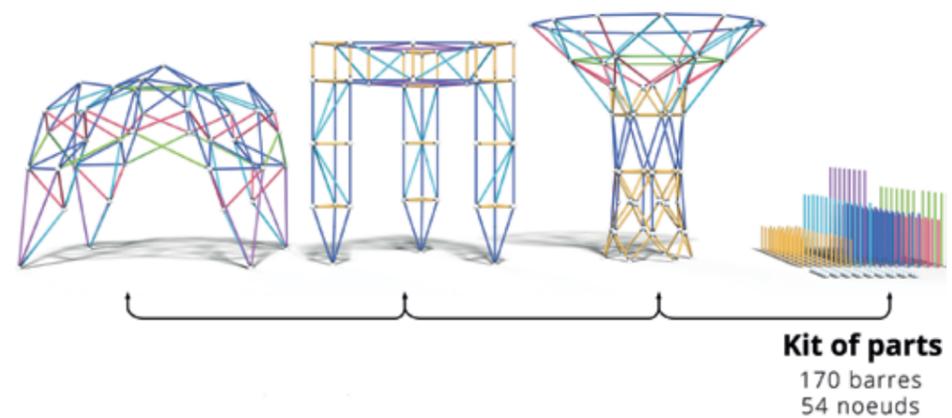


Pour le plus grand nombre
Banque de données de réemploi d'éléments déconstruits et stocks réutilisables; la vocation de toutes ces recherches, c'est qu'elles soient bientôt accessibles au plus grand nombre. Et si on ne parle pas encore véritablement d'industrialisation au sein du SXL, des brevets ont été déposés dans cette perspective.

La majeure partie de la recherche sur les formes structurales n'intéresse, pour l'heure, qu'une partie infime de la production globale des bâtiments. Mais en toute logique, les systèmes économiques et de production du cadre bâti seront appelés à évoluer. Et dans un futur proche, on peut espérer que ces réflexions et ces systèmes de conception soient appliqués à des projets de plus en plus nombreux, ou à des programmes d'envergure destinés au plus grand nombre. L'impact global concerne la forme et le fond; la morphologie du bâti, tout autant qu'une réflexion sur l'usage raisonné du monde. □ MCRA

1. Site internet du SXL: www.epfl.ch/labs/sxl
2. <https://vimeo.com/sxleplf>

Structure 1	Structure 2	Structure 3	Total
108 barres 41 nœuds	111 barres 45 nœuds	132 barres 54 nœuds	351 barres 140 nœuds



© SXL-EPFL

© JAN BRÜTTING / SXL-EPFL

Ingénierie structurale Quelques références

Cités par nos intervenants, ces six ingénieurs ont été déterminants dans l'histoire de la recherche structurale et de la production des formes.



ROBERT MAILLART (1872-1940)

Ingénieur civil suisse diplômé de l'EPFZ où il enseignera également son goût pour l'innovation. Sa méthode de travail s'appuie autant sur les principes de la statique graphique que sur le contrôle des dessins en maquette, ce qui lui permettra de créer des projets à la fois novateurs et économiques.

Son refus d'utiliser l'analyse mathématique du comportement des ouvrages en béton armé lui vaut de nombreuses critiques de la profession. Cela ne l'empêche pas de réaliser plusieurs ponts et bâtiments devenus célèbres, tant pour l'élégance de ses tabliers particulièrement fins que pour leurs différentes inventions techniques. Ou encore pour l'usage du béton armé qu'il impose et popularise.

→ Pont sur l'Inn, Zuoz (1900); Immeuble Filter, Rorschach (1912); Pont de Salginatobel, Grisons (1930); **Schwandbachbrücke (1933)**; Pont de Vessy, Genève (1936).



FÉLIX CANDELA (1910-1997)

Né à Madrid où il fait ses études, il est contraint de s'exiler au Mexique pour échapper au franquisme. La force de Candela réside dans sa maîtrise conjointe de l'architecture, de l'ingénierie et de la science des matériaux.

Ce «chercheur» réalise une couverture en paraboléide hyperbolique, première du genre au Mexique en 1952. Il connaît un vif succès avec des projets qui mettent en œuvre des coques minces en béton, un matériau qui est alors symbole de renouveau et de modernité. Spécialiste des paraboléides hyperboliques, sa carrière est riche et polymorphe: bâtiments monumentaux, chapelles, etc. tant au Mexique qu'à l'international.

→ Cosmic Rays Laboratory (1951); Bourse de Mexico (1954); Chapelles de Cuernavaca et de Coyoacán (1959); Palais des Sports de Jeux Olympiques d'été de Mexico (1968); **Musée Océanographique, Cité des Arts et des Sciences de Valence (2002)**.



EDUARDO TORROJA (1899-1961)

Formé à l'École technique supérieure des Routes, Canaux et Ports de Madrid, il commence sa vie professionnelle dans la Société des constructions hydrauliques et civiles Hidrocivil, dirigée par Jose Eugenio Ribera, pionnier de l'utilisation du béton armé en Espagne.

Il va à son tour populariser ce matériau en Espagne avec un sens de la plasticité et de l'esthétique de la contrainte qui lui valent une reconnaissance internationale et le surnom de «Maître des constructions originales» de la part d'Eugène Freyssinet, lui aussi ingénieur et inventeur. Son respect de la nature des matériaux et sa capacité à lier formes et fonctions, l'une découlant de l'autre en font un acteur important de l'architecture organique à l'instar de Frank Lloyd Wright.

→ Viaduc Quince Ojos, Madrid (1929-1933); **Hippodrome de la Zarzuela, Madrid (1935)**; Marché central d'Algésiras (1934-1935).



SERGIO MUSCEMI (1926-1981)

Chercheur, inventeur, ses expériences et conceptions structurales ont conféré à cet ingénieur formé en Italie et brièvement collaborateur de Nervi, une position unique dans le contexte de l'architecture et de l'ingénierie italiennes d'après-guerre. Muscemi a travaillé notamment à partir du pliage structurel.

Sa recherche de nouvelles formes explore également le potentiel des surfaces à double courbure (halls de grandes dimensions et ponts) et les réseaux spatiaux basés sur l'organisation d'éléments prismatiques et anti-prismatiques dans l'espace.

→ Palazzo della Regione, Trente / avec Adalberto Libera (1956-1962); Pont sur le Basento, Potenza (1967-1969); Hangar Alitalia, Fiumicino (1970-1971); **Structure du Pavillon italien exposition d'Osaka, Japon / avec Tommaso et Gilberto Valle (1970)**.



ELADO DIESTE (1917-2000)

Ingénieur et architecte uruguayen Eladio Dieste a créé une gamme de structures pour des silos à grain, des hangars d'usine, des marchés et des églises. Chercheur et inventeur, on lui doit la voûte gaussienne, une structure à coque mince pour les toits constituée d'une brique de simple épaisseur, qui tire sa rigidité d'une forme d'arc caténaire à double courbure.

Il a également développé l'usage de la voûte mince en briques et en carreaux de céramique pour la couverture de ses bâtiments: une forme moins chère que le béton armé, qui ne requiert ni nervures ni poutres. Il a également favorisé l'usage de matériaux locaux. Bon nombre des techniques qu'il a développées pour réaliser ces formes, telles la précontrainte de la maçonnerie et les coffrages mobiles, étaient en avance sur leur temps.

→ **Paroisse et église Nuestra Señora de Lourdes, Atlantida (1965)**; Entrepôt portuaire *Julio Herrera y Obes*, Montevideo (1977); Marché de Porto Alegre au Brésil (1970).



HEINZ ISLER (1926-2009)

Cet ingénieur civil suisse est considéré comme le spécialiste des coques en béton armé qu'il utilise dans plus de 1'400 bâtiments, supermarchés, entreprises, églises, piscines ou aires d'autoroute. Cet observateur de la nature sorti de l'EPFZ est aussi un inventeur. En témoigne sa méthode de projet pour créer des formes structurales optimales sans l'aide de la géométrie «classique», mais par l'observation de tissus mouillés ou imprégnés de béton et figés par le froid. Une fois retournés, ils deviendront la base de géométrie de toitures ou de coques en béton armé très fines (de 15 à 19 cm d'épaisseur) pouvant couvrir des surfaces de plus de 300m². Le bâtiment qui marquera particulièrement les esprits sera la fabrique genevoise d'extincteurs Sicli.

→ Bâtiment d'exposition des semences de Wyss, Soleure (1962); **Fabrique Sicli, Genève (1969)**; Théâtre à Bade-Wurtemberg (1977); Musée de l'aviation, Zurich (1986); Église de Cazis (2002).

Block Research Group

La résistance par la forme : prototypes pour un monde à venir

Depuis plus de dix ans, le Block Research Group (BRG) est mené à l'Institut de technologie en architecture de l'École polytechnique fédérale de Zurich.

Dirigé par le professeur Philippe Block et le docteur Tom Van Mele, il investit le champ de l'ingénierie des structures avec un credo qui est aussi un constat.

Il est impossible de continuer à construire comme nous le faisons depuis plus d'un siècle, en prétendant répondre de manière satisfaisante au double défi paradoxal qui touche le monde de la construction : soit édifier le double du volume global existant d'ici 2060 pour satisfaire les besoins d'une population mondiale en pleine expansion, tout en prenant en compte l'urgence environnementale.



Armadillo Vault
Projet de BRG,
présenté à la
Biennale d'ar-
chitecture de
Venise 2016.

Cette structure
inspirée des
voûtes de pierre
de l'architecture
gothique est
composée de
399 voussoirs en
calcaire tenus en
équilibre par la
compression et
sans une goutte
de mortier.

Propos recueillis par Marcio Bichsel et Marie-Christophe Ruata-Arn

Raréfaction des matières premières, alors que le secteur de la construction est responsable de 40% de la consommation et donc de l'accélération de l'appauvrissement des ressources naturelles; problèmes récurrents de pollution, dont 40% sont dus à l'industrie de la construction; production exponentielle de déchets, 25 à 30% de toute la production des déchets humains étant liées à des actes de démolition et de construction: les chiffres sont vertigineux et pourtant des solutions existent. À condition, plaide le BRG, que les réponses à ces problèmes soient élaborées dès les premiers moments de la conception d'un projet. Les travaux conduits sur le campus de Hönggerberg à Zurich par le laboratoire et son équipe composée d'une vingtaine de chercheurs et de doctorants illustrent la méthode et proposent de nouveaux outils tant pour la conception que pour la réalisation. Ils appellent également à repenser les modes de collaboration entre les partenaires de projets et interrogent l'enseignement actuel de l'architecture et de l'ingénierie des structures.

Les questions posées par le BRG sont exposées dans un article très complet intitulé «Redefining structural art: strategies, necessities and opportunities» qui est disponible sur le site *The Institution of Structural Engineers*. Chercher la résistance à travers l'efficacité de la

forme; démontrer l'intérêt de l'ordinateur en tant qu'outil de projet et aussi de la fabrication digitale comme outil de production; mais aussi apprendre du passé, faire plus avec moins, par exemple en repensant le coffrage, ces enjeux sont présentés à travers de nombreux prototypes réalisés à Zurich au sein du laboratoire, ou en partenariat avec des équipes internationales constituées d'architectes et d'ingénieurs. Les références historiques qui accompagnent cette approche sont également citées: Félix Candela, Eladio Dieste ou Heinz Isler, des chercheurs autant que des constructeurs qui ont tous repoussé les limites de l'ingénierie des structures. Philippe Block, qui a suivi la même formation d'architecte-ingénieur en Belgique que le professeur Fivet, complète en plébiscitant la statique graphique qu'il a d'ailleurs contribué à réintroduire au sein de l'EPFZ, berceau historique de la méthode. Il souligne aussi l'intérêt d'analyser les structures vernaculaires ou historiques, une activité qu'il mène toujours en parallèle de ses projets.

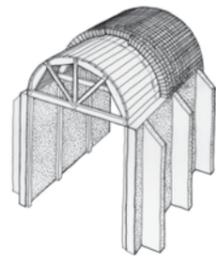
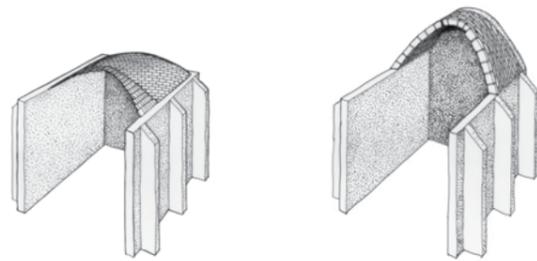
Chercher la résistance à travers la géométrie pour l'usage efficace des matériaux

Compression, tension, flexion: penser et dessiner une structure à l'aide de la géométrie c'est avant tout reconnaître le mouvement des forces en présence et déterminer la juste place à donner à chacune d'entre elles dans une construction quelle qu'elle soit. Cependant, sou-

ligne le professeur Block, la géométrie d'une structure ne peut être dissociée de sa matérialisation. Des formes structurelles spécifiques sont liées à certains matériaux ou même les requièrent. Habituellement, les ingénieurs s'intéressent à l'«efficacité» d'un matériau et cherchent comment le faire fonctionner de la meilleure manière possible. Partant, ils oublient souvent d'en jauger l'«efficacité», ou, en d'autres termes, jusqu'à quel point celui-ci est réellement adéquat pour le résultat attendu. En somme, le dessin structurel est bien souvent focalisé sur l'idée d'optimiser la quantité de matériau utilisé (efficacité), sans questionner le fait que ce matériau soit le bon pour ce type d'application (efficacité).

D'autres malentendus s'installent lorsque la question est mal posée déclare encore Philippe Block: «Tout le monde a l'air de dire que le béton est un matériau extrêmement polluant, mais en réalité, l'énergie grise est beaucoup plus basse que pour beaucoup d'autres matériaux. Le problème, ce n'est pas le béton ou le ciment; le problème, c'est que nous l'utilisons de manière inappropriée et en trop grande quantité. Nous utilisons par exemple pour les poutres qui fonctionnent en flexion. Or le béton, qui est d'une certaine manière une pierre artificielle, travaille bien en compression. Placez le béton là où il peut fonctionner en compression et vous utiliserez le bon matériau.

« Construire plus simple, recycler et récupérer : la cohérence d'une structure correctement pensée permet d'utiliser les matériaux les plus inattendus lorsque l'on cherche leur efficacité. »



© EDWARD ALLEN

Eladio Dieste
Principes de réalisation
des voûtes catalanes
traditionnelles pour
l'église d'Atlantida,
Uruguay.

Durant la dernière décennie en ingénierie, le discours a été l'efficacité : plus léger, c'est mieux. Mais pas nécessairement, parce que si vous atteignez la légèreté avec des matériaux extrêmement polluants, il est peut-être préférable d'avoir une structure un peu plus lourde !

Il s'agit donc d'utiliser un matériau pour ce qu'il sait faire de mieux, ou encore choisir des formes structurelles efficaces. La voûte, par exemple, où la quantité de matière requise peut être réduite de façon significative en la plaçant uniquement là où elle est nécessaire. La capacité à reprendre les forces de manière efficace permet également d'utiliser des matériaux faibles structurellement, mais recyclables comme la terre crue.

Un système que le professeur Block a eu l'occasion d'expérimenter en tant que doctorant en Afrique du Sud. En 2007, un projet de musée dirigé par l'architecte Peter Rich proposait des modules conçus selon le système de la voûte catalane. Ces voûtes étaient constituées de briques en terre crue si fragiles qu'il fallait faire attention de ne pas les casser en les transportant vers le chantier. Pourtant : « Les briques ont été disposées pour fonctionner uniquement en compression grâce aux guides indiquant les bords de la structure. Des voûtes en berceau avec des tirants permettant de reprendre les charges et les efforts exclusivement là où cela est nécessaire. Très fragiles à l'origine, les briques sont devenues résistantes car on les a placées là où elles devaient être pour fonctionner en compression. Ce qu'on pourrait résumer en disant : la résistance vient de la forme. »

Le même type de réflexion a prévalu pour le projet *Armadillo Vault*, présenté lors de la Biennale d'architecture de Venise en 2016. Cette structure, inspirée des voûtes en pierre de l'architecture gothique, était composée de 399 voussoirs en calcaire tenus en équilibre par la compression, et sans une goutte de mortier. Une réalisation élégante créée avec les outils de la géométrie structurelle, une utilisation efficace du matériau, mais aussi l'usage des dernières avancées en matière de conception informatique et d'optimisation des méthodes de fabrication digitale – des outils que ne cesse de développer le BRG.

Faire plus avec moins

Le système de la voûte a encore été expérimenté en 2010 à Addis-Abeba pour *SUDU* (Sustainable Urban Dwelling Unit), un projet réalisé en collaboration avec le professeur Dirk Hebel de l'Institut de technologie de Karlsruhe et son équipe. *SUDU*, une structure habitable faisant partie d'une série de prototypes construits dans différents lieux autour du monde, a démontré elle aussi, combien des matériaux extrêmement faibles structurellement et généralement plus écologiques (locaux, recyclés ou même cultivés) peuvent être utilisés comme des éléments de construction sûrs lorsqu'on emploie une forme structurelle adaptée. Les voûtes de briques fines utilisées pour les toits et les dalles de l'espace ont été créées avec de la terre locale. Un arc équilibré par un câble a permis d'utiliser sans problème ces briques a priori fragiles dans cette structure dont la géométrie a été gérée, lors du montage, avec des guides constitués de simples ficelles.

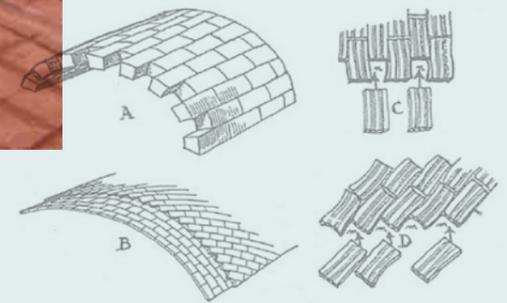
Construire plus simple, recycler et récupérer : la cohérence d'une structure correctement pensée permet d'utiliser les matériaux les plus inattendus lorsqu'on cherche leur efficacité. En 2017, la collaboration entre les deux mêmes équipes a produit le *Mycotree*. La structure de ce pavillon, réalisé pour la Biennale d'architecture et d'urbanisme de Séoul, était faite de mycélium (le réseau racinaire des champignons) prouvant ainsi que même un matériau aussi faible peut être utilisé comme matériau porteur si la structure est pensée et dessinée dans ce but.

« En introduisant la géométrie structurelle, en trouvant des manières intelligentes de la réaliser à travers la fabrication digitale, en repensant ces structures, on peut être de plus en plus durable. L'énergie grise pour concevoir le matériau diminue, car nous avons de moins en moins d'exigence quant aux performances du matériau. Tout ce que nous construisons ici, à Zurich, au Block Research Group, est recyclable à 100%, et le ciment lui est recyclable à 50%. En plus, la géométrie de cette structure est très élégante, souligne Philippe Block, ce qui valorise le message. »



© LARA DAVIS

SUDU,
Sustainable Urban Unit,
Addis Abeba, Éthiopie (2010).
En collaboration avec le
Pr Dirk Hebel de l'Institut de
technologie de Karlsruhe.



© PETER RICH ARCHITECTS

Centre d'interprétation
Mapungubwe
Limpopo, Afrique du Sud.
Architecte : Peter Rich

Pavillon KnitCandela
Musée universitaire
Arte Contemporaneo, Mexico (2018).
En collaboration avec le
Computational Design Group de
Zaha Hadid Architects (ZHCODE) et
Architecture Extrapolated (R-Ex).



© ANGELICA BARRA



© ROBIN OVAL

Formes
structurales
(variations)



© LEX REITER



© MARIANA POPESCU



© MARIANA POPESCU



© MARIANA POPESCU

Repenser le coffrage

Avec la statique graphique, les matériaux les plus improbables peuvent donc receler des trésors de résistance et être compostés après la démolition. La même méthode permet également de créer des constructions d'une finesse extrême car les matériaux sont placés judicieusement dans les structures. Un point sensible demeure néanmoins dans la course aux solutions écologiquement durables: la question du coffrage.

Le BRG a travaillé sur deux projets réalisés à l'aide d'un coffrage flexible, soutenu par un réseau de câbles. Le prototype 1:1 du toit du *NEST HiLo* construit sur le campus de l'EPFZ en 2017 et le pavillon *KnitCandela* construit en 2018 au Musée universitaire d'art contemporain de Mexico, en collaboration avec le Computation Design and Reserach Group de Zaha Hadid Architects et Architecture Extrapolated.

Le *KnitCandela* est une élégante structure à double courbure de 3 cm d'épaisseur avec des nervures de raidissement d'une épaisseur de 4 cm. Traditionnellement, une géométrie aussi complexe aurait dû être réalisée avec un coffrage non moins complexe et très onéreux. Mais quel aurait été l'intérêt de défendre cette forme dont l'un des bénéfices liés aux choix structurels est justement d'ordre économique et écologique? Le BRG s'est attelé à la question et a proposé un coffrage perdu en textile. Des métiers à tricoter industriels mus par des programmes spécifiques développés à cet effet, ont créé en 36 heures un coffrage souple qui, maintenu par quelques supports externes, a reçu le béton projeté nécessaire pour réaliser le pavillon. Un procédé qui a représenté une grande économie de temps, puisque l'opération de tricot a duré un jour et demi au lieu des 750 heures de fraisage pour réaliser la même forme à l'aide d'un coffrage en mousse. Le coffrage tricoté ne pesant que 25 kg, il a pu être transporté à Mexico dans deux valises en soute. Coût total de la réalisation de la partie non réutilisable du coffrage du pavillon: 2'250 euros. «à l'avenir, précise Philippe Block,

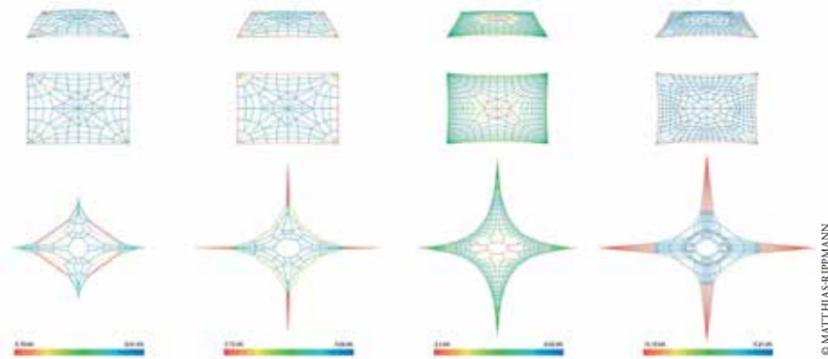
«Collaborer, expérimenter et partager en open-source toutes les données: c'est dans cet esprit que le BRG travaille, convaincu que l'organisation traditionnelle linéaire et itérative ne répond plus aux défis actuels.»

toutes les données pour réaliser le tricot et les supports nécessaires à la réalisation d'un coffrage quel qu'il soit pourront être transmises gratuitement par fichier informatique n'importe où dans le monde, ce qui est encore moins polluant que d'envoyer 25 kg par avion.»

Stratégies et outils

Collaborer, expérimenter et partager en open source toutes les données: c'est dans cet esprit que le BRG travaille, convaincu que l'organisation traditionnelle linéaire et itérative ne répond plus aux défis actuels. Idéalement, la phase de projet devrait prendre en compte dès le départ d'autres types de contraintes structurales, technologiques, constructives, mécaniques, etc. pour les mettre en réseau avec les travaux et les outils de tous les partenaires: architectes, ingénieurs, constructeurs et entrepreneurs. Le BRG a créé *COMPAS*, un environnement digital public d'outils informatiques destiné à la collaboration et la recherche en architecture, ingénierie, fabrication et construction. La vocation de ce système, de ce «réseau», est de s'occuper de ce que le professeur Block pointe comme étant l'un des problèmes fondamentaux de la collaboration multidisciplinaires dans notre industrie: le manque de langage commun entre les différents acteurs et leur hétérogénéité en matière de style, de savoir-faire et de niveaux de compétences.

Géométries
structurales
(variations)



Demain : construire pour le plus grand nombre

Pavillons courbes et usage de matériaux improbables, le potentiel poétique des travaux réalisés par le BRG ne doit pas masquer le principe de réalité qui anime les chercheurs. Partant, la somme des informations récoltées et des expériences acquises au cours de ces dix ans nourrit déjà les recherches de demain, et, notamment le défi pour lequel l'équipe du professeur Block est à pied d'œuvre et bientôt à bout touchant : la conception et la réalisation d'un modèle de plancher pour une production généralisable à grande échelle.

Un système existe déjà. Il s'agit d'un plancher funiculaire inspiré des exemples passés des structures de planchers en voûtes maçonnées et construit numériquement grâce à des coffrages imprimés en 3D. L'élément est conçu pour fonctionner uniquement en compression sous des charges permanentes uniformément réparties. Il est rigidifié par de fines nervures qui permettent de reprendre les charges variables concentrées et d'éviter ainsi l'effondrement de la voûte. La poussée de la compression est contenue par des câbles de bord qui dirigent la tension et la compression sur des chemins distincts. De ce fait, une fois encore, moins de matière est nécessaire puisqu'elle est placée seulement là où elle est utile et n'a pas besoin d'armatures de renforcement. Là aussi, comme les tirants métalliques ne sont plus intégrés à la dalle, l'élément est plus facile à diagnostiquer, remplacer ou recycler à la fin de sa vie. Mais surtout, comparé à une dalle en béton armé, le plancher de forme funiculaire, c'est-à-dire en pure compression, économise 70% des matériaux requis pour sa fabrication. Cela représente par analogie une économie d'un tiers de la masse structurelle complète d'un bâtiment à plusieurs étages (>10), sans même considérer d'autres économies possibles sur les colonnes, les fondations ou le noyau central du bâtiment.

Le prototype va être mis en œuvre en tant que plancher structurel à l'échelle réelle pour *HiLo*, une unité pilote de recherche en construction située à l'EMPA à Dübendorf sur les hauts de Zurich.

«Un plancher funiculaire inspiré des exemples passés des structures de planchers en voûtes maçonnées et construit numériquement grâce à des coffrages imprimés en 3D.»



Le plancher est constitué d'éléments de 5 m x 5 m, dont l'épaisseur structurelle ne dépasse pas les cinq centimètres. Le BRG a d'ores et déjà procédé aux essais nécessaires prouvant que l'élément est parfaitement adapté à des constructions de plusieurs étages confirme Philippe Block : « Nous travaillons actuellement à la commercialisation de ce produit, l'objectif étant, dans une année, d'offrir gratuitement un système constructif entier qui diminue d'un sixième les émissions de carbone – en comparaison à une dalle en béton armé – et offre au moins 25% d'espace constructible en plus, du fait de l'allègement des dalles. »

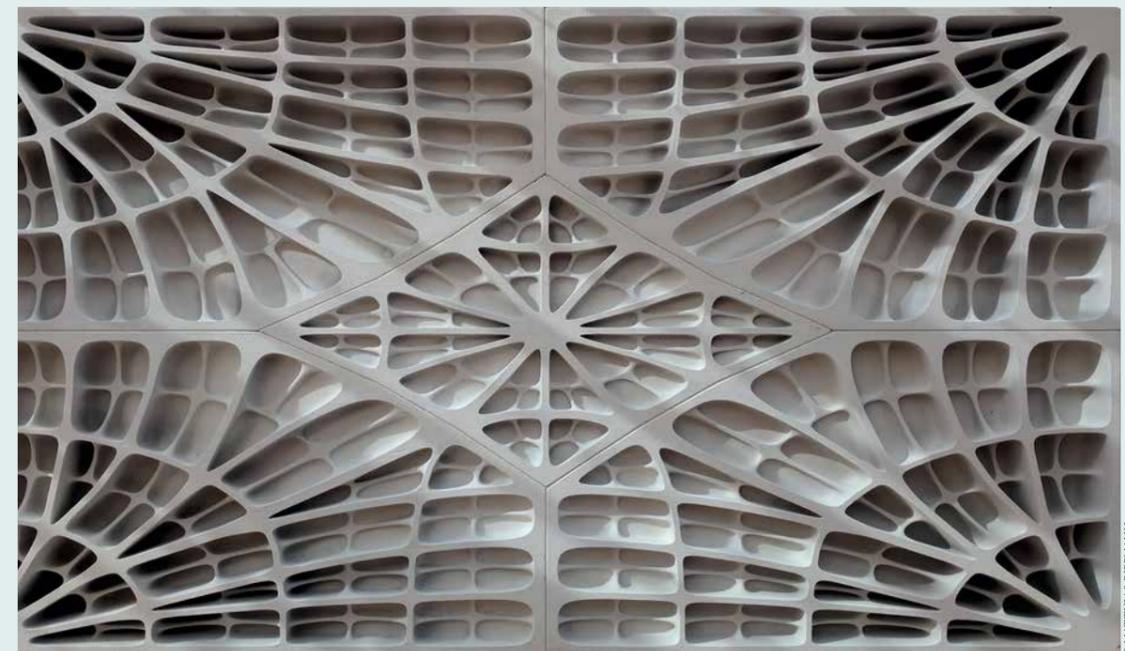
Cette année, le BRG est sur deux projets d'envergure pour de l'habitat, l'un aux Indes et l'autre en Afrique du Sud qui seront autant d'occasion d'interroger les performances de ce produit. A suivre! □ MCRA

www.block.arch.ethz.ch



King's College Chapel
Cambridge,
Royaume-Uni (XVI^e).
Voûtes gothiques

Système de plancher
Cette recherche explore le potentiel de l'impression 3D pour des dalles de funiculaire utilisant des composants préfabriqués.



Les travaux sont également présentés et commentés par des entretiens ciblés dans le livre :

Beyond Bending
Reimagining
Compression Shells
Philippe Block,
Tom Van Mele,
Matthias Rippmann,
Noëlle Paulson

Edition Detail, 2017
194 pages
ISBN : 978-3955533-908



Pont sur le Basento
Potenza, Italie
Sergio Musmeci (1971).

«L'analyse attentive des ouvrages d'art historiques nous permet de découvrir de multiples propositions conceptuelles. Elle nourrit cette démarche projectuelle qui, à l'inverse d'une attitude analytique, ne vise pas de solution unique, «isolée» mais utilise au contraire la complexité comme un atout, en recherchant un éventail de solutions.»



Wasserfallbrücke
Flims, Grisons
Jürg Conzett (2013).

© WILFRIED DECHAU

Dossier

Non loin du monde académique, et parfois en lien avec celui-ci, la recherche de la bonne forme nourrit aussi la pratique professionnelle de certains bureaux d'ingénieurs. En Suisse, le bureau Conzett Bronzini l'a démontré à travers de nombreuses réalisations.

Réflexion

L'ingénieur et l'histoire

Jürg Conzett, ingénieur ETH SIA

L'un des ingénieurs les plus intéressants est sans doute Sergio Musmeci (1926-1981). Il incarne l'ingénieur moderne sans préjugés, abordant les problèmes d'un point de vue analytique, sans invoquer la tradition. Dans *La Statica e le strutture* (Rome 1971), Sergio Musmeci développe des structures à volumes minimaux en appliquant des méthodes exclusivement mathématiques. À la suite de ses recherches, il a créé des constructions extraordinaires comme le pont sur le Basento à Potenza en 1969.

Dans certains cas, j'ai moi-même essayé d'utiliser une démarche analytique pour trouver des solutions optimisées. Il m'avait semblé simple de créer un algorithme pour dimensionner le Wasserfallbrücke à Flims. Étant donné la portée de 18 m, le choix de la pierre comme matériau et la forme circulaire de l'arc, nous n'avions que trois paramètres à définir: la flèche de l'arc, l'épaisseur de l'arc et le degré de la précontrainte.

Finalement, je n'ai pas réussi à m'arrêter sur une solution unique. Il m'était impossible de définir les exigences d'une manière absolue, univalente. Par exemple, est-il vraiment nécessaire d'éviter toutes les contraintes à la traction dans les joints pour une surcharge asymétrique élevée, lorsque la température atteint moins 20°C? Pour répondre à de telles questions il existe une mesure intuitive personnelle. Après une série de calculs, j'ai finalement déterminé les valeurs géométriques et statiques d'une manière subjective, dans des limites extrêmement contrôlées bien sûr. L'ingénieur garde toujours une liberté de décision, même dans un champ étroit. Que ce soit au niveau de la petite échelle, tel le choix du diamètre d'une armature, ou lors de la conception d'un ouvrage d'art, les procédures analytiques servent à délimiter un champ d'action. Pourtant, confrontées à la réalité physique, elles restent un peu fumeuses. Il ne faut pas surestimer le pouvoir de ces outils.

En examinant le pont sur le Basento de Musmeci, on admire la forme inouïe des arcs, dessinés grâce à l'habileté et à l'excellence de l'ingénieur. Mais j'ose dire que la conception générale du pont est tout à fait traditionnelle. On y retrouve la hiérarchie classique d'un tablier (de fonction statique locale) porté par une suite d'arcs

d'une résistance élevée à la flexion. Cette hiérarchie est soulignée par l'introduction tardive, après des essais en maquette, d'articulations de type Gerber au-dessus des couronnes des arcs. Sur le plan de sa conception, ce pont est plus proche des grands viaducs maçonnés du XIX^e siècle que des ponts en arc de Robert Maillart, pour lesquels la synergie entre l'arc et le tablier faisait partie d'une étude à vie.

Cependant, même l'audace de l'arc raidi selon Maillart découle de l'application d'un principe historique: le montage par juxtaposition successive d'un arc mince, lequel permet l'allègement du dispositif des échafaudages. Cette procédure de mise en œuvre par superposition des arcs concentriques se retrouve dans les ponts médiévaux et dans certains ponts romains.

J'aimerais mettre l'histoire universelle des formes – ou des idées – primordiales en regard des méthodes mathématiques abstraites en tant qu'outil de conception des ouvrages d'art. J'emprunte le titre *Weltgeschichte der Grundformen* à l'historien d'art viennois Otto Antonia Graf, qui décrit, dans plusieurs ouvrages volumineux, les bâtiments et les ponts de l'architecte Otto Wagner comme des assemblages d'un nombre restreint de motifs constitutifs. Il existe cependant d'inépuisables possibilités de telles combinaisons et transformations.

S'appuyer sur l'environnement bâti existant pour créer des œuvres innovantes, c'est s'inscrire dans une continuité riche en possibilités. L'analyse attentive des ouvrages d'art historiques nous permet de découvrir de multiples propositions conceptuelles. Elle nourrit cette démarche projectuelle qui, à l'inverse d'une attitude analytique, ne vise pas de solution unique «isolée», mais utilise au contraire la complexité comme un atout, en recherchant un éventail de solutions.

Le concept d'une œuvre d'ingénieur est réussi lorsqu'il effectue une synthèse. La solution élégante n'est pas une addition de réponses à des problèmes posés, elle essaye plutôt de résoudre simultanément de nombreuses problématiques. Les bandes de précontrainte de la Wasserfallbrücke tiennent les montants des garde-corps. La précontrainte stabilise le pont, mais elle permet également d'éviter de forer des trous dans la pierre pour fixer les balustrades, voilà un effet de synthèse. □

www.cbpc.ch

Prototypes, inventions et protocoles pour des projets à venir : ces trois rencontres illustrent l'extraordinaire vitalité suisse en matière de recherche et de réalisation dans les domaines de l'ingénierie et de la construction.

Conclusion

Hier, aujourd'hui, demain

Marie-Christophe Ruata-Arn

À plusieurs reprises, nos intervenants nous ont parlé de la diffusion et de la construction à large échelle de leur projets et des problèmes qui les accompagnent. Un chapitre qui, à plusieurs égards, pourrait renvoyer aux questionnements et aux buts du *Werkbund* européen en matière d'innovation et d'industrialisation dès le début du XX^e siècle. Même si les conditions pratiques de réalisation ne sont pas identiques, grâce à la fabrication digitale et aux moyens extraordinaires mis désormais à disposition par l'informatique.

Restent la question de la commande et celle du commanditaire

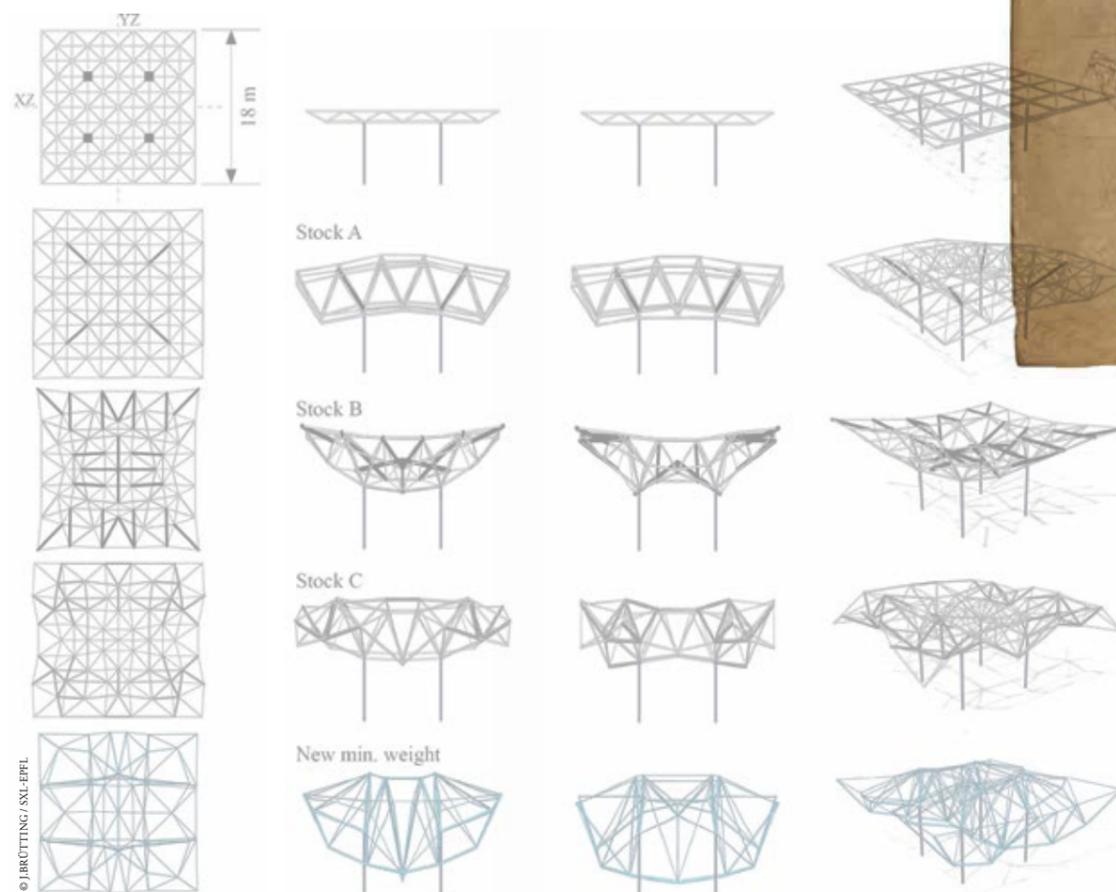
En Europe et ailleurs dans le monde, tous les projets liés au réemploi, par exemple, sont le fait d'architectes et de constructeurs, mais ils existent aussi grâce à l'engagement de structures et d'institutions publiques ou privées qui rendent le processus possible.

En Suisse, aujourd'hui, les nombreux architectes et ingénieurs qui innovent en proposant des systèmes constructifs de pointe se heurtent régulièrement à une législation uniformément contraignante. Il est symptomatique que des projets novateurs, lorsqu'ils ne sont pas portés par des privés, doivent souvent aller faire un « tour de piste » sous d'autres cieus avant d'être finalement adoptés sur sol helvétique.

L'un des souhaits de ce dossier est de stimuler la curiosité de nos édiles et de leur donner l'envie d'une visite circonstanciée auprès de tous ces chercheurs qui œuvrent dans nos académies, acteurs indispensables à notre tissu économique et culturel.

Il s'agit autant de goûter au plaisir de la réflexion qu'à celui de la découverte de projets innovants et esthétiquement étonnants. C'est à ces fins que notre dossier se conclut avec une série de projets contemporains qui tous mettent en lumière l'excellence d'une ingénierie pratiquée avec audace. □

Form follows availability
Ce travail propose une nouvelle direction dans l'ingénierie structurale : la synthèse de structures à travers la réutilisation d'éléments.
(Structural Xploration Lab, 2019)



Carnet de Villard de Honnecourt, XIII^e siècle.

« En Suisse, les nombreux architectes et ingénieurs qui innovent en proposant des systèmes constructifs de pointe se heurtent régulièrement à une législation uniformément contraignante. »

Une sélection de dix ouvrages exceptionnels par la contribution de l'ingénieur civil.

Ingénierie structurale Créativité, rationalité et innovation



Théâtre Steve Jobs, Cupertino, Etats-Unis (2017)

La transparence totale et l'absolue légèreté de cet ouvrage de 41m de diamètre est le fruit d'une utilisation judicieuse de matériaux innovants: verre structural pour les éléments verticaux et fibre de carbone pour la toiture.

Ingénieur civil: James O'Callaghan (Eckersley O' Callaghan)
Architecte: Foster and Partners



Stade municipal de Braga, Portugal (2004)

Taillé dans la roche, couvert d'une toiture suspendue par des câbles d'une portée de plus de 200 m, la partie centrale restant à l'air libre, ce stade est un véritable chef-d'œuvre d'ingénierie et un clin d'œil au pavillon portugais de l'Exposition universelle de 1998.

Ingénieur civil: Rui Furtado (AfaConsult)
Architecte: Eduardo Souto de Moura



Passerelle du Château de Tintagel, Royaume-Uni (2019)

Léger et élégant, cet ouvrage d'une portée de 68.5 m s'intègre parfaitement dans un site naturel protégé. Il est composé d'une double structure en porte-à-faux sur chaque rive qui ne se touche pas au point central.

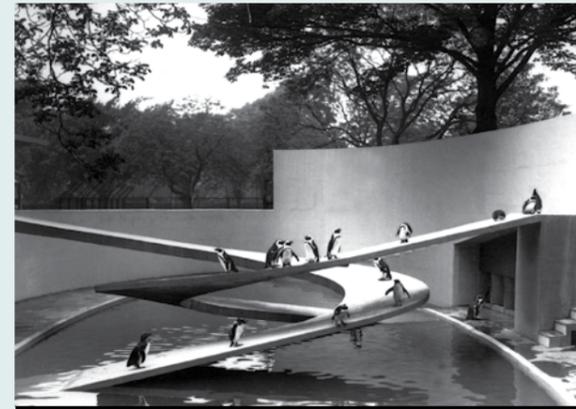
Ingénieur civil: Laurent Ney (Ney & Partners)
Architecte: Ney & Partners - William Matthews Associates



Opera de Sidney, Australie (1973)

Classé au patrimoine mondial de l'UNESCO pour son architecture exceptionnelle, cet ouvrage brille aussi par une intervention virtuose et décisive des ingénieurs sur la géométrie, qui ont permis d'en construire la structure.

Ingénieurs: Peter Rice et Ove Arup
Architecte: Jorn Utzon



Bassin des pingouins, Zoo de Londres, Royaume-Uni (1934)

Les deux rampes courbes en béton armé, qui se croisent sans se toucher et sans appui dans leurs parties centrales, semblent aujourd'hui encore défier les lois de la gravité.

Ingénieur: Ove Arup
Architecte: Berthold Lubetkin



Cathédrale Notre-Dame de la Pauvreté, Peireira, Colombie (2002)

Invention de Simon Velez, la structure de cette cathédrale est composée d'un véritable «acier végétal»: du bambou dont les inter-sections structurelles sont remplies de mortier-ciment.

Ingénieur-architecte: Simon Velez



Tour Choukhov, Moscou, Russie (1922)

Culminant à 160 m pour un poids de 220 tonnes seulement, cette tour en acier a été construite à une période où ce matériau se faisait rare. Sa forme hyperbolique lui confère une grande légèreté et rappelle la structure des toiles d'araignées. À titre de comparaison, la tour Eiffel a nécessité plus de 7'000 tonnes pour une hauteur de 320 m.

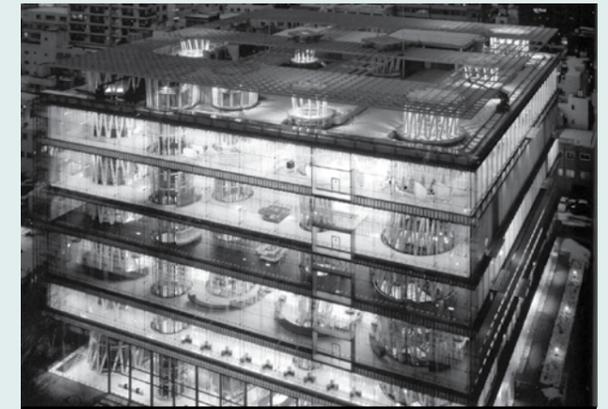
Ingénieur: Vladimir Choukhov



Aéroport international de Washington-Dulles, Etats-Unis (1962)

La géométrie de cet ouvrage fait écho à sa toiture tendue en béton-armé intimement liée à la forme des colonnes inclinées, nécessaires pour la reprise des composantes horizontales des efforts. Une technique innovante et maîtrisée par un bureau dirigé par Othmar Hermann Ammann, ingénieur suisse, concepteur de nombreux ponts suspendus à New York.

Ingénieurs: Ammann & Whitney
Architecte: Eero Saarinen



Mediatheque de Sendai, Japon (2001)

Grâce à sa structure métallique et à ses fondations, conçues pour résister aux séismes en dissipant l'énergie, ce bâtiment a parfaitement maîtrisé l'épreuve d'un violent tremblement de terre d'une magnitude estimée à 8.9 sur l'échelle de Richter, dont l'épicentre se trouvait proche de la ville de Sendai.

Ingénieur: Sasaki Structural consultants
Architecte: Toyo Ito



Fabrique de laine Gatti, Rome (1951)

L'originalité de cet ouvrage réside dans la forme de ses planchers composés de dalles aux très fines nervures en béton armé, dont la géométrie reprend le diagramme des contraintes principales de flexion afin de réduire au minimum la quantité de matière mise en œuvre.

Ingénieur: Pier Luigi Nervi
Architecte: Carlo Cestelli Guidi

Le quatrième atelier conjoint organisé par la FAI et l'État, visant à simplifier le dépôt des autorisations de construire et leur traitement a porté sur le patrimoine. L'Office du patrimoine et des sites a présenté les cinq fiches de bonnes pratiques relatives aux procédés couramment appliqués sur les projets qui lui sont soumis.

Autorisations de construire Avoirs particuliers et bien commun



L'année 2020 s'est ainsi ouverte sur une nouvelle rencontre entre un Service préavisur et les membres de la FAI. Le 30 janvier, dans l'auditorium de la FER, l'Office du patrimoine et des sites (OPS) était représenté par son directeur général, M. Pierre Alain Girard, la directrice adjointe et architecte conservatrice, Mme Noémie Sakkal Miville, le président de la sous-commission information de la Commission des monuments, de la nature et des sites (CMNS), M. Frédéric Haldi, en compagnie de plusieurs collaborateurs du Service des monuments et sites (SMS).

À Genève, les autorisations de construire qui touchent des questions patrimoniales passent par la CMNS. La commission consultative est chargée de délivrer des préavis sur des dossiers aux enjeux marqués, tels que les mesures de classement, les inscriptions à l'inventaire ou les plans de site. Elle instruit en outre les demandes d'autorisation de construire définitives qui portent sur des constructions, des installations ou des sites protégés. Dans le cadre de sa mission, la CMNS peut accorder des dérogations ou modérer la densité d'un programme architectural en zone protégée. Le Service des monuments et des sites de l'OPS, quant à lui, préavisur les demandes d'autorisation en procédure accélérée (APA), les travaux d'entretien, les réserves d'exécution et les procédés de

réclame. À côté de ce rôle décisionnel, le SMS fournit des activités de soutien, de conseil et de suivi de chantiers en matière de protection du patrimoine.

Pour ceux qui n'avaient pas encore eu connaissance de ces documents présentés lors de la Quinzaine de l'urbanisme, la rencontre de ce mois de janvier a été l'occasion de détailler, les cinq fiches de bonnes pratiques relatives aux procédés couramment appliqués sur les projets qui leur sont soumis. Ces documents proposent une approche circonstanciée de notre patrimoine bâti. On y détaille des enjeux liés aux sols et aux sous-sols, à l'isolation et au gros-œuvre, mais aussi au périmètre des rives du lac, ou encore à la question particulière des «réclames», c'est-à-dire tentes, marquises, appareils d'éclairage et tous les éléments destinés à attirer l'attention du public qui empiètent sur le domaine public

Créés pour les propriétaires

et leurs mandataires, ces fiches ont pour objectif de simplifier le dialogue avec les experts concernés lors des demandes d'autorisation de construire et d'accélérer la prise en charge. En mettant en lumière le patrimoine à des échelles aussi différentes, ces fiches revitalisent aussi une prise de conscience et sans doute un intérêt pour ce domaine particulier en amont même des procédures. Elles font ainsi écho à la Déclaration de Davos 2018 sur la culture du bâti, à laquelle notre canton a adhéré.

Chacune des fiches propose une lecture active des outils légaux que les mandataires ont à disposition pour élaborer un projet et présenter une demande en autorisation de construire. Par exemple, la fiche *Architecture et gabarits dans le périmètre de la Loi sur la protection générale des rives du lac* (LPR Lac, L4 10) rappelle la multiplication des projets de démolition-reconstruction, des

agrandissements, ou aussi de divisions parcellaires qui prévalent à des projets de densification dans cette zone protégée. La CMNS, qui a la tâche d'accorder ou non les différentes dérogations aux principes énoncés dans la LPR Lac, L4 10, expose, dans cette fiche, les buts de cette loi et ses spécificités. La même loi est présentée au registre des sols et des sous-sols, dans une deuxième fiche qui précise: *La loi sur la protection des rives du lac* (LPR-Lac, L4 10) porte en premier lieu sur un enjeu de paysage, qu'elle cherche à protéger et valoriser en édictant des règles quant à la manière d'y implanter le bâti. La protection des milieux naturels est mentionnée dans le texte, comme celle de la couverture arborée, mais pas celle du sol. Or la qualité du paysage dépend très directement de celle de son socle, tant dans sa dimension topographique que pédologique. La nécessité

de sa prise en considération dans tous les projets de construction dans le périmètre de la LPR Lac est à l'origine de cette fiche de bonnes pratiques.»

Le patrimoine est un bien commun qu'il s'agit de préserver, mais aussi de valoriser.

Dans ce sens, la culture du bâti, comme outil d'une conservation intelligente et d'un développement dans le respect d'un lieu et d'une histoire, est une valeur que les associations professionnelles ont à cœur d'encourager. Un juste dialogue avec les autorités concernées est certainement la pierre angulaire de cette action. C'est la vocation de ces fiches de susciter et l'un des buts de notre atelier conjoint de le présenter et de le discuter dans ces termes.

Cet atelier a remporté un vif succès, avec une affluence plus importante que lors des éditions précédentes, même si l'on pourrait regretter le peu de questions posées lors du débat qui a clôturé cette rencontre.

Rendez-vous est pris par notre Fédération et l'État pour un atelier de présentation des nouvelles fiches sitôt que celles-ci auront été rédigées. □

Nadine Couderq,
présidente de la FAI

Les fiches de bonnes pratiques sont téléchargeables sur le site de l'État de Genève:

www.ge.ch/renover-restaurer-conservat-batiment-protège

Léman Express Des suites logiques d'une mise en route

Avec la mise en service de cette nouvelle infrastructure de transports publics, la ville se transforme. Des équilibres se modifient: certains lieux vont progressivement s'affirmer comme des centralités, du fait de leur meilleure accessibilité, d'autres probablement perdront en attractivité. Des flux de déplacement seront infléchis ou réduits, en tous cas sur le sillon Thonon-Cornavin-Coppet. Effet de transfert modal, on estime la diminution du trafic urbain de l'ordre de 12 à 16%.¹

Le résultat d'une politique volontariste de développement des transports publics est là. Il s'agit maintenant d'en cueillir les fruits et d'en prolonger la logique en adaptant l'espace public, les rues et les places à la nouvelle donne afin d'offrir aux habitants une meilleure relation avec leur ville.

L'échelle urbanistique du Léman Express, sa complexité surmontée, ses coûts importants assumés, ne devrait-elle pas susciter un changement d'échelle

analogue (bien que moins coûteux) dans le traitement des espaces publics? Avec ce qu'on appellera une «infrastructure d'espaces publics», plus ambivalente qu'une collection de mesures ponctuelles favorables aux déplacements doux, mais finalement sans grand impact sur la vie urbaine.

De nouvelles pratiques

On a vu, avec la construction du CEVA, et même avant son inauguration, le succès de la Voie verte d'agglomération. De nouvelles pratiques se sont rapidement imposées, ouvrant une relation plus vivante, moins motorisée avec le territoire. Prochainement, et cela est prometteur, son prolongement vers la ZIMEYSA, et son articulation avec la voie verte en direction de Bernex.

Autre occasion de rénovation urbaine à grande échelle, celle des espaces publics de la ville. Faisons des projets de véritables continuités d'espaces publics permettant de relier, à

pied ou à vélo, divers pôles de la ville. Réaménageons des rues et des places, encore largement formatées pour les déplacements motorisés. Développons des approches architecturales et paysagères pour ces espaces; en faveur d'un bon climat urbain – au propre et au figuré – pour les piétons et les cyclistes.

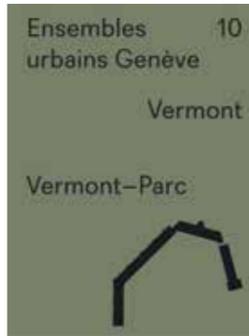
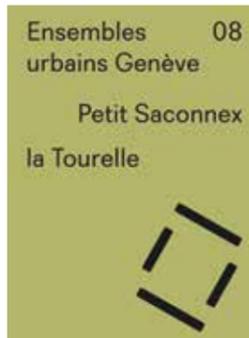
Pour ce faire, il faudra bien un jour acter et consolider la diminution de part modale des transports individuels motorisés avec le levier de la *Loi pour une mobilité cohérente et équilibrée* (LMCE) et ramener à des usages collectifs des espaces publics ne servant souvent qu'au stationnement privé. Aussi, il faudra repenser le réseau à neuf, fixer des priorités, cesser d'additionner les contraintes fonctionnelles de tous les modes de déplacement. □

Christophe Beusch, architecte
et Philippe Burri, ingénieur.

¹Office cantonal des transports

«Réaménageons des rues et des places, encore largement formatées pour les déplacements motorisés. Développons des approches architecturales et paysagères pour ces espaces; en faveur d'un bon climat urbain – au propre et au figuré – pour les piétons et les cyclistes.»





Cahier 08 _ Petit Saconnex/La Tourelle
ISBN 978-2-88474-332-7

Cahier 09 _ Valais, Rue de Lausanne
ISBN 978-2-88474-333-4

Cahier 10 _ Vermont, Vermont-Parc
ISBN 978-2-88474-334-1

Ces cahiers peuvent être commandés aux éditions infolio (www.infolio.ch) ou à fas.e.u@bonnet-architectes.ch / Prix : 25.-

FAS Genève Ensembles urbains Genève

La section genevoise de la FAS continue son travail de documentation des ensembles urbains genevois avec la publication en mai 2020 de trois nouveaux cahiers: Petit-Saconnex/La Tourelle d'Inès Lamunière et Vincent Mas D'urbec; Valais/Rue de Lausanne de Rolf Seiler et Vermont/Vermont-Parc de Tarramo Broenimann.

Trois exemples importants issus de trois périodes clé du développement de Genève au XX^e siècle: les années 30 avec la rue de Lausanne, le début des années 50 avec Vermont-Parc et la deuxième moitié des années 60 avec la Tourelle. Dans chacun des cas, les projets s'inscrivent dans des problématiques spécifiques à leur époque en y apportant des réponses fortes et spécifiques: la conservation d'un espace paysager important à Vermont Parc, la définition d'un boulevard urbain à la rue de Lausanne ou la réinterprétation du square à la Tourelle.

Toutes ces réponses restent d'une très grande pertinence contemporaine et nous espérons que leur documentation

précise et systématique puisse enrichir notre base référentielle commune.

Les modèles sont en effet nécessaires à tout développement urbain et la richesse du champ d'où ils peuvent être récoltés est déterminante. Face à une technocratisation croissante des modèles où le normatif et le réglementaire gouvernent les formes construites plus que tout autre facteur, il nous semble essentiel de rendre visibles et accessibles dans le détail des exemples qui ont contribué historiquement à la très grande qualité du patrimoine bâti genevois.

À l'exemple de Vermont-Parc dont la forme serpentine sera réinterprétée à Morillon-Parc, puis à la Gradelle puis au Lignon¹, nous espérons que le catalogue grandissant d'exemples des cahiers des Ensembles Urbains pourra enrichir un champ référentiel spécifique à Genève et offrir une matière à réinterpréter copier et débattre. Un enrichissement par infusion du patrimoine bâti de demain. □

Pour le comité d'édition de la FAS Genève,
Jean-Paul Jaccaud

¹ _ A clos Ouvert, texte de P. Nerfin, Ensembles Urbains Genève, cahier N° 10: Vermont/Vermont-Parc

AGA Reprendre la route

Crise sanitaire

La crise sanitaire que nous traversons a suscité une intense activité pour que les autorités prennent position formellement. L'Association genevoise d'architectes (AGA) n'a pas ménagé ses efforts en soutenant les démarches de la FAI pour défendre les intérêts des architectes dans le cadre des réductions de l'horaire de travail (RHT) et des chantiers. Pour le surplus, les chantiers ont repris courant avril. Maintenant il va s'agir de gérer à la reprise des activités avec des règles de fonctionnement qui seront à appliquer durablement.

Débats publics

L'AGA, qui suit activement les questions relatives à l'exercice de la profession d'architecte, est aussi engagée dans les débats publics suscités par les actions politiques. L'Association a notamment été active, par le biais de la FAI, pour obtenir un moratoire au sujet de la mise en application du nouveau règlement d'application de la loi sur l'énergie.

Aujourd'hui, l'AGA s'inquiète des conséquences, encore difficiles à anticiper, du moratoire sur la zone 5, de l'agenda à mettre en place et de l'impact sur les emplois du secteur dans notre canton. Notre association va participer activement à la création de zones de dialogue afin de porter la voix des professionnels auprès des autorités dans un souci d'échange constructif.

Centenaire

L'AGA se prépare également à une célébration. L'Association fêtera ses 100 ans en 2022, et prépare d'ores et déjà une année de festivités. Les thèmes qui se profilent vont toucher la société comme le fait l'architecte dans l'exercice de sa profession. Ce métier nous concerne tous, à divers degrés, en tant que professionnels, citoyens ou utilisateurs. L'architecture est présente dans toutes les phases de notre vie et nous souhaitons apporter un éclairage sur cette dimension multiple. Les lecteurs d'*Interface* seront évidemment tenus au courant des préparatifs. □

Michel Grosfillier, président de l'AGA

Suivez-nous sur
Instagram
@aga_architectes



Servette 89, 91 et 93 Saga médiatique autour du métier d'ingénieur

Le mercredi 2 octobre 2019 en fin de journée, la nouvelle tombe: la Migros de la Servette n'ouvrira pas ses portes demain.

À ce moment, les causes de cette décision brutale ne sont pas encore connues, mais déjà la presse locale s'empare du sujet. Rapidement une rumeur arguant que le bâtiment risque de s'effondrer est lancée. Dès le lendemain, l'un des propriétaires la confirme et précise que, d'après une expertise technique, les bâtiments qui se trouvent au 89, 91 et 93 rue de la Servette présentent de graves problèmes au niveau de leur structure porteuse, obligeant les propriétaires à prendre une décision radicale: évacuer dans les meilleurs délais la totalité des 26 appartements ainsi que tous les bureaux et les surfaces commerciales de ces trois immeubles. Cette décision n'a fait que renforcer l'intérêt de la presse pour cette actualité, compte tenu du caractère social que représente le délogement des 75 habitants et de tous les commerces se trouvant dans ces immeubles.

Les interrogations autour des conclusions du rapport de l'ingénieur-expert ont été telles que celui-ci a même fait la une de *La Tribune de Genève*, pour expliquer son travail dans le cadre de l'expertise de ces bâtiments. Dans l'un des articles parus, il est même écrit: «Pour une fois, les ingénieurs civils sont passés avant les flammes».

Pour l'opinion publique, il est difficilement compréhensible qu'un immeuble construit

dans les années 1960 soit au bord de la ruine depuis plus de 50 ans. Pour beaucoup, le rôle d'un ingénieur civil dans la construction d'un bâtiment est de «faire tenir» celui-ci. Dès lors, peut-on considérer que cet ouvrage, qui a manifestement «tenu» plus de 50 ans, puisse s'effondrer à n'importe quel moment, et, ce depuis sa construction d'origine? Pour répondre à cette question, il me paraît nécessaire d'apporter quelques précisions au sujet de la profession d'ingénieur civil responsable des structures porteuses.

Quelques précisions

Tout d'abord, expliquons ce qui se cache derrière l'expression «faire tenir» un bâtiment: Toute construction est composée d'une ossature porteuse à l'image du squelette d'un corps humain. Cette structure est conçue et dimensionnée par l'ingénieur civil pour résister à toutes les actions qu'elle subira pendant sa durée de vie: son poids propre, les charges variables des utilisateurs, ainsi que les actions des vents et séismes. Pour remplir sa mission, l'ingénieur civil doit respecter dans ses calculs plusieurs normes qui définissent une marge sécuritaire, compte tenu de différents paramètres. Son application est somme toute assez simple: les efforts internes de la structure issus des actions sont augmentés par des coefficients de charges, tandis que la résistance interne des éléments qui composent la structure porteuse est réduite

par des coefficients de sécurité. Pour être considérée comme répondant aux normes, une structure porteuse doit donc bénéficier d'une marge suffisante avant sa ruine. On dit alors que sa sécurité structurale est assurée.

Ensuite, contrairement à la pratique existante dans d'autres pays, le métier d'ingénieur civil en Suisse est exercé sans expertise extérieure sur une grande majorité de constructions. En d'autres termes, les calculs d'un ingénieur civil sur les bâtiments ne font pas systématiquement l'objet d'une vérification externe par un confrère. L'ingénieur porte donc seul la responsabilité de son travail et toute erreur de celui-ci peut avoir des conséquences importantes sur l'ouvrage.

Enfin, il faut préciser que les connaissances des ingénieurs dans certains comportements des structures et mécanismes de ruptures évoluent continuellement. Ces changements sont accompagnés de mises à jour des normes et des directives techniques. Il est donc tout à fait possible qu'un bâtiment réponde entièrement aux normes de sa construction, mais qu'il ne remplisse plus les normes mises à jour ultérieurement.

Dans le cas des expertises et interventions sur les ouvrages existants (transformations, surélévations), une difficulté non négligeable réside dans le fait que les plans d'exécution ne sont que très rarement retrouvés. Dans ces circonstances, l'ingénieur doit lever plusieurs inconnues (épaisseurs, positions et quantités d'armatures, qualité des matériaux mis en œuvre). Il doit alors s'appuyer uniquement sur des données partielles de l'ouvrage issues de sondages ponctuels réalisés dans des conditions souvent difficiles avec les bâtiments en exploitation.

Le rapport de l'expert

Pour revenir au cas des bâtiments de la rue de la Servette, le rapport de l'expert a mis en évidence la qualité médiocre du béton utilisé lors de leur construction ainsi qu'un

manque d'armature généralisée autour des appuis. La capacité portante des dalles a été jugée proche de la ruine, c'est-à-dire que la structure ne présentait aucune marge sécuritaire et ce depuis le début de sa construction. Le mécanisme de ruine évité étant particulièrement dangereux, puisqu'il s'agit d'une rupture fragile par poinçonnement des dalles autour des colonnes d'appuis.

Dès lors, peut-on juger la recommandation de l'expert disproportionnée? Un expert qui a, soulignons-le, fait vérifier ses calculs et ses hypothèses par un confrère, professeur reconnu internationalement dans le domaine, et qui a confirmé les conclusions du rapport. Est-ce que le simple fait que l'ouvrage ne se soit pas effondré depuis sa construction justifie le maintien de son exploitation au risque de mettre en danger ses occupants?

D'après les éléments dont je dispose pour juger de ce cas, et pour avoir été dans ma pratique d'ingénieur civil confronté ponctuellement à des situations similaires, bien que moins extrêmes, je suis d'avis que la décision de l'ingénieur est non seulement juste mais également courageuse. Elle a peut-être évité un accident grave dont les conséquences auraient été désastreuses.

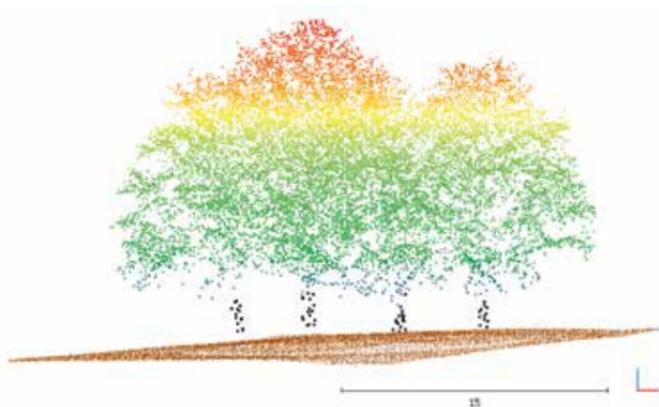
Mais au fait, le cas de ce bâtiment est-il exceptionnel? Est-il possible que d'autres immeubles construits en Suisse à différentes époques puissent, eux aussi, se trouver dans un état «proche de la ruine», mettant ainsi la vie de leurs utilisateurs en danger? Malheureusement, même si le cas de la Servette est peut-être extrême, il m'est difficile de croire qu'il s'agit d'un cas isolé.

Il faut donc se réjouir que des expertises soient effectuées tous les jours sur des constructions existantes. Et prendre conscience que chaque fois, c'est la responsabilité des ingénieurs civils, mais aussi celle des propriétaires qui est engagée. □

Marcio Bichsel, ingénieur civil REGA SIA
Président SIA Genève

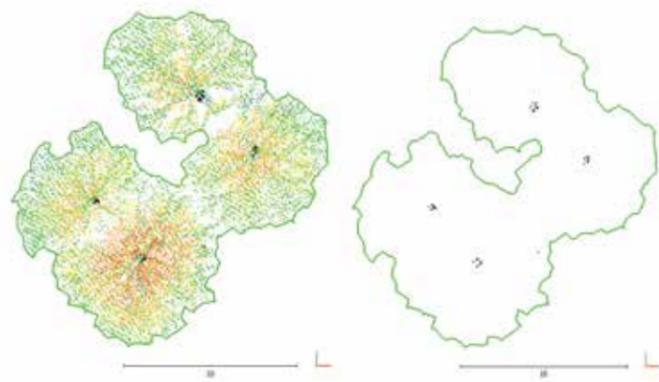
Vue en élévation (fig.1)

En marron: le terrain, en noir: les troncs, du vert au rouge (en fonction de l'altitude): les ramures.



Vue en situation (fig.2)

Le trait vert représente la couronne des arbres (déterminée après analyse). En noir: les troncs.



AGG Perspectives d'utilisation des données LiDAR (2019) disponibles sur le SITG

La plateforme du système d'information du territoire à Genève (SITG) centralise une multitude de données qui sont alimentées et actualisées régulièrement. Parmi celles-ci figure la dernière campagne de mesures LiDAR de 2019, dont le nuage de points bruts 3D a été récemment mis à disposition. L'ingénieur géomètre suit l'évolution permanente de ces technologies et de ces données qui constituent une ressource complémentaire pour la gestion du territoire. Quelques perspectives d'utilisations de ces données sont décrites ci-après.

Le laser-scanner aéroporté (ALS) est adapté pour l'acquisition de données tridimensionnelles sur de vastes étendues géographiques. Ce procédé utilise la télédétection par LiDAR (cf. encadré) pour calculer des nuages de points 3D.

Les deux principaux produits dérivés sont le modèle numérique de terrain (MNT) et le modèle numérique de surface

(MNS). Bien qu'utilisés principalement en topographie, ceux-ci sont également employés dans de nombreux domaines comme la gestion forestière, l'archéologie, la modélisation 3D, etc.

Évolution de la qualité

Cette technique d'acquisition n'est pas nouvelle, mais l'évolution des capteurs a permis d'accroître de manière significative la qualité et la quantité des données. À titre d'exemple, entre 2013 et 2019, la précision a été améliorée d'un facteur deux (en 2019: 10 cm en planimétrie et 5 cm en altimétrie) et la densité a été multipliée par cinq pour atteindre environ 25 pts/m² en 2019. Cette densification apporte une meilleure description des objets contenus dans le nuage, favorisant ainsi leurs interprétations.

Les figures 1 et 2 représentent un extrait d'un nuage de points colorisés. Dans cet exemple, les couronnes, les hauteurs d'arbres et la position des troncs (dans ce cas) peuvent être déterminées après traitement informatique.

Malgré une densité élevée, les données ne permettent pas (encore) d'obtenir un niveau de détail suffisant pour décrire distinctement tous les objets (cheminées, ligne de rupture, diamètre de troncs d'arbres...). Il est également important de

souligner que ces données peuvent être précises sans être fiables. De plus, il est évident que l'interprétation des données influe directement sur le résultat. C'est pourquoi ces données nécessitent une analyse par des spécialistes, avant leur utilisation pour en assurer la fiabilité. Le traitement de ces données brutes (centaines de milliers de points) requiert une expérience et une maîtrise des outils informatiques pour en récupérer une synthèse exploitable.

En termes topographiques, l'exploitation des dernières données LiDAR (2019) fournit une qualité suffisante pour les besoins de certains projets. Ces besoins peuvent être liés à la nature même du projet ou à son état d'avancement. Sont concernés, par exemple, les études de faisabilité, les avant-projets, les plans localisés de quartier, les demandes de renseignement pour autorisation de construire...

Toutefois, l'utilisation des données LiDAR ne peut pas s'opérer de manière systématique: elle peut être inexistante, partielle ou complète. En effet, chaque projet a sa particularité et ses contraintes locales et des relevés complémentaires sont nécessaires, notamment pour les projets définitifs. Il convient dès lors d'assurer la précision, la fiabilité et l'exhaustivité des éléments essentiels à l'intégration

du projet (RAE, seuils...). De plus, les données LiDAR sont acquises à un instant donné, celles-ci deviennent donc progressivement obsolètes et ne correspondent plus forcément à la réalité. Un relevé topographique in situ reste par conséquent indispensable.

Des avantages

Cette ressource a l'avantage de fournir une importante quantité de données géométriques sur l'ensemble du territoire genevois. En complément des mesures traditionnelles, cette méthode permet d'apporter une autre vision de l'espace et de mesurer des éléments difficilement accessibles comme des toitures, des cimes d'arbres, des terrains très accidentés, etc. Son exploitation est non-invasive, rapide et à moindre coût. Cependant, l'analyse d'un spécialiste en géomatique reste indispensable pour identifier les artefacts et les parasites pouvant tromper les non-initiés. □

Julien Marchais
Ingénieur MSc en géomatique dipl. HES
HCC ingénieurs géomètres SA

LiDAR Light Detection and Ranging-Laserscanning.
Un faisceau laser est réfléchi par la surface d'un objet qui la renvoie vers sa source. La distance est déduite par déphasage temporel.

Si l'Art de l'ingénieur est toujours universellement reconnue en tant qu'existence – nous nous déplaçons tous pour admirer les grands ouvrages de ce monde –, son essence est hélas aujourd'hui fortement menacée. Sommes-nous encore prêts à lui donner les moyens de s'exprimer ?

AGI

L'art de l'ingénieur ou le devoir de vérité

De tout temps et en tout lieu, l'Art a toujours eu pour objet (ou pour fonction) l'expression de grandes idées, de grandes valeurs et de symboles dans un matériau sensible. De la pierre du sculpteur, aux vibrations sonores du musicien, en passant par les couleurs du peintre, la voix de l'artiste s'impose à nous comme une vérité dont on ne saurait discuter. Comme le disait Boileau: «Rien n'est beau que le vrai».

Nous autres, ingénieurs ou architectes, ne saurions échapper à cette règle et le qualificatif d'art dont on qualifie souvent nos ouvrages doit bien nous rappeler qu'à ceux qui nous mandatent, nous écoutent et nous rémunèrent pour accomplir une œuvre, nous avons, nous aussi, un devoir de vérité. Vérité sur les prestations offertes, vérité encore sur celles que nous avons réalisées et ce, pour le juste prix que nous avons offert, ou pour celui qui nous a été payé.

Or dans un monde où il n'est plus besoin d'être hôtelier pour pouvoir accueillir, d'être chauffeur pour conduire, de savoir écrire pour être journaliste, et où il n'est même plus nécessaire d'être généreux pour pouvoir partager, nos clients sont-ils encore seulement conscients qu'ils ont à exiger de nous pareille vérité lorsque nous travaillons pour eux ?

Notre noble rôle de créateur, de garant de la sécurité et de la durabilité peut-il seulement survivre dans une société

où la reconnaissance même de la valeur du service tend, jour après jour, à un peu plus disparaître au profit (sic) de la prépondérance du prix le plus bas ?

Une certaine idée de notre travail

Souvenons-nous que l'évolution magnifique de nos outils de production nous permet certes de toujours améliorer la cadence, mais gardons à l'esprit que le temps de la réflexion et de la conception n'est lui pas compressible à l'infini!

Rappelons-nous enfin, que derrière les tarifs des prestations que nous défendons, se retrouvent une certaine idée de la qualité, l'impérieuse nécessité de la transmission de notre savoir, de même que le financement de notre intelligence, des innovations qui en émergent, ainsi que l'assurance de durabilité, d'économie et de sécurité qui fondent chacune de nos réalisations.

Dans l'Art de l'ingénieur, il faut donc voir l'incarnation en une œuvre d'une vérité qui nous concerne tous, dans la noblesse du matériau qui lui permet d'exister. Le mensonge et l'illusion de prestations accomplies partiellement, ou au rabais, n'y ont pas leur place. C'est à cette philosophie-là qu'il nous faut aujourd'hui tous adhérer, et c'est cette haute estime de l'Art de bâtir qu'il s'agit encore et toujours de défendre. À tout prix. □

Pour le comité de l'AGI,
Vincent Bujard

« Dans l'Art de l'ingénieur, il faut donc voir l'incarnation en une œuvre d'une vérité qui nous concerne tous, dans la noblesse des matériaux qui fondent ses réalisations. »

Maison de l'architecture Reprise des activités à la rentrée

L'exposition annuelle de la Maison de l'Architecture de Genève «EQUATORIAL UTOPIA : 50 ans d'architecture visionnaire à Singapour» était en pleine production lorsque la pandémie de COVID-19 a atteint la Suisse. En raison des mesures sanitaires prises contre le virus, la Maison de l'Architecture (MA) ne pouvait maintenir ses activités. A savoir les cinq dernières conférences de son cycle annuel ainsi que son exposition. Afin d'assurer la pérennité de son programme, le comité de la MA a donc décidé de remettre toutes ses activités dès la rentrée.



Cycle de conférences

Le cycle annuel *Momentum* reviendra le 3 septembre avec la conférence de Tristram Carfrae. Avec des structures emblématiques telles que le Water Cube pour les jeux olympiques de Pékin, le pont The Helix à Singapour et le City of Manchester Stadium à son actif, ainsi que des collaborations avec de remarquables architectes et designers tels que Phillip Cox, Renzo Piano, Thomas Heatherwick ou encore Richard Rogers, Tristram Carfrae est devenu une référence mondialement reconnue dans le domaine de l'ingénierie structurale.

Nommé en 2014 vice-président du prestigieux bureau ARUP, il travaille actuellement sur le projet d'achèvement de la Sagrada Família de Gaudí en utilisant des techniques avancées d'ingénierie et de conception numérique.

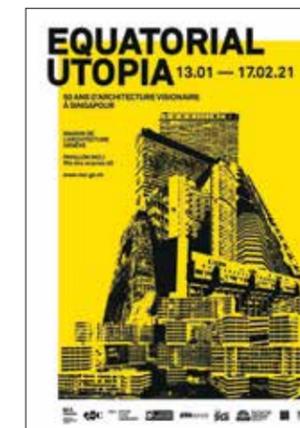
Exposition

Equatorial Utopia: 50 ans d'architecture visionnaire à Singapour ouvrira quant à elle ses portes au public du 13 janvier au 17 février 2021 dans le grand Dôme du Pavillon Sicli à Genève. Un projet développé en collaboration avec G8A et le Singapore-ETH Future Cities Laboratory.

Au travers de projections immersives et d'une carte dynamique, l'exposition proposera une plongée singulière dans l'art du bâti de la ville-jardin. Les visiteurs pourront ainsi découvrir des projets choisis de 1970 à nos jours témoignant de la dimension utopique de l'architecture de Singapour.

Souvent soumises à une forte influence occidentale, l'architecture visionnaire et la planification urbaine de cette cité-État ont été modérées, adaptées et transformées en fonction des conditions socio-culturelles, économiques, climatiques et politiques du terrain. Les projets choisis pour l'exposition illustrent cet impact important sur le discours architectural et la planification urbaine en Asie du Sud-Est et au-delà.

Une exposition satellite sera également présentée l'année prochaine à la Biennale de Venise 2021, au Centre Culturel Européen - Palazzo Bembo. □



Equatorial Utopia: 50 ans d'architecture visionnaire à Singapour
13 janvier - 17 février 2021, Pavillon Sicli

Journal réalisé par la Commission promotion et communication de la Fédération des associations d'architectes et d'ingénieurs de Genève (FAI)

Commission promotion et communication

Marcio Bichsel, Frank Herbert, Pierre-Yves Heimberg, Raphaël Nussbaumer (président), Nicolas Rist, Marie-Christophe Ruata-Arn et Antoine Bellwald.

Rédaction

Christophe Beusch, Marcio Bichsel, Vincent Bujard, Philippe Burri, Nadine Couderq, Michel Grosfillier, Jean-Paul Jaccaud, Julien Marchais, Marie-Christophe Ruata-Arn.

Réalisation

Antoine Bellwald et Marie-Christophe Ruata-Arn
Mise en page: Le Bocal
Impression: Imprimerie Atar, Genève
Interface n°31, 18 juin 2020, 2'000 ex.

Édition

FAI – Fédération des associations d'architectes et d'ingénieurs de Genève
CP 5278, CH 1211 Genève 11
Téléphone: 058 715 34 02
Email: interface@fai-ge.ch
Site internet: www.fai-ge.ch

Commissions

Concours et appels d'offres
Ecoles et formation
Partenaires professionnels
Aménagement et urbanisme
Promotion et communication

Conseil de la FAI

Nadine Couderq, géomètre AGG (présidente)
Philippe Meier, architecte FAS (vice-président)
Patrice Bezos, architecte AGA (past-président)
Michel Grosfillier, architecte AGA (trésorier)
Marcio Bichsel, SIA
Didier Collin, SIA
Samuel Dunant, AGG
Laurent Gaille, FAS
Christian Haller, AGG
Jiri Horsky, AGI
Jean-Paul Jaccaud, FAS
Nicolas Rist, AGI
Carmelo Stendardo, AGA
Carlo Zumbino, SIA
Dana Dordea, secrétaire permanente

Associations constitutives et membres de la FAI

- AGA Association genevoise d'architectes
- AGG Association genevoise des géomètres
- AGI Association genevoise des ingénieurs
- FAS Fédération des architectes suisses, section Genève
- SIA Société suisse des ingénieurs et des architectes, section Genève

Associations, commissions, archives, news sur le site web de la FAI: www.fai-ge.ch

fai Fédération des associations d'architectes et d'ingénieurs de Genève



fai

Fédération
des associations
d'architectes
et d'ingénieurs
de Genève
Case postale 5278
1211 Genève 11

P.P.
CH-1211
Genève

LAPOSTE 

