

Actuellement, le débat est vif sur la place publique et entre spécialistes au sujet des matériaux de construction les plus vertueux écologiquement. Le changement climatique influe sur les choix à opérer ainsi que sur les processus de construction à mettre en place.

## « Nous devons habituer nos yeux à regarder les structures d'une manière différente »

Depuis une dizaine d'années, le bureau d'ingénieurs INGPHI, basé à Lausanne, a anticipé le virage écologique dans le domaine de la construction en créant en son sein un groupe de réflexion sur la durabilité et des solutions constructives innovantes. C'est dans ce contexte que s'exprime Bernard Adam, ingénieur civil associé et fondé de pouvoir, à la tête d'une équipe dédiée à ces thématiques.

### Quelle est la teneur du dialogue avec l'architecte, le maître d'ouvrage et les entreprises quant au choix des matériaux pour un projet de construction ?

Depuis quelques années, les maîtres d'ouvrage, surtout dans le secteur public, mettent de plus en plus souvent en avant des critères de durabilité, notamment pour le choix de matériaux locaux, et en particulier l'utilisation du bois. Cela correspond à ce que, de notre côté, nous souhaitons proposer. Les architectes, eux, sont sensibles au retour à d'anciens matériaux comme le pisé ou la terre. En ce qui concerne les entreprises, elles s'adaptent à ces nouvelles règles du jeu.

Les entreprises de la construction sont interpellées sur la mise en valeur de savoir-faire peut-être oubliés, liée à la redécouverte de matériaux anciens, tout en développant de nouveaux processus de travail sur les chantiers. Vers quoi va-t-on ? Globalement, pour elles, l'aspect économique prime afin de garantir une certaine rentabilité, et innover représente un coût. Au niveau du chantier, nous voyons de plus en plus d'entreprises qui

développent leurs compétences dans les matériaux durables et elles ont des équipes qui maîtrisent la mise en place de ces nouveaux matériaux. On va vers plus de bois, plus de béton recyclé. La maçonnerie revient aussi et, avec elle, l'utilisation de robots afin de limiter la pénibilité du travail pour les ouvriers. L'impression 3D fait aussi son apparition, mais il y a surtout le BIM, tout le monde y trouve son intérêt: le maître d'ouvrage pour la gestion de son patrimoine à long terme, les concepteurs et les planificateurs pour coordonner les projets avec les maquettes, et les entreprises pour mieux connaître ce qu'elles vont construire.

IL Y A SURTOUT LE BIM,  
TOUT LE MONDE Y TROUVE  
SON INTÉRÊT.

D'un autre côté, les tablettes numériques remplacent de plus en plus les plans papier. Dernièrement, c'était une première, nous avons construit un bâtiment sans plan papier, uniquement avec un modèle numérique sur une tablette: toute l'armature était modélisée en 3D et en cliquant sur la position voulue, elle apparaissait en couleur; c'est plus interactif. Les grandes entreprises s'y sont intéressées et s'y mettent. Dans quelques mois, nous pourrions évaluer le gain économique mais en tout cas, nous avons effectué un essai sur une dalle, puis sur un mur, puis sur une partie de bâtiment. Quatre bâtiments sont prévus dans ce

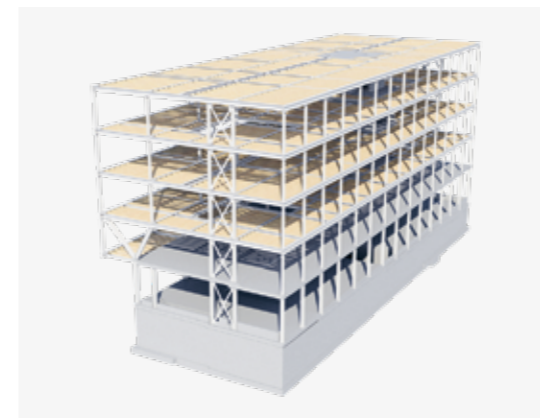
projet; nous avons prolongé l'essai sur le deuxième et le troisième. Toute la partie hors sol s'est faite ainsi et tout le monde veut continuer. C'est une tendance globale: il y a un glissement vers le numérique. Les anciens matériaux redécouverts pourraient à l'avenir s'exprimer au travers de ces technologies.

### Comment INGPHI gère-t-il la question des matériaux dans ses projets ?

Jusqu'à présent, nous proposons du bois, du béton recyclé, etc., dans l'idée d'utiliser des matériaux plus durables, mais sans quantifier leur impact. Dorénavant, nous quantifions l'impact environnemental de nos constructions pour faire évoluer la branche vers un plus grand respect de l'environnement. Il y a plusieurs critères: les émissions de gaz à effet de serre tout au long du processus, dès l'excavation jusqu'à la fabrication, l'énergie consommée pour fabriquer les matériaux et les transporter ainsi que la préservation de la biodiversité, les déchets engendrés, etc. Nous avons développé un outil dans ce but; c'est une aide à la décision pour orienter les maîtres d'ouvrages et les architectes vers des options plus durables. Nous avons fait plusieurs fois l'exercice de comparer une structure bois et une structure béton pour le même bâtiment; il n'y a pas une grande différence de prix mais la grande différence d'émissions de CO<sub>2</sub> ou de consommation d'énergie est un argument de plus pour justifier le choix de solutions plus respectueuses de l'environnement.



BERNARD ADAM,  
INGÉNIEUR CIVIL ASSOCIÉ ET  
FONDÉ DE POUVOIR INGPHI  
INGÉNIEURS, LAUSANNE



@ Ingphi SA, Lausanne

Logements pour étudiants, Meyrin – Ecoquartier des Vergers, Coopérative La Ciguë. Minergie-P-ECO, Life Cost Cycle design, bois suisse, béton de recyclage, métal, structure rationnelle, flexibilité d'affectation, valorisation des terres d'excavation sur site, tri et recyclage des matériaux simples lors de la déconstruction. Architecte: Dreier Frenzel architecture+ communication, Lausanne.



@ Michel Danancé

Art Lab, EPFL – Structure porteuse composite en bois lamellé-collé et en acier. Aucune portée n'est identique. Pour compenser ces différences, on a utilisé l'épaisseur de tôles d'acier perforé solidaires du bois, qui participent également à la statique de l'ensemble. Ardoises en toiture. Architecte: Kengo Kuma

### L'acier est absent de ce débat alors qu'il est particulièrement bien réutilisable et recyclable. A votre avis, pourquoi ?

L'acier n'est pas absent du débat; il est très intéressant du point de vue du réemploi et du recyclage, mais son impact environnemental est plus élevé que celui du bois local, notamment pour les petites à moyennes portées. Toutefois, avec l'acier, on peut faire des portées plus grandes, des structures plus fines, plus élancées, de grands porte-à-faux. Il est intéressant parce que nous pouvons réaliser des structures plus rigides également. Nous avons construit par exemple toutes les gares du CEVA-Léman Express à Genève en collaboration avec Jean Nouvel; c'est de l'acier. Nous n'aurions pas pu utiliser ni le béton, ni le bois pour créer cette esthétique-là. Cela étant, il ne s'agit pas de jouer les matériaux les uns contre les autres, mais de diminuer l'impact environnemental de l'industrie de la construction et donc de concevoir des structures de manière à pouvoir mettre en œuvre des matériaux moins impactants.

### Et quelle place pour le verre ?

Il est vrai qu'on parle du verre porteur depuis des années; nous savons le calculer, le dimensionner, le concevoir, mais ce n'est pas très demandé ni utilisé. Il y a quelques exemples de structures un peu précieuses, de haut niveau, comme le musée-atelier Audemars Piguet au Brâs-sur. Mais ce type de réalisation reste très particulier, souvent plus dans une optique esthétique que technique.

### Quand on parle de matériaux biosourcés, il n'y a pas seulement le bois ou le béton, mais aussi le pisé, les briques, la paille: cela revient-il en force chez vous ?

Oui; nous devons habituer nos yeux à



La maison des plantes de Ricola serait le plus grand bâtiment en pisé d'Europe. La structure porteuse est en béton armé. La façade en pisé de 45 cm d'épaisseur est auto-porteuse. Architecte : Herzog & De Meuron.

© Benedikt Reimann



Hôtel des Horlogers, Le Brassus  
Bâtiment en béton et bois apparents, géométrie complexe, Minergie-ECOBois de la Vallée de Joux (Labels COBS et FCS), valorisation sur site des matériaux d'excavation et de la terre végétale.

© Hôtel des Horlogers

regarder les structures d'une manière différente, parce qu'un mur en pisé sera plus épais qu'un mur en béton ou en briques. Le paradigme d'avoir toujours la structure la plus fine, le moins de colonnes possibles, les structures les plus élancées, doit évoluer vers autre chose et nous devons développer de nouvelles méthodes de conception des bâtiments ou des structures spécifiques à ces nouveaux matériaux. Il ne suffit pas de transposer des solutions métal ou béton préexistantes. Cette question du pisé ou du béton de terre revient parce que d'une part ils utilisent peu ou pas de ciment, élément polluant dans le béton et d'autre part, quand vous construisez un sous-sol, il faut évacuer les terres d'excavation dans une décharge, et approvisionner le chantier en granulats pour le béton. Tout cela coûte en termes de transport. En fait, l'idée est surtout de pouvoir valoriser les matériaux d'excavation sur site en les intégrant dans les matériaux de construction.

**Dans la nouvelle maison de l'environnement du canton de Vaud, les murs en pisé ne sont pas porteurs car ils n'offrent pas la résistance nécessaire. On ne peut donc pas l'utiliser pour remplacer le béton ?**  
Le pisé est un matériau nettement moins résistant que le béton. Nous pouvons l'utiliser spécifiquement pour des cloisons. Ou, si vous voulez des murs porteurs, ils doivent être plus épais, comme cela a été le cas pour la maison des plantes de Ricola conçue par les architectes Herzog et De Meuron.

**Mais cela prend beaucoup de surface et va à contre-courant de l'économie du sol. Les maîtres d'ouvrages sont-ils ouverts à ce genre de choses ?**  
Vous évoquez une incohérence mais en

fait, il faudrait revoir tous les rouages de notre économie capitaliste. Il y a tellement de coûts externalisés ou qui ne sont pas payés! – le coût de l'impact sur l'environnement, par exemple – parce que nous optons pour des solutions dirigées par l'aspect financier; la réflexion est biaisée. Mais à ce stade, nous sommes bien au-delà de la seule question de la construction!

#### **Le frein est donc essentiellement économique ?**

Ce n'est pas tellement un frein, il s'agit plutôt d'une fuite en avant. Notre société a mis le doigt dans l'engrenage et on n'en sort pas facilement. C'est une sorte d'inertie qui fait que cette transition environnementale, dont nous sommes acteur, prend du temps.

#### **NOUS DEVONS DÉVELOPPER DE NOUVELLES MÉTHODES DE CONCEPTION DES BÂTIMENTS.**

#### **On entend souvent dire qu'on ne peut pas se passer de béton. Est-ce un passage obligé ?**

C'est juste; un parking souterrain, un sous-sol de bâtiment ou les fondations d'un ouvrage, évidemment seront en béton armé car il résiste bien à l'humidité et aux agressions extérieures. Par exemple, nous concevons souvent ainsi les sous-sols, les cages d'escaliers et d'ascenseurs pour constituer une ossature de contreventement, puis le reste de la structure porteuse en bois. C'est assez logique.

#### **On voit de plus en plus arriver de dalles mixtes bois/béton ; c'est cohérent ?**

Oui, absolument. Cela permet de faire collaborer le bois qui travaille bien en

traction, et le béton en compression. Nous profitons ainsi des avantages cumulés des deux matériaux, ensemble, tout en créant une structure plus légère. En outre, le fait remplacer une partie du béton par du bois permet de diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

#### **Est-ce que le béton de recyclage est aussi performant que du béton classique ?**

Le béton recyclé est un peu moins performant que le béton classique, selon la proportion de granulats recyclés. Ses caractéristiques mécaniques sont légèrement inférieures et il résiste moins aux agressions extérieures (sel de déverglaçage, gel). On peut l'utiliser pour des structures porteuses de bâtiment – elles sont à l'intérieur, donc protégées – mais moins pour des ouvrages d'art. En tous les cas, il a son utilité dans des situations bien spécifiques et beaucoup dans le bâtiment.

#### **Il semble que le BFUP (béton fibré ultra-performant) ne soit pas très présent en Suisse pour des questions de coût ?**

Ce n'est pas vrai; on le voit beaucoup en Suisse dans la réfection d'ouvrages, car avec une faible épaisseur, on renforce sans apporter de surcharge et l'on allonge la durée de vie des structures. Maintenant il s'appelle CFUP (matériau composite Cimentaire Fibré Ultra-Performant) – mais c'est le même matériau, très résistant, très rigide. De plus, il est possible de renforcer l'ouvrage sans péjorer son esthétique. Le BFUP a été utilisé pour les Viaducs autoroutiers de Chillon, au-dessus de Montreux, et nous allons l'utiliser pour le Grand Pont, en ville de Lausanne.

**Dans la construction en bois, le lamellé-collé est-il si écologique qu'on le prétend ? on oublie la colle, les lasures, les vernis...**

Le bois lamellé-collé fabriqué à partir de bois d'origine locale est plus respectueux de l'environnement que le béton ou l'acier, mais moins que le bois massif. D'abord, le sciage donne beaucoup de déchets; le tronc est rond, nous voulons du carré. Puis il faut le sécher et cela demande de l'énergie. Ensuite, il faut le coller. Il y a toute une série de processus dans le lamellé-collé qui péjorent le bilan. Mais revenir à quelque chose de plus humble signifie du bois massif en acceptant des poutres un peu voilées et quelques entailles; il faudra aussi prévoir plus de petites portées.

#### **En ce qui concerne les ouvrages d'art, est-ce possible d'utiliser du bois ?**

Dans ce domaine, nous utilisons a priori les qualités du béton, vraiment. Nous avons besoin de grandes résistances, de grandes rigidités, de précontraindre le béton. L'ouvrage utilise toutes les caractéristiques techniques du matériau, que ce soit du béton ou de l'acier. Nous ne pouvons pas faire de même avec du bois; ses caractéristiques mécaniques sont insuffisantes. Il est en outre moins durable dans le temps quand il est exposé aux intempéries.

Le bois peut se concevoir pour des passerelles avec des charges moins élevées et des portées moins grandes, cohérentes avec la mobilité douce.

#### **Depuis 2015, les bâtiments de grande hauteur en bois sont possibles en Suisse. Comment abordez-vous cela ? jusqu'où peut-on aller ?**

Pour battre des records de hauteur absolue, l'Occident n'est plus dans la course; tout se passe dorénavant au Moyen-Orient et en Asie. À nous, il reste la tour en bois, c'est notre nouvel espace de jeu, on le voit notamment dans les pays nordiques, en Autriche, et maintenant en Suisse. C'est effectivement notre rôle d'aller dans cette direction, de participer à ce tournant écologique, d'utiliser des matériaux locaux pour la construction. Mais dans la pratique, une tour en bois comporte généralement un socle et un noyau – cage d'ascenseurs, escaliers – en béton qui doivent résister au feu et permettent de contreventer le bâtiment. Après quoi tout le reste est plancher et porteurs en bois. Les restrictions tiennent aux limites du bois et aux questions de sécurité au feu: vous aurez des sections de colonnes plus conséquentes que celles en acier ou en béton. Les investisseurs doivent par

conséquent accepter une réduction de surface. Il reste que l'image de la tour en bois est valorisante – il y en a de magnifiques au Danemark et en Norvège – qui apportent une chaleur et une esthétique intéressantes.

#### **Les concepts modulaires sont la nouvelle panacée. Cette modularité s'accompagne souvent d'une préfabrication en atelier. Si l'on imagine que le bois et l'acier sont faciles à usiner, qu'en est-il du béton ?**

Il y a deux aspects: la modularité et la préfabrication. La préfabrication est moins répandue en Suisse qu'ailleurs; nous avons davantage la culture du béton coulé sur site. Construire un bâtiment avec des modules assemblés sur place, c'est bien mais vous le faites après avoir transporté du vide. Du vide léger, avec du bois, cela peut se concevoir; si vous transportez du vide lourd avec du béton, vous êtes vite limité. Avec le béton, la préfabrication se limite à des éléments comme les escaliers, les colonnes, les poutres, les prédalles... Dans le cas des tours, il est assez répandu d'avoir une ossature dans laquelle s'encastrent des modules. Un exemple original de modularité, pour la coupe du monde au Qatar, un des stades a été construit avec des containers maritimes empilés; c'est du réemploi. Cela semble saugrenu au départ mais contribue à une esthétique inusuelle. Je ne sais pas si la construction est éphémère mais ce stade pourrait être facilement déconstruit.

#### **C'EST UNE SORTE D'INERTIE QUI FAIT QUE CETTE TRANSITION ENVIRONNEMENTALE, DONT NOUS SOMMES ACTEURS, PREND DU TEMPS.**

#### **Dans votre groupe de réflexion, sur quoi travaillez-vous actuellement ?**

Nous travaillons sur deux axes allant dans le sens de la construction durable: le développement de ces outils d'évaluation de durabilité des structures dont j'ai parlé précédemment, et des solutions de dalles mixtes bois-béton de terre en collaboration avec des hautes écoles en Suisse et à l'étranger.

#### **Si vous deviez transmettre un message, quel serait-il ?**

Les pistes principales pour rendre la construction plus respectueuse de l'environnement sont connues: économie de moyens, réemploi, recyclage, maté-

riaux locaux, ciments faibles en clinker, réduction des transports, etc. En ce sens, le principe de l'économie circulaire est capital, en privilégiant le réemploi et lorsque cela n'est pas possible, le recyclage des matériaux en les faisant entrer dans le processus de fabrication des nouveaux, comme le béton concassé pour du béton recyclé, en circuit clos sur le site, le plus court possible. Les matériaux d'origine locale sont également une solution. Il faut des concepteurs et des maîtres d'ouvrage courageux qui prennent ce parti dès le départ; cela requiert que ce soit bien étudié, planifié et conçu. En second lieu, ne pas tomber dans le piège de donner des réponses durables à des questions qui ne le sont pas, comme construire des ouvrages d'art respectueux de l'environnement où les voitures vont dégager du CO<sub>2</sub>, par exemple. Enfin, il faudrait éventuellement se poser la question: pourrions-nous moins construire? La construction est un maillon de la société; elle en est aussi le reflet.

#### **Le bureau INGPPI**

INGPPI est un bureau d'ingénieurs civils, fondé en 2004, spécialisé dans la conception, la planification et la réalisation d'ouvrages d'art et par extension de structures porteuses de bâtiments, de halles, de stades et de tours. La conception d'un ouvrage d'art est un travail créatif appréhendé par INGPPI de façon globale, en étroite collaboration avec l'architecte: définition de la forme, intégration dans le site, définition du système statique, spécification des matériaux et choix la méthode de construction. Les solutions développées permettent de relever les défis de l'architecture contemporaine tels que l'utilisation judicieuse et économique des matériaux, la flexibilité, l'optimisation des structures et la gestion des géométries complexes. INGPPI s'est notamment spécialisé dans le domaine de la simulation numérique, de la modélisation BIM et de l'application d'innovations à la construction afin d'améliorer continuellement la qualité de ses projets.