

(R)évolution structurelle



DOSSIER

Dossier réalisé par
Alireza Razavi et Olivier Namias

Structure et ornement

« La crise de l'échelle et de la tectonique classique »
Entretien avec Antoine Picon

« La logique environnementale pour donner sens »
Entretien avec Roger Ridsill-Smith

« La transgression est une chose très raisonnable »
Entretien avec Paul Andreu

La fin de la notion d'archétype structurel
Entretien avec David Chambolle

À l'extrême gauche et à l'extrême droite : siège de la China Central Television (CCTV), Pékin, OMA/Rem Koolhaas architectes.
Au centre : stade olympique de Pékin, Herzog & de Meuron architectes.
Piscine olympique de Pékin, agence PTW. © Photos Ben McMillan.

Ces dernières années ont vu des architectures modifier la donne constructive moderniste par un travail original sur la structure. Revenue en façade, celle-ci emprunte un dessin qui peut nous sembler aléatoire pour former un tout structurel et formel. Cette évolution, voire même cette rupture, n'est qu'un premier signe du changement de paradigme du métier d'architecte, encouragé par l'omniprésence de l'outil informatique et par un goût renouvelé pour la matérialité. Les nouvelles collaborations entre architectes et ingénieurs, les bouleversements des techniques constructives et l'émergence d'une autre monumentalité apparaissent dès lors comme des enjeux déterminants de l'architecture actuelle.

Portées par un contexte économique global favorable, des constructions audacieuses se multiplient et cherchent à proposer une performance nouvelle. De ces bâtiments naissent des identités très fortes, immédiatement véhiculées et copiées à travers le monde. Nous avons cherché à cerner les moteurs de cette transformation à travers quelques bâtiments remarquables déjà connus de tous mais peu souvent interrogés sous l'angle de leur rapport à notre culture technique. Quatre architectes et ingénieurs s'expriment, ils n'hésitent pas à parler de véritable révolution.

Structure et ornement



© 2007 Stephen White

Depuis la séparation des métiers d'architecte et d'ingénieur (généralement acceptée comme l'une des conséquences de la révolution industrielle), l'architecte, pour s'occuper de structure, a adopté diverses attitudes. L'expressionnisme structurel du « high-tech », cherchant à renvoyer une image « technologique » du bâtiment, en est la forme la plus connue des dernières décennies. D'une tradition largement anglaise, cette école trouvait sa genèse dans un idéal scientifique et humaniste postindustriel, où la filiation (maintes fois décrite) de Paxton à Hopkins en passant par Archigram était complétée par l'esprit de la *Machine à habiter*.

Symbole de cet idéal, le fruit de la collaboration entre deux ingénieurs (Ted Happold et Peter Rice) et deux architectes (Richard Rogers et Renzo Piano) pour le Centre Georges-Pompidou en 1970. Ce projet, toujours avant-gardiste à bien des égards dans un Paris architecturalement morose, illustre une volonté bien précise, non seulement de voir l'ossature participer à l'organisation et au langage du bâtiment mais aussi

d'introduire des possibilités matérielles et sensorielles nouvelles.

Cette réflexion sur la structure est aujourd'hui menée par une nouvelle génération d'architectes qui ont abordé l'exercice sous un angle différent et dans un contexte culturel et technologique nouveau. Ainsi, à l'occasion de projets récents, des structures dont les typologies sont en rupture avec notre culture géométrique architecturale et structurelle ont été proposées ; elles reposent sur l'idée d'une ossature composée d'éléments non répétitifs et/ou non linéaires. Le défi est de taille, quelques milliers d'années de culture constructive nous incitaient encore à concevoir des structures selon le même principe : permettre la descente de charges aux fondations le plus rapidement possible et rechercher l'économie par l'emploi d'éléments identiques, mis en œuvre répétitivement.

DE LA PEAU À LA STRUCTURE

Pour le Pavillon Noir, le Centre chorégraphique d'Aix-en-Provence (1999)¹, Rudy Ricciotti, guidé à la fois par une volonté de

rupture avec l'héritage tectonique moderniste et un désir de voir exprimées les sollicitations physiques spécifiques à son bâtiment, proposait une structure externe à l'enveloppe offrant à la vue un assemblage d'éléments porteurs qui rappelait visuellement le comportement mécanique de l'édifice mais peut-être également en écho à ces mêmes forces qui équilibrent le corps du danseur. Inversion du paradigme minimaliste refusé par Ricciotti. Pas moins de 26 modélisations différentes ont été nécessaires afin d'opter pour un juste milieu entre l'économie de moyens (les éléments s'affinent en montant) et la garantie statique (zone sismique). Une esthétique née de la convergence d'un programme, d'un matériau, mais surtout de la volonté de voir les forces physiques en présence donner une identité au bâtiment.

En 2002, Toyo Ito parlait d'une « nouvelle matérialité, née de la préoccupation de l'architecture contemporaine pour la surface », autrement dit la peau. Sur ce registre, l'incroyable diversité et la précision des travaux de Herzog & de Meuron les ont conduits,

à l'occasion de l'immeuble Prada réalisé à Tokyo (2003), à proposer un mur-rideau à la géométrie complexe. Un projet pivot dans lequel une trame diagonale porteuse reçoit une double peau en verre moulée, à la géométrie variable. Bien qu'inscrites dans une trame régulière, la peau et la structure se rencontraient ici d'une manière nouvelle pour donner naissance à une information sensorielle changeante, reproduisant et enrichissant l'intention originelle telle qu'elle était visible deux ans plus tôt sur une maquette du projet. Le projet construit conservait non seulement sa radicalité conceptuelle mais sa tectonique et ses solutions matérielles lui conféraient également une dimension nouvelle.

Cette recherche sur la perception et les possibilités de la peau, Herzog et de Meuron l'ont étendue à l'occasion du stade olympique de Pékin. Ayant entre-temps réalisé un autre stade à Munich (où toute la surface extérieure était constituée par un ensemble de coussins Téflon à air comprimé, système de peau qui autorise à son périmètre une configuration géométrique infinie mais limitée en portée), l'expérience acquise à cette occasion allait être intégrée et enrichie : un réseau d'apparence aléatoire définissant une structure, l'ossature du stade. Un ensemble de formes géométriques recomposées (toroï-

de, ellipsoïde...) constituant la géométrie finale, c'est sur cette géométrie que les lignes du dessin en nid d'oiseau sont projetées pour être intégrées à la structure.

La gestion de ces lignes structurales (appelées pour certaines à devenir des éléments

L'intention géométrique est de créer une forme qui soit toute structure

porteurs) est extrêmement complexe car, à tout moment, il est impératif que la lame des éléments soit normale à la surface de l'enveloppe. L'intention géométrique est de créer une forme qui soit toute structure ; il n'y a pas de distinction entre façade et toiture et il existe un support mutuel entre les deux. D'apparence aléatoire, la géométrie est gérée

par des « règles » auto-imposées qui créent cette apparence de nid en équilibrant la répartition des éléments porteurs.

Toyo Ito, lui, après la médiathèque de Sendai (2001), où l'on pouvait découvrir les premiers fruits d'une réflexion structurale innovante, enchaîne une suite de trois projets où ossature et peau s'intègrent selon un tracé aléatoire. D'abord pour le projet de la galerie Serpentine à Londres (2002), avec l'appui de Cecil Balmond de Ove Arup, Ito dessine une boîte simple dont l'ossature est la composante de caissons polygonaux, issue d'une trame là aussi totalement aléatoire mais équilibrée dans sa répartition. Aidés par la faible charge à supporter en toiture (puisque'il s'agit d'une structure temporaire) et la grande quantité de lignes, les éléments porteurs sont de fines lames d'acier constituant un entrelacs de caissons polygonaux, certains ouverts (donc laissant passer la lumière), d'autres fermés. Puis dans l'immeuble Tod's de Tokyo (2004), où la façade (porteuse) suit un dessin qui est l'empreinte d'un arbre, déroulée sur toutes les façades exposées. Pareille à l'arbre, la trame structurale, bien qu'aléatoire, semble suivre une logique végétale et s'amincit en montant. Enfin, pour le bijoutier Mikimoto (2005), Ito propose une façade en acier, perforée cette fois d'ouvertures polygonales, semblable à une peau de panthère.

Ces projets (pour ne citer qu'eux) illustrent l'évolution des préoccupations d'une famille d'architectes conscients à la fois des possibilités matérielles et phénoménologiques de la peau et sensibles également aux possibilités spatiales de la structure et à la nécessité d'intégration des éléments constitutifs du bâtiment dans un tout cohérent. Cette démarche met au jour les différences avec une autre famille d'architectes qui, ayant largement succombé aux excès plastiques gratuits, a demandé à la forme de conduire la structure, reléguant l'ingénierie du bâtiment au stade de service « après conception ». C'est une notion plus élémentaire de la structure qui est entretenue ici. Celle-ci revient en façade et après avoir recherché une certaine immatérialité, la dimension tactile reprend de l'importance et s'éloigne du minimalisme. Reflet sans doute d'un désir ornemental (déjà exprimé chez Herzog et de Meuron), mais aussi métaphore de nature autorisée par une haute technicité offerte aux architectes par les ingénieurs. Notons cependant que, du point de vue de ces derniers, une structure « non linéaire » ne fait pas nécessairement référence



Page de gauche et ci-dessus : le pavillon de la galerie Serpentine à Londres, 2002. Toyo Ito, architecte. L'entrelacs structurel.

à sa non régularité géométrique mais à son comportement structurel. Cette non linéarité peut venir soit du matériau (plastification), soit du fonctionnement (en grand déplacement, par exemple, pour les membranes).

NATURE, TECHNOLOGIE ET ORNEMENT

La sensibilité contemporaine est marquée par l'ubiquité de la conscience écologique d'une part, et l'évolution des outils de modélisation, d'analyses, de prototypages et de fabrication d'autre part. Mais point de structure « environnementale » ici, puisque la nature est uniquement considérée comme source d'inspiration. En ces temps où la conservation de l'énergie tend à régir les codes de construction des pays industrialisés, l'émergence de cette esthétique de l'aléatoire représente un paradoxe ; car si elles s'inspirent de systèmes disponibles dans la nature, ces structures ne tendent pas pour l'heure vers une économie de matériaux ou une plus grande simplicité de mise en œuvre. Rappelons toutefois que cette recherche de modèles statiques dans la nature n'est pas nouvelle : les colonnes arborescentes, les structures de câbles, les bulles de savon aux surfaces minimales sont autant de modèles « naturels » déjà exploités par le passé.

Ce qui diffère aujourd'hui est le niveau de complexité géométrique des projets, rendue possible par un grand transfert de technologie issu de l'essor des puissants logiciels de modélisation et de calculs au profit de la création architecturale. Accessibles au grand public depuis le milieu des années quatre-vingt-dix et originellement destinés à l'industrie aéronavale puis au cinéma, ils ont été utilisés dans un premier temps par les écoles d'architecture américaines (seules capables alors de payer les coûteuses licences et plates-formes Unix), pour

en s'affranchissant de la géométrie conventionnelle, on peut parler de *structuralisme* ornemental

ensuite rapidement se démocratiser dès le passage sur plate-forme PC. Ainsi l'exploration de la géométrie du stade de Pékin n'a-t-elle été rendue possible que par l'utilisation d'une gamme d'outils très variés, de la visualisation au prototypage rapide.

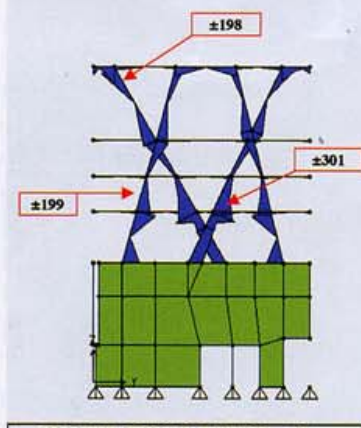
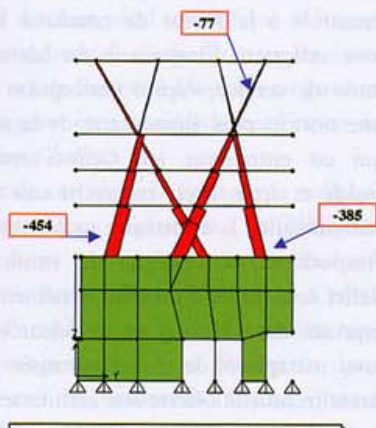
Très tôt utilisés par la vague d'architectes postdéconstructivistes (Greg Lynn et consorts), les logiciels de modélisation et d'animation ont pris une place prépondérante dans la vision de la création architecturale des années quatre-vingt-dix et il faut sans doute rendre ici justice (sans nécessairement parler de filiation intellectuelle ou formelle) à cette génération qui, très tôt, a parlé de « répétition et différenciation ». Mais férue de modélisation informatique gérée par algorithmes et fascinée à l'excès par le potentiel numérique, elle s'est très tôt diluée et perdue, obsédée par un désir de « virtualité » qui a fini par se matérialiser... En contraste, les projets que nous évoquons

ici paraissent avant tout motivés par leur possibilité matérielle, d'où leur pertinence. S'affranchissant ainsi de la géométrie conventionnelle, particulièrement chez Herzog et de Meuron, on peut parler d'une forme de structuralisme ornemental. Si les éléments de notre culture scientifique contemporaine tendent vers la compréhension de systèmes aux géométries complexes (nanotechnologie, microbiologie...), il est peut-être possible de voir dans ces projets un reflet lointain de cette donne scientifique. Car historiquement, la structure – même lorsqu'elle était cachée – a toujours été engagée. À propos du high-tech, Kenneth Frampton remarquait justement : « Il n'y a rien dans les moyens mis en œuvre dans la construction du bâtiment dans les années quatre-vingt qui ne relève d'une haute technologie ! »

Dans une certaine mesure, grâce à la technologie contemporaine, nous pouvons reprendre contact avec une sensibilité préindustrielle où l'abondance d'informations n'est plus un obstacle culturel ou technique. Si Adolf Loos dénonçait l'ornement comme crime, il le faisait pour clamer haut et fort sa communion avec la *Zeitgeist*. Celle-ci, voyant la naissance de la machine et son esthétique dépouillée, rendait suspecte toute tentative de conciliation entre académisme et modernisme. Pourtant, il est possible d'affirmer qu'un Gaudí ou un Viollet-le-Duc, malgré leurs « crimes », étaient de loin plus innovants qu'un Loos pour qui il suffisait de dépouiller une façade pour se réclamer de la modernité. Cette notion du détail (ornement au XIX^e siècle), de l'articulation de la structure autour d'une échelle précise, comprise instinctivement jusqu'à la fin du XIX^e siècle, a été reprise et merveilleusement mise en œuvre par Peter Rice, ingénieur hors pair par sa sensibilité humaniste.

L'idéal de la machine au XX^e siècle a produit une esthétique linéaire et répétitive. Au XXI^e siècle, l'idée d'une machine intégrée à une entité organique dicte probablement une nouvelle sensibilité tectonique et architecturale. La notion de performance (visuelle, environnementale, structurelle, identitaire...) étant devenue incontournable aujourd'hui, le nouveau siècle verra peut-être naître une collaboration d'un genre nouveau entre architecte et ingénieur, les frères siamois de la construction. ■

Alireza Razavi



Le Pavillon Noir (Centre chorégraphique national), Aix-en-Provence. Rudy Ricciotti, architecte ; SEV Ingénierie, Aix-en-Provence (Serge Voline), ingénieurs. Diagramme représentant les efforts.

Note

1. Voir la publication du Pavillon Noir dans les pages Réalisations de ce numéro.



« La crise de l'échelle et de la tectonique classique »

Entretien avec Antoine Picon*

Architecte et ingénieur, Antoine Picon enseigne l'histoire de l'architecture et de la technologie à la Graduate School of Design de Harvard, aux États-Unis. Constatant la fin de la « tectonique » classique, il juge les changements architectoniques induits par les nouvelles technologies comparables aux bouleversements survenus à la Renaissance.

DA : ON NOTE UN INTÉRÊT GRANDISSANT DES ARCHITECTES POUR L'EXPRESSION DE LA STRUCTURE. QUEL EST VOTRE SENTIMENT SUR LE RETOUR DE LA STRUCTURE EN FAÇADE ET SUR LA NOTION DE CETTE STRUCTURE QUI DEVIENT ORNEMENT ?

Antoine Picon : Tout dépend de ce qu'on appelle structure. Dans une certaine mesure, c'est davantage un retour vers la matérialité, quelque chose qui concerne la pesanteur, l'articulation et le grain du matériau. Il est indé-

niable qu'il y a un regain d'intérêt pour les matières, les textures mais je pense que, paradoxalement, il existe aujourd'hui une crise de la structure car il manque une syntaxe constructive claire. Si on prenait le temple grec comme paradigme de la tectonique (par tectonique, j'entends usage de la structure comme exercice de lisibilité et principe de révélation spatiale du bâtiment), on est dans la post-tectonique. Il existe ici un rapport à l'échelle qui n'est pas simple : le stade olympique de Pékin pourrait être un tout petit bijou serti ou énorme, on ne sait pas forcément. Nous sommes dans une crise de l'échelle et de la tectonique classique.

DA : S'AGIT-IL DE LA CONSÉQUENCE D'UNE INSPIRATION PLUS ABSTRAITE EN ARCHITECTURE ?

Le siège de la China Central Television (CCTV), Pékin. OMA/Rem Koolhaas, architectes. Arup, ingénieurs. Sur une plate-forme regroupant la production s'élèvent deux tours aux activités distinctes, les bureaux de la Direction coiffant l'ensemble. À l'arrière-plan, le TVCC, également réalisé par l'OMA.

AP : Il y a plusieurs choses. Le terme de structure ne désigne pas exclusivement les éléments porteurs (structure au sens général), l'idéal moderne de structure est lié à une certaine idée d'intelligibilité du tout.

C'est une notion qui émerge avec un certain nombre d'idées au cours du XVIII^e siècle pour aboutir, par exemple, au minimalisme structurel qui cherchait à renforcer la lisibilité de l'espace. Le minimalisme allait de pair avec l'idée du parti le plus performant économiquement et esthétiquement. Mais dans l'idée de structure il y a deux éléments : l'idée d'efficacité structurelle et tout de même celle de quelque chose de méta ou paralinguistique qui tient un discours sur la façon dont la matière travaille. Je dirais que la modernité a tenté de réconcilier cela avec la

© Photos Ben McMillan



^ Le TVCC, Pékin. OMA/Rem Koolhaas, architectes. Le Centre regroupera un théâtre, des cinémas, un hôtel, des restaurants. Il retransmettra les Jeux olympiques de 2008.

une *crise* de la
structure existe
aujourd'hui
car il manque
une *syntaxe*
constructive claire

* Antoine Picon est notamment l'auteur de : *Architectes et ingénieurs au siècle des Lumières*, *L'Invention de l'ingénieur moderne*, *La Ville territoire des cyborgs*, *Les Saint-Simoniens*, *Raison, imaginaire et utopie*.



La CCTV à Pékin. Les réseaux de contreventement.

mise en espace et le vocabulaire architectural. Aujourd'hui, on assiste, avec les structures que Balmond qualifie de non cartésiennes, à un changement du discours sur la clarté absolue du chemin des efforts. Se dirigeant davantage vers un propos sur la complexité, la multiplicité, sur les effets ornementaux qui naissent de la répétition des motifs, on va tenir un discours antinomique avec la notion traditionnelle de structure. Cela à mon sens est une forme de nouveau pittoresque technologique où le hasard peut, en apparence, avoir sa place.

DA : LE MYTHE DE LA CABANE ORIGINELLE ?

AP : Oui, d'une certaine façon nous sommes quelque part dans le registre de la fabrique de jardin gigantesque avec ce côté ornemental. Ce qui ne veut pas dire que, structurellement, ce n'est pas intéressant mais nous ne sommes plus dans le vocabulaire traditionnel de l'expression structurelle que les Modernes avaient conçu.

Bien entendu, l'ubiquité de l'ordinateur et tout ce qu'il permet en matière de calculs, de simulation, d'élaboration de tracés complexes ne peuvent pas être séparés de ce changement. On était resté pendant très longtemps dans un idéal de la structure dans lequel le temple grec ou la cathédrale gothique étaient des motifs à peu près parfaits. Où une absolue lisibilité des efforts, un lien très fort entre l'espace produit et la structure restaient au centre de notre expérience.

DA : SOMMES-NOUS TÉMOINS D'UN CHANGEMENT DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION DE LA STRUCTURE ? DANS LA NOTION MÊME D'EFFICACITÉ STRUCTURELLE ?

AP : Pour les architectes, il faut être honnête, la structure a toujours été en partie ornementale. Je pense qu'aujourd'hui il y a plusieurs choses : la première est que les possibilités de calculs et de simulations des ordinateurs vont au-delà des modèles simples dont on se contentait jusqu'à présent pour penser notre rapport à la matière. On est dans une phase nouvelle d'exploration : ce n'est pas un hasard si les discours sur la complexité émergent aujourd'hui. Nous sommes dans une phase où l'on teste des structures beaucoup plus complexes pour lesquelles

une transformation ou un séisme comparable à ce qui s'est passé à la Renaissance

!

nous ne possédons pas forcément des modèles d'intelligibilité.

Ensuite, dans l'économie mondialisée, ce n'est pas nécessairement l'économie de matière au sens traditionnel qui est pertinente, il peut s'agir de bien d'autres choses : où les pièces sont-elles fabriquées ? Avec quelle main-d'œuvre ? Nous sommes dans une économie beaucoup plus complexe. Par exemple, dans une économie mondialisée, les métaux utilisés pour une canette peuvent parvenir à l'usine en France depuis l'Australie et la Suède, puis le tout envoyé en Allemagne pour être peint. Nous sommes dans des circuits dans lesquels les logiques techniques traditionnelles interagissent avec des facteurs tellement compliqués qu'effectivement cela dissout un peu les modèles traditionnels de l'efficacité.

DA : VOYEZ-VOUS UN PARADOXE ENTRE L'UTILISATION ACCRUE DE L'ORDINATEUR POUR AIDER À GÉRER ET SIMPLIFIER LA COMPLEXITÉ ET UN PRODUIT ARCHITECTURAL QUI, LUI, PRÔNE LA COMPLEXITÉ VISUELLE ?

AP : Oui, il y a des tas de paradoxes. Pour prendre un exemple hors de l'architecture : tous les produits financiers sont calculés aujourd'hui par ordinateur, tous les marchés sont gérés électroniquement et jamais les comportements n'ont été aussi imprévisibles. Je crois qu'il y a une volatilité

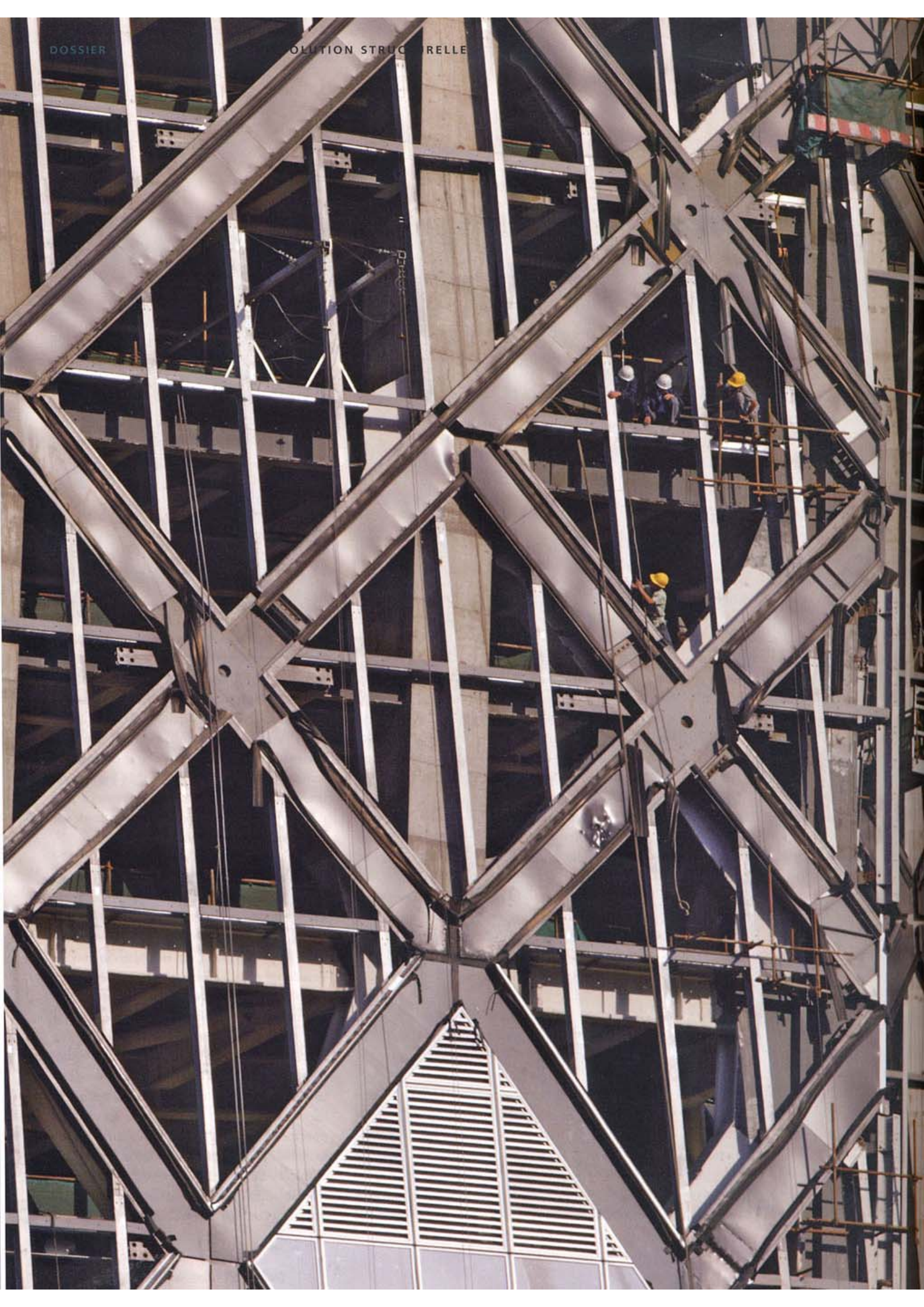
particulière et je dirais que le monde électronique est un peu comparable aux effets météorologiques au bord de la mer : vous pouvez avoir des transparences insoupçonnées et instantanées et puis, par moments, des brouillards absolument épais, alors qu'il n'y en a pas à l'intérieur des terres.

Le monde électronique rend les choses très transparentes, mais je ne suis pas certain que le processus de conception/fabrication soit aussi transparent car le monde électronique est un univers qui tend également à faciliter la superposition des couches. Il y a donc toujours tendance à voir se rajouter des couches de traitement. Il existe une sorte de rhétorique de l'épaisseur et parfois les situations deviennent parfaitement opaques à force d'épaisseurs qui s'ajoutent les unes aux autres. Nous ne sommes pas forcément dans une logique de la clarté.

Ensuite les architectes, à mon sens, représentent encore un autre phénomène. Il y a une libération de l'architecture et de la forme permise par l'ordinateur, cela est indéniable, et je dirais qu'on aurait pu penser là aussi que tout allait devenir transparent. Mais ce qui se passe aussi avec l'ordinateur, c'est que, curieusement, l'architecture est capable de rencontrer un public au-delà de ses cercles traditionnels d'expertise et de spécialistes. Ainsi je suis prêt à parier que le stade de Pékin va beaucoup plaire aux foules.

DA : POUR VOUS, CE PHÉNOMÈNE EST-IL COMPARABLE À L'AVÈNEMENT DU BÉTON ARMÉ OU DE LA PRÉCONTRAÎTE, QUI A AUTORISÉ UNE GAMME DE VOCABULAIRE TOUT À FAIT NOUVELLE AUX ARCHITECTES ?

AP : Je pense que c'est un phénomène de beaucoup plus grande ampleur. Ce qui se passe aujourd'hui à mon sens est une transformation ou un séisme comparable à ce qui s'est passé à la Renaissance. C'est-à-dire que notre mode de lecture du monde est véritablement en train d'être affecté par l'ordinateur et notre mode de rapport à la réalité est lui aussi touché ; cela dépasse les aspects purement formels. Aujourd'hui, nous sommes encore dans une phase où l'on tente d'imiter ou d'émuler la complexité du monde ambiant. On pourrait très bien revenir à une architecture qui essayait de protéger





< ^ Le siège de la CCTV, Pékin. Juxtaposition des systèmes (structure primaire, contreventement et profils murs-rideaux).



Le centre TVCC, Pékin. La toiture en partie basse du bâtiment.

de cette complexité et de réinstaurer une certaine forme de sérénité.

Voici un exemple que je donne toujours : il y a une génération encore, on ne zoomait pas dans les images. Aujourd'hui, notre rapport à l'image est complètement pris dans la pratique du zoom et du dézoomage. Beaucoup de domaines sont pareillement affectés, je pense que notre rapport à la réalité est fondamentalement modifié.

DA : À CE TITRE, L'EXPÉRIENCE, REMONTANT À QUELQUES ANNÉES, DES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES POUR CONSTRUIRE LE TERMINAL DE YOKOHAMA N'ILLUSTRE-T-ELLE PAS LES DANGERS DE CONCEVOIR DES FORMES SANS UN SOUCI PRÉALABLE DES POSSIBILITÉS MATÉRIELLES ?

AP : L'autre exemple que je donne toujours est celui de la médiathèque de Sendai : toutes ces images de l'aquarium avec les arbres et puis la réalité d'un bâtiment très lourdement construit, à l'aide de grosses plaques... La construction n'a rien à voir avec les images initiales.

Nous n'avons pas pris toute la mesure de la nouvelle situation ; le rapport des images à la réalité est en train de changer. C'est-à-dire que, paradoxalement, on pouvait s'imaginer que l'ordinateur allait permettre d'anticiper de façon plus exacte la réalité, au moyen des images. C'est en partie ce qui s'est passé mais l'ordinateur est également une prodigieuse machine à imaginer des choses qui ne seront pas forcément réalisées de la même façon. Nous sommes dans un monde où il y a de

plus en plus de fiction, la fiction numérique est une activité énorme et je pense que l'architecture est également prise là-dedans.

DA : SOMMES-NOUS TÉMOINS D'UN RENOUVELLEMENT DE LA TECTONIQUE ?

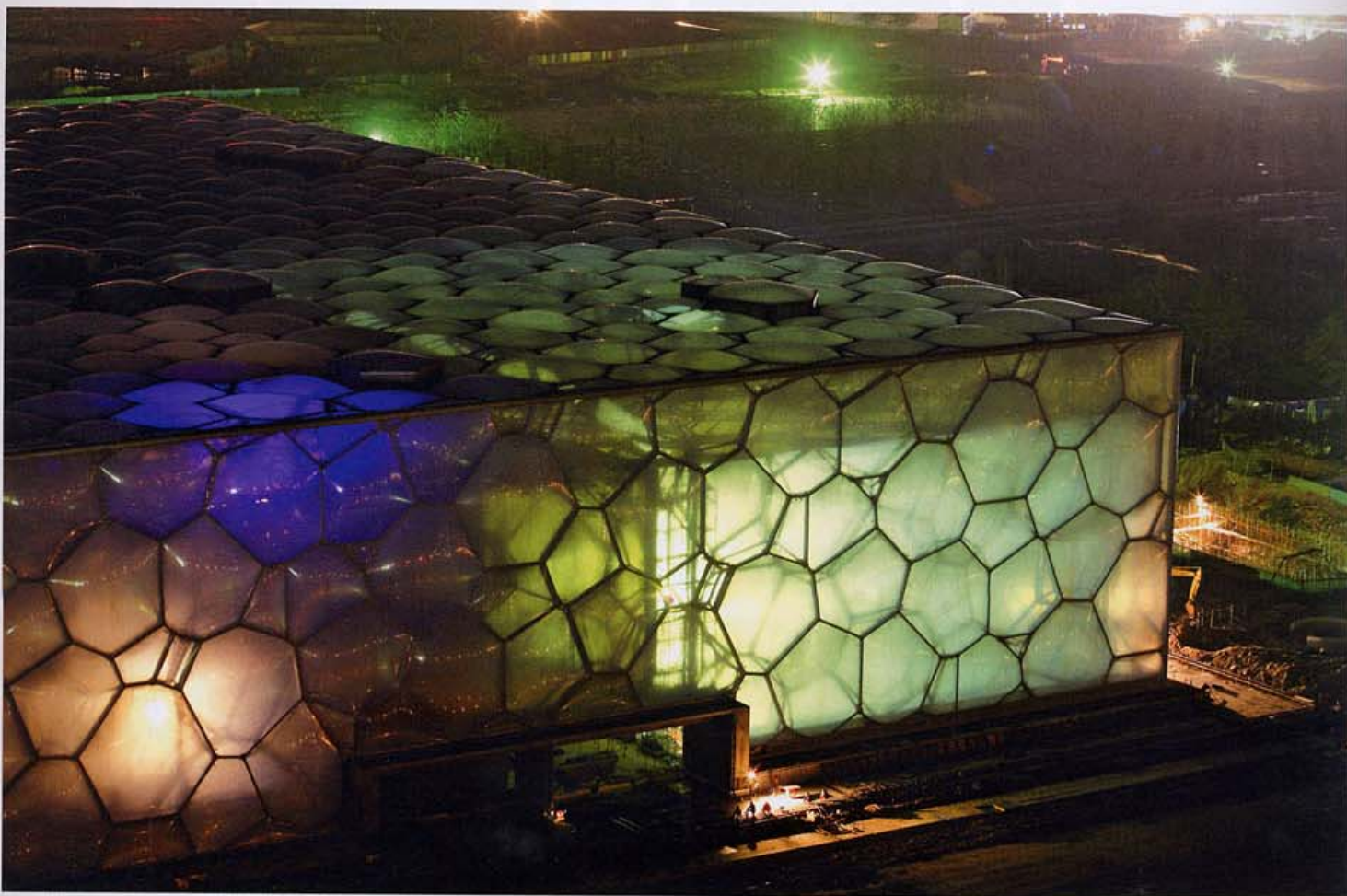
AP : Je ne sais pas si l'on réinventera une autre tectonique mais celle du temple grec, de la cathédrale gothique ou du bâtiment à pilotis classique me semble assez mal en point. Des risques existent mais surtout la nécessité de se donner de nouvelles règles. Je crois que la difficulté est que l'on n'a plus beaucoup de règles. Le génie de gens comme Herzog et de Meuron est d'avoir réussi à définir leurs propres règles, une série de transformations rigoureuses qui permettent de gérer la diversité de leur production et la taille de leur agence. Il ne faut pas oublier que la culture digitale ne s'arrête pas à l'ordinateur. Prenez Herzog et de Meuron : leur travail sur la pixellisation possède des liens évidents avec les pratiques de texture qu'on retrouve avec l'ordinateur mais relié à des recherches plus anciennes.

Pour revenir à Balmond, son génie est d'avoir compris le besoin d'un discours par rapport à une situation, d'avoir senti qu'il y avait une certaine attente nouvelle par rapport à la critique. Vouloir construire un cadre théorique pour cette nouvelle pratique. Je pense par ailleurs que tous les équilibres professionnels sont en train de se déplacer. Allons-nous vers la multiplication de figures

hybrides, architecte/ingénieur ? Je l'ignore. Mais pour parler des dangers, le plus précis qui se présente actuellement est le problème de l'échelle. Ce n'est pas seulement lié à l'ordinateur mais également à la confusion qui règne entre architecture et infrastructure. Je pense qu'il s'agit de l'un des grands phénomènes auxquels on a assisté ces cinquante dernières années, une incertitude dans le traitement des échelles.

DA : QUE DOIT-ON PENSER DE LA NOTION DE SPECTACULAIRE DANS CE CONTEXTE ?

AP : L'architecture spectaculaire n'est pas mauvaise en soi, ce n'est somme toute pas nouveau ; la construction de Saint-Pierre de Rome participe d'une même logique, que l'architecture soit un média, cela nous le savons. Ce qui me semble grave aujourd'hui, c'est qu'il faut que l'architecture renoue avec une forme d'espérance sociale et soit porteuse d'un espoir social. C'est pour cela que le travail d'un architecte comme Shigeru Ban est intéressant car il ne procède pas d'un retour aux utopies traditionnelles. Et cela manque. Il est vrai qu'actuellement le star-system a tendance à ne favoriser que des discours liés au pouvoir, liés à la circulation de l'information à l'usage des élites. Mais il n'y a pas de star-system sans un système de fans. Je pense que l'architecture a une fonction d'espérance sociale et que si elle l'oublie trop longtemps, le retour de bâton se fera sentir. ■



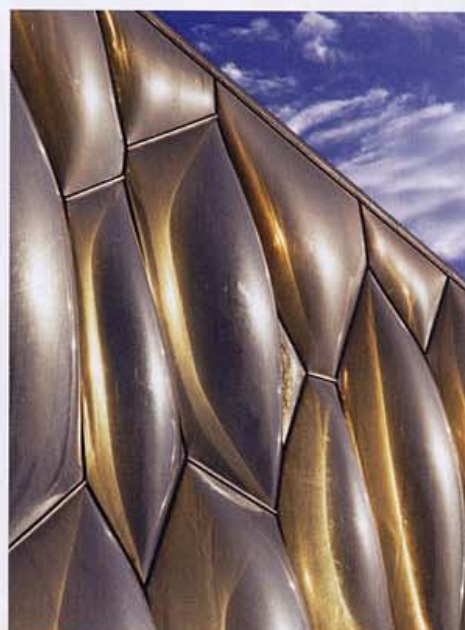
« La logique environnementale pour donner sens »

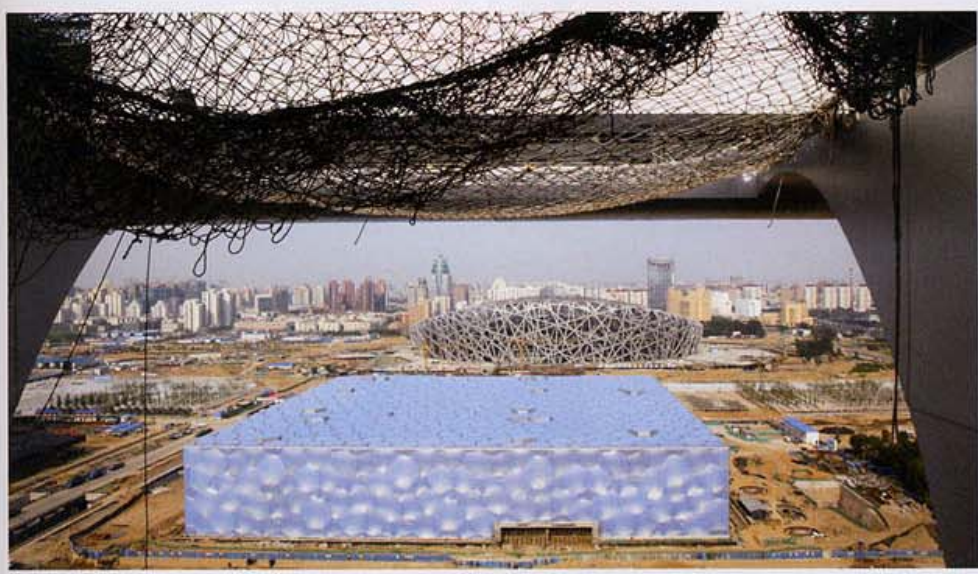
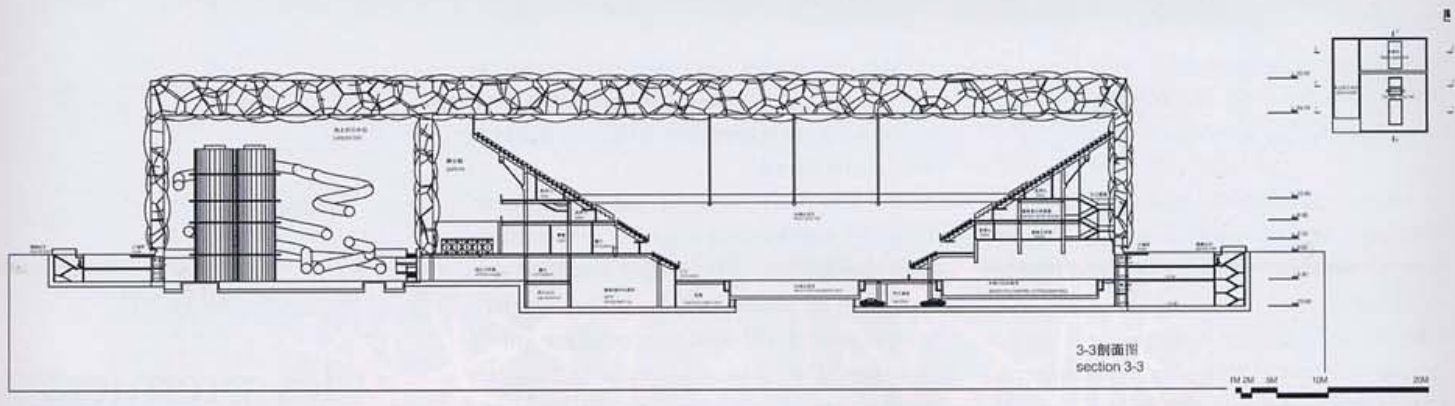
Entretien avec Roger Ridsill-Smith

Ingénieur structure chez Ove Arup, Roger Ridsill-Smith a participé à la conception de plusieurs projets remarquables, dont le Millennium Bridge de Londres dessiné par Foster. Il s'interroge sur les significations produites par les structures dites « non linéaires » et leur compatibilité avec les problématiques environnementales.

DA : NOUS AVONS VU, CES DERNIÈRES ANNÉES, APPARAÎTRE DES BÂTIMENTS D'UNE GRANDE COMPLEXITÉ VISUELLE, DOUBLÉS DE THÉORIES SUR LE NON LINÉAIRE. EN TANT QU'INGÉNIEUR, QUE DÉSIGNEZ-VOUS COMME UNE STRUCTURE COMPLEXE ?

Roger Ridsill-Smith : La complexité est surtout dans la non linéarité, c'est-à-dire lorsque la réaction de la structure n'est pas liée à la géométrie. Une structure linéaire réagit de façon proportionnelle aux sollicitations : on appuie deux fois plus que la normale, elle





< La piscine olympique de Pékin, 2007.
 Agence PTW, architectes ; Ove Arup & Partners,
 ingénieurs. Façades et détail des coussins brevetés
 ETFE, aux géométries multiples.
 ^ Vue du chantier. Au second plan, le stade
 olympique de Herzog & de Meuron.
 v Vue d'un nœud structurel.



réagit deux fois plus. Les mouvements dans les structures non linéaires entraînent des changements dans leur géométrie et leur manière de résister aux forces. Il n'est pas sûr que si l'on double la sollicitation, elle bouge deux fois plus. Elle pourrait bouger dix fois plus. C'est ce qui se produit souvent lorsque la structure commence à travailler au-delà de ses limites élastiques, et c'est ce qui s'est passé au Millenium Bridge. Ça, c'est la complexité. Ensuite, il y a bien sûr la complexité géométrique que l'on peut voir sur des façades, celle qu'on peut dessiner à l'aide d'un ordinateur. C'est très bien, je n'ai rien contre, mais ce n'est pas une complexité structurelle, c'est une autre forme de complexité.

DA : QUEL APERÇU CES BÂTIMENTS DONNENT-ILS DE LA CULTURE CONSTRUCTIVE CONTEMPORAINE ?

RRS : Notre puissance de calcul a modifié totalement notre manière d'approcher les structures. On bénéficie d'une énorme liberté et on peut dessiner des structures beaucoup plus audacieuses qu'il y a vingt ans car on peut les analyser. Même si on ne peut pas changer les forces – une tour penchée aura toujours besoin de davantage de structure –, on peut au moins faire des calculs et démontrer la stabilité de l'ouvrage. C'est bien au niveau du design ; intellectuellement, c'est intéressant de considérer que tous les éléments d'une structure ne doivent pas obligatoirement être alignés. Mais, en même temps, prendre une forme quelconque et la rendre physique, cela a un côté inquiétant et produit à mon avis des bâtiments qui manquent de profondeur. Je m'en rends compte en regardant certains rendus. L'autre jour, j'ai vu six projets de concours. Est-ce qu'un martien débarquant sur Terre comprendrait ce type de construction ? Je ne crois pas, car rien ne légitime ces bâtiments. Ce sont des formes sans bases et qui ne se justifient que dans notre culture, grâce aux discours théoriques que l'on reconstruit autour.

Le seul moyen de donner un sens à ces bâtiments est, selon moi, de les concevoir dans une réelle logique environnementale.

DA : CES STRUCTURES PRÉSENTENT POUR L'HEURE UN INCONVÉNIENT. ELLES SONT GOURMANDES EN MATIÈRE. L'EFFICACITÉ (DONC L'ÉCONOMIE DE MATIÈRE) EST-ELLE UNE AMBITION IMPORTANTE ?

RRS : La réflexion sur la durabilité et sur l'efficacité du projet doit aller beaucoup plus loin et être beaucoup plus subtile que l'expression du poids des matériaux qu'il contient. C'est juste une toute petite partie dans la viabilité d'un projet. Les imprécisions sont très grandes. Aujourd'hui, on parle beaucoup de *Carbon Neutral Development*, c'est-à-dire des projets à zéro émission de carbone, ce qui, je pense, est une expression très confuse. Qu'est-ce que cela veut dire ? Quand on construit un bâtiment, on met de l'énergie dedans et on augmente l'entropie de l'univers. Un projet à carbone zéro parfait serait de ne rien bâtir sur le site, de le laisser vide ! Quelque chose qui brille ou qui est lisse possède forcément une énergie grise très élevée. Ainsi, le poids de la structure n'est pas le facteur le plus déterminant de la consommation d'énergie dans un bâtiment.

DA : L'UNE DES RAISONS DE CE MOUVEMENT SEMBLE LIÉE À L'USAGE DE LOGICIELS PUISSANTS DE CALCULS ET DE MODÉLISATIONS QUE NOUS ÉVOQUONS À L'INSTANT. QUE VOUS INSPIRE CETTE TENDANCE ?

RRS : À la limite, cela me fait un peu peur. Dans les publications ou chez les étudiants qui viennent nous voir chez Arup, je vois beaucoup de projets très bien dessinés mais je vois moins de réflexion qu'avant sur la fonction d'un bâtiment, et donc sur les espaces créés. Il y a davantage de discussions sur les surfaces – c'est manifeste à la fois dans les rendus du bâtiment et la manière dont on décide de le publier –, ce qui ne correspond pas à mon approche du design. Attention, cela ne veut pas dire que je suis contre le travail sur les surfaces, les géométries compliquées ou les formes qui ne sont pas rectilignes. Mais à mon sens, le début d'un projet est une réflexion sur le cahier des charges et l'usage. Ensuite, je suis tout à fait d'accord pour que les façades aient une forme autre que linéaire. Ça, c'est du style et, d'ailleurs, je ne suis pas contre le style mais je trouve que l'on est trop centré sur la façade, dès les premiers pas du projet. Mais est-ce lié au logiciel ou est-ce un trait profond de notre culture contemporaine ? ■

dès
les premiers
pas du projet,
on est
trop centré
sur la *façade*

La piscine olympique, Pékin. La structure de la toiture en chantier.





© Ben McMillan

« La transgression est une chose très raisonnable »

Entretien avec Paul Andreu

Architecture de la structure ou architecture tout court ? L'architecte ingénieur, auteur des aéro-gares de Roissy, a pu, à l'occasion de ses visites sur son chantier de l'Opéra de Pékin, suivre l'évolution de différents bâtiments phares exprimant une abondance structurelle en façade. Dans le stade ou la piscine olympique de Pékin, la structure est un élément de projet : Paul Andreu évalue son utilisation à l'aune de ses propres constructions, dans lesquelles l'élément structurel joue aussi un rôle primordial, mais dans un registre différent.

DA : CES DERNIÈRES ANNÉES, CERTAINS ARCHITECTES ONT CHERCHÉ UNE SYNTHÈSE ENTRE STRUCTURE ET ORNEMENT. COMMENT EXPLIQUEZ-VOUS CET INTÉRÊT ET SON PARTICULARISME CONCILIATOIRE ?
Paul Andreu : Je ne trouve pas que cela relève d'un intérêt particulier pour les

structures. C'est un intérêt global pour l'architecture qui produit des ouvrages dont certains sont très beaux. Lorsqu'on se promène dans le stade de Herzog et de Meuron à Pékin, avec ces éléments penchés dans tous les sens, qui ne se laissent pas prendre dans une signification existante, on ressent une véritable émotion.

Mais vous opposez deux choses : l'une qui participe de la tenue du bâtiment à une autre qui sert d'habillage. Le vrai problème à mon sens a toujours été une question d'économie. Vous pouvez concevoir toutes les structures du monde, elles contiennent leur propre décoration. Cela ne me paraît pas discriminant de faire un mur en y faisant des trous ou des poteaux ou des branches qui se croisent ; c'est la même chose, c'est un

choix esthétique. Vous n'inventez pas une structure, vous vous contentez de biaiser les perpendiculaires, vous les mettez en désordre mais cela revient au même. En revanche, ce qui autorise aujourd'hui ces démarches, ce sont les modes de calcul, les modes industriels de découpe. Cela aurait été impossible à dessiner et à calculer en acier il y a dix ans, mais aujourd'hui, grâce aux outils informatiques, c'est réalisable.

DA : UN AFFRANCHISSEMENT DES CONTRAINTES DE LA MATIÈRE ?

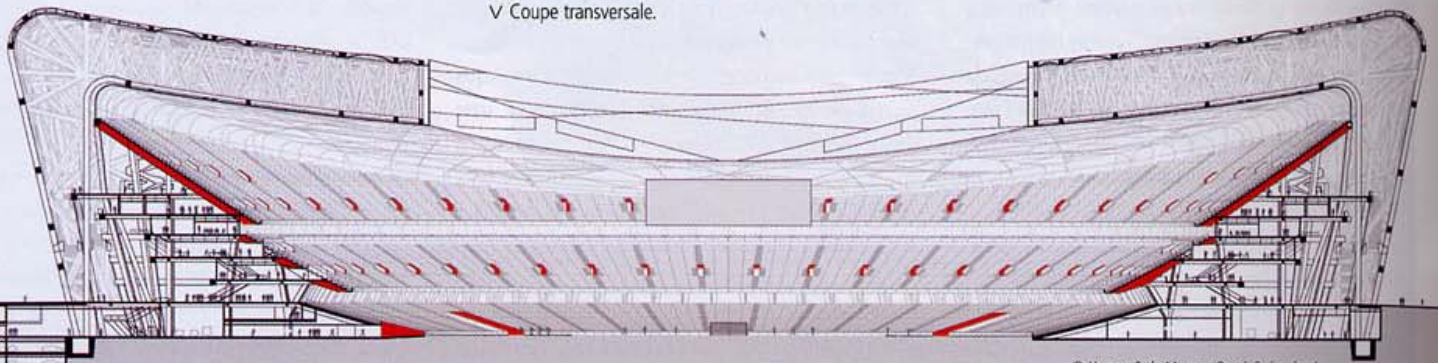
PA : Une liberté vis-à-vis de la matière et de l'espace. On peut remonter en France à cette fonction inclinée, cette vision de l'espace qui n'est plus l'angle droit sacralisé de Corbu (qu'il a d'ailleurs lui-même violé quand il en avait envie). C'est tout un mouvement de

Forme = structure.
Stade olympique de Pékin, 2007.
Herzog & de Meuron, architectes.
La géométrie finale.

dans le stade
de Pékin, il y a
un espace
d'une très
grande beauté,
tout cela
s'incline,
vous donne
une série
d'*émotions*,
fortes,
très belles



△ Plan masse montrant la maille structurelle en toiture.
▽ Coupe transversale.



© Herzog & de Meuron, Basel, Switzerland



© Photos Ben McMillan

< v Structure = espace.

Stade olympique de Pékin, 2007.

Architectes : Herzog & de Meuron, Basel, Switzerland.

Ingénieurs : China Architectural Design & Research Group, Pékin ; Ove Arup & Partners Hongkong Ltd et Arup Sports, Londres.

Directeur artistique : Ai Weiwei, Pékin.



décomposition, de l'instabilité, de la rupture des apparences. Je ne suis pas sûr que ce soit lié à un progrès de la matière ou à un progrès de la conception de l'ingénieur.

Ce n'est pas une avancée technique ou dans le produit technique, c'est l'utilisation de moyens de fabrication et de dessin qui permet de réaliser des choses qu'on n'aurait pas pu faire avant. À l'Opéra de Pékin, il n'y a pas deux vitres égales ; il y a dix ans, je n'aurais pratiquement pas pu le faire. Mais maintenant, avec les machines semi-automatiques, les Chinois l'ont réalisé en flux tendu. Ils relevaient les dimensions huit jours avant et ils apportaient les panneaux de vitrage au fur et à mesure. Mais ce n'est pas un progrès du verre ou de l'intelligence des matériaux. C'est la présence des machines qui autorise ce processus.

DA : À CE PROPOS, ESTIMEZ-VOUS QUE LES LOGICIELS DE CALCUL ET DE PROTOTYPAGE ONT AFFECTÉ LA FAÇON DE CONCEVOIR LE PROJET ?

PA : Surtout dans la fabrication. Cela permet de faire des choses dans les limites d'un budget donné que nous n'aurions pas pu effectuer avant, par exemple ces structures dans lesquelles il n'y a pas deux éléments égaux. L'Opéra de Pékin repose sur une structure ovale et rayonnante, il n'y a rigoureusement pas deux poutres égales, ni deux morceaux de verre égaux dans la verrière. Mais attention ! Hormis la pièce d'attache des panneaux de verre, nous n'avons rien inventé de nouveau pour ce bâtiment, structurellement parlant.

DA : LA PERFORMANCE STRUCTURELLE A TOUJOURS EXISTÉ, DE LA COUPOLE DU PANTHÉON AU VIADUC DE MILLAU. LA NOTION DE PROUESSE EST-ELLE IMPORTANTE ?

PA : Je ne pense pas, même si cela a été un ressort durant un temps. À son époque, le Cnit était une fantastique construction, avec une portée inhabituelle, une intelligence dans la structure qui n'avait jamais existé jusque-là. Et effectivement, cela en mettait plein la vue. Mais après, on ne pouvait pas l'exploiter, personne ne s'y retrouvait. Ça

la création
se nourrit de
transgressions.

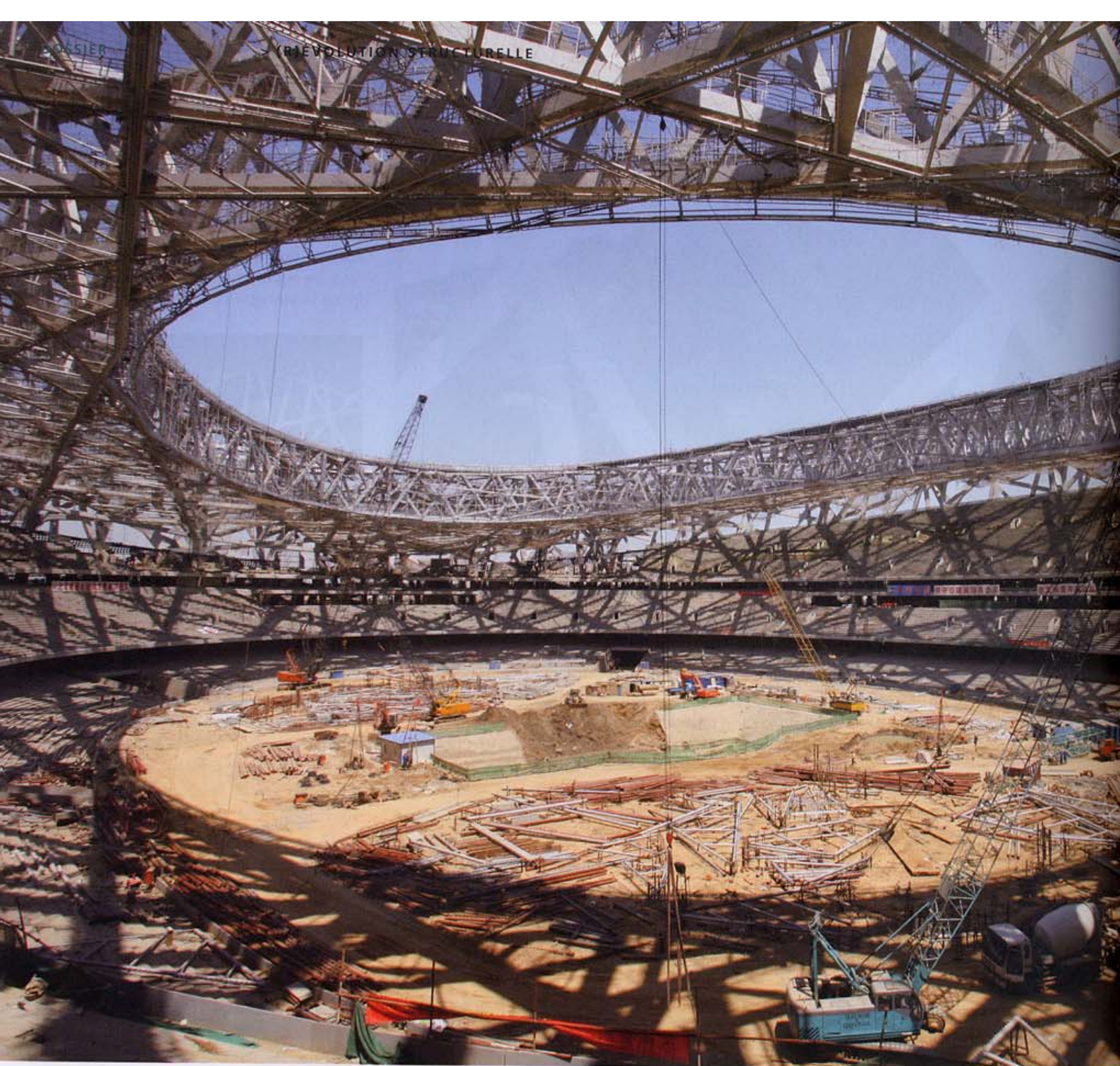
Transgresser
est une chose très
raisonnable

travaillait en double surface tridimensionnelle par surface intermédiaire. Je dirais après : oui, la grande portée a indéniablement un pouvoir émotif à condition qu'elle serve. Le Cnit réaménagé, y avait-il besoin de cette portée-là ? Ce n'est pas certain.

À l'Opéra, au contraire, j'ai absolument défendu le besoin de cette portée, même si l'on ne voit pas finir les poutres. Pour en revenir au stade de Pékin, je trouve formidable d'être pris dans ces structures avec leurs orientations dans tous les sens. Entre l'extérieur et l'intérieur du stade, il y a un espace d'une très grande beauté, tout cela s'incline, vous donne une série d'émotions, de déséquilibres... Ce qui m'intéresse, c'est cette extraordinaire occupation de l'espace, mais vous ne sentez pas une grande portée, vous n'êtes pas dans une grande portée. Lorsqu'on pénètre dans le stade, on commence à l'être et là, d'une certaine manière, je me sens beaucoup moins ému. L'extérieur, au contraire, cet espace dans lequel on n'est plus dehors et pas vraiment encore dedans, je trouve cela fabuleux. Pourtant, je ne m'interroge pas sur son économie, sur son prix. Ça vaut ce que ça vaut, cela ne me regarde pas. Cela véhicule de l'émotion, forte, très belle.

DA : LA RECHERCHE DE LÉGÈRETÉ STRUCTURELLE EST-ELLE POUR VOUS UN MOTEUR DE CRÉATION ?

PA : Je cherche à ne pas gaspiller la matière et, en même temps, je n'ai aucune envie qu'on dessine les détails les moins onéreux du moment dans mes structures. J'ai eu un certain nombre d'accrochages avec les ingénieurs qui me disaient : « Vous voyez, on va faire moins mais je vous garantis, on mettra un habillage autour qui vous donnera la même chose. » Je détestais cela quand j'étais jeune ; maintenant je vieillis, quand on vieillit, on devient moins dogmatique. Mais



je n'aimais vraiment pas cette manière de faire. Je n'ai jamais eu de budgets illimités de ma vie et j'ai donc toujours recherché la stratégie qui permettait d'obtenir un ouvrage de la qualité que je voulais, dans les limites du budget qui m'était alloué. Pour pouvoir me payer certains détails, je renonçais à ceci, à cela... Je pense que le grand beau métier des architectes, c'est cela : manier de la matière, des moyens financiers et faire le mieux possible à l'intérieur de cela, parvenir à exprimer ses idées, ses désirs, ses désirs d'espace pour les autres, dans des conditions de gestion de l'économie. Si vous avez un budget illimité, je ne vois pas ce que vous pouvez faire. Je

faire n'importe quoi, ce n'est pas *transgresser*

trouve alors que plus rien n'est intéressant. Je pense donc que si vous n'avez pas les moyens, il y a des choses dans lesquelles il ne faut pas se lancer, c'est aussi simple que cela. On passera d'une chose essentielle à une autre chose essentielle par des chemins qui, eux, accepteront d'être plus ordinaires.

DA : L'UNE DES QUALITÉS FONDAMENTALES DE CES BÂTIMENTS VIENT DE LEUR RUPTURE AVEC UN ORDRE EXISTANT. COMMENT FRANCHIT-ON CES SEUILS DANS LA CRÉATION ?

PA : Dans l'art en général, dans le dessin, la musique, c'est toujours la même chose ; vous avez toujours un outil que vous voulez transgresser. Vous faites un outil nouveau, vous voulez le transgresser. Mais faire n'importe quoi, ce n'est pas transgresser. La création se nourrit de transgressions. Mais la transgression est une chose très raisonnable, on a cette limite et on voudrait la dépasser. Pourquoi ? Parfois, c'est un peu futile. Pourquoi Remus a-t-il franchi le sillon de Romulus ? C'est vrai que dès qu'il y a une



Le stade olympique de Pékin. Les coussins-ETFE rendent la résille translucide.

© Ben McMillan

À l'échelle du design

On observe dans le design industriel une recherche identique sur la complexité géométrique et la structure. L'accès généralisé aux logiciels de modélisation et la facilité de production de prototypes sophistiqués par différentes méthodes de stéréolithographie matérialisent un nouvel univers géométrique, évitent de coûteux moulages et diminuent de façon dramatique l'écart de temps entre une idée et sa matérialisation. La chaise C2 conçue par Patrick Jouin semble illustrer à elle seule le propos de notre article : des efforts répartis sur une multitude de membres, une pièce dans laquelle le dialogue entre la conceptualisation et la production semble complet. ■



© Thomas Duval

limitation, on a envie de passer outre. Dès qu'il y a un outil, on a envie d'aller plus loin, mais c'est une démarche excessivement rationnelle, qui n'a rien à voir avec le « je fais comme ça parce que ça me plaît » ou parce que je n'y pense simplement pas. Et je suis sûr que les immenses succès sont le fruit de transgressions réussies qui ont drainé de l'invention ou de la création particulière.

DA : LE STADE DE PÉKIN VOUS SEMBLE-T-IL DU REGISTRE DE LA TRANSGRESSION ?

PA : Oui, je pense. Maintenant, encore une fois, pourquoi transgressez-vous ? Pour faire le malin ou pour produire une œuvre nouvelle ? Pour apporter dans la création quelque chose qui n'a pas été fait, qui n'a pas été vu et réussissez-vous à le faire ? C'est toute la question. En même temps, vous voyez en ce moment un tas de projets dans lesquels ce sont les logiciels qui font la moitié du travail. On dit : « Regardez, c'est magnifique, on pense autrement aujourd'hui. » Mais ces projets sont-ils vraiment pensés ? Je ne vise aucun de ceux que nous évoquions. Vous voyez bien, vous pouvez les faire pencher à droite, à gauche, tordus comme cela, si c'est pour faire le malin, cela n'a à mes yeux aucune valeur. C'est vrai que

c'est une tendance forte, que l'on voit en Chine notamment, et souvent les clients réclament des formes, parce que, maintenant, ce sont eux qui réclament des formes : « Ah non ! Il faut des formes audacieuses ! »

DA : UNE NOUVELLE ARCHITECTURE DÉPENDANTE DES OUTILS VA-T-ELLE APPARAÎTRE ?

PA : Je pense qu'il y a un grand danger à trop dessiner à l'aide de l'ordinateur, parce que les programmes sont « typifiés ». Il y a donc un risque très grand d'académisme. Comme pour les instruments de musique très performants, les synthétiseurs par exemple, qui sont extrêmement difficiles à maîtriser. On voit bien que certains musiciens y parviennent parfaitement et d'autres font des cataplasmes insensés. Pourra-t-on passer directement de la conception à la fabrication ? Pas dans les gros ouvrages. Pour les petits, oui, comme les garde-corps : j'en ai fait l'expérience récemment. Pour réaliser les grandes structures, il y a tout de même un chemin immense car tellement de pas sont à faire entre le début de la conception et la fin que si cela pouvait se faire un peu simplement, cela voudrait dire que c'est typifié. Le processus serait décrit et contrôlé ; à ce moment-là, ce ne serait plus vraiment intéressant. ■

PAUL ANDREU L'OPÉRA DE PÉKIN

le roman d'un chantier



Paul Andreu, *L'Opéra de Pékin, le roman d'un chantier*, Paris, éditions du Chêne, octobre 2007, 19,5 x 25 cm, 240 pages, 39,90 euros.



La fin de la notion d'archétype structurel

Entretien avec David Chambolle

Pour David Chambolle, ingénieur au bureau d'études EVP (En vertu des possibles) et enseignant à l'école de Paris-Belleville, la révolution structurelle visible dans les projets tels que le stade ou la piscine olympique de Pékin se caractérise par la synthèse d'éléments autrefois séparés. Ce changement conceptuel interroge les habitudes de mise en œuvre dans l'Hexagone et révèle des freins à l'innovation constructive et architecturale.

DA : EN TANT QU'INGÉNIEUR STRUCTURE ET OBSERVATEUR DU PANORAMA ARCHITECTURAL, QUELLE A ÉTÉ, SELON VOUS, L'ÉVOLUTION LA PLUS FRAPPANTE, STRUCTURELLEMENT PARLANT, DE CES DERNIÈRES ANNÉES ?

David Chambolle : On observe une tendance assez lourde à la recherche de l'effet de convergence entre les différents corps d'État. Dans beaucoup de projets apparaissent des synthèses qui n'existaient pas auparavant. Comme chez Toyo Ito, par exemple, où l'on observe une relation entre l'architecture et la fabrication de l'espace qui donne le sentiment que tous les éléments – l'enveloppe, la

structure, l'espace – sont pensés au même niveau. On sort d'une pensée rationalisée sur les différents ordres de la production, qui se traduisait par la conceptualisation de la structure comme ordre constitutif ou squelette, pour aller vers des objets qui expriment autre chose, une texture par exemple. Cette disparition de la dichotomie structure/architecture s'exprime par différentes formes qui participent d'une même approche globale, se traduisant tantôt par des bâtiments spectaculaires, tantôt par des édifices minimalistes, comme dans les projets de SANAA.

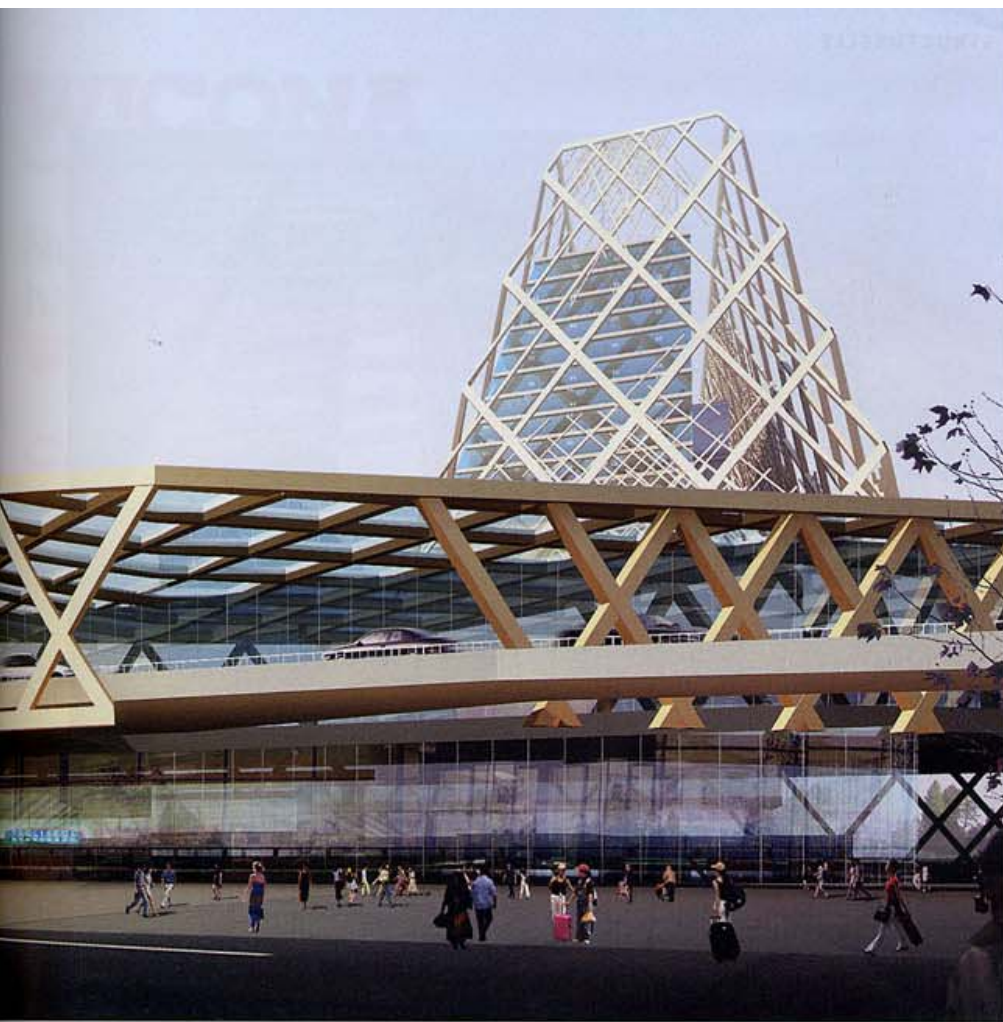
DA : AU NIVEAU THÉORIQUE, IL SEMBLE QUE CES NOUVEAUX PROJETS METTENT DE CÔTÉ LA NOTION D'ARCHÉTYPE STRUCTUREL.

DC : Il est même abandonné, ce qui semble une révolution du point de vue conceptuel. La notion d'archétype structurel remonte à environ deux cents ans. Depuis le milieu du XIX^e siècle, pour calculer la structure on passe par ces éléments de réduction que sont notamment la poutre, le poteau et autres. D'une charge appliquée, on déduit une contrainte

dans la matière qui, comparée à la résistance des matériaux, va permettre de déduire des dimensions. Au XIX^e siècle, la science avait mis en place les archétypes servant à représenter les échelles non plus par élément mais par ensemble. C'était une vision de calcul. Avec le calcul numérique, cette échelle intermédiaire disparaît. On peut modéliser sans aller voir ce qui se passe à l'échelle intermédiaire. Pour l'abandonner totalement, il faut aller dans une modélisation tridimensionnelle.

DA : CETTE DISPARITION EST-ELLE DOMMAGEABLE ?

DC : Ces archétypes sont un mode de compréhension et de contrôle de la structure. Si l'on prend, par exemple, le projet du Sainsbury de Norman Foster, il se présente comme une grande nappe tridimensionnelle. Mais on peut aussi le décomposer en une série de portiques, ce qui est également une façon pour les entreprises de décomposer une structure et de visualiser son montage, de la chiffrer. Une autre difficulté de ces géométries sans archétype est qu'elles ont



Projet de concours pour la nouvelle gare de Changsha, Chine, 2006. Jacques Ferrier, architecte.

on voit
de plus en plus
la volonté de
poser une *forme*
a priori,
l'ingénieur devant
prouver ensuite
sa rationalité
structurelle

besoin d'être terminées à 100 % pour être stables car elles ne sont pas hiérarchisées, à l'inverse des structures « classiques ». C'est plus complexe pour l'entreprise.

DA : DE NOUVEAUX ÉLÉMENTS CONCEPTUELS PERMETTENT-ILS DE CALCULER PRÉCISÉMENT LES NOUVELLES STRUCTURES ?

DC : Ces nouvelles possibilités de conception géométrique, liées à l'informatique, arrivent au moment où l'on a perdu tout le savoir accumulé avec les surfaces réglées, ces savoirs très vivants dans les années soixante-dix, qui ont disparu pour des tas de raisons. On aurait bien besoin de réactiver ces outils : du point de vue géométrique, ils sont bien en deçà de ce que l'on fait maintenant, mais ils s'en approchent et pourraient servir de référence. Il est difficile de se fabriquer une culture à partir du calcul numérique. Dans une échelle de conception, on a besoin de ces connaissances qui permettraient d'anticiper le comportement de ces nouvelles structures au moment de la mise en œuvre. Comme cette culture manque totalement, on procède

actuellement par expérience et non plus par théorisation scientifique.

DA : LES LOGICIELS ET LES NOUVEAUX MODES DE CONCEPTION CHANGENT-ILS LE RAPPORT ARCHITECTE / INGÉNIEUR ?

DC : L'image prend énormément d'importance et l'on voit de plus en plus fréquemment la volonté de poser une forme a priori, l'ingénieur devant prouver ensuite sa rationalité structurelle. Mais en même temps, on recherche l'optimisation. On a toujours à réfléchir sur le mode de mise en œuvre, surtout avec ce type de structure. La question se déplace du dimensionnement vers la réalisation. Si on pense la réalité de la production, c'est uniquement à l'échelle du mobilier et de la plus petite structure que l'on peut passer directement d'une modélisation 3D à la forme. Regardez l'évolution de la couverture du Beaubourg de Metz depuis le dessin du concours...

DA : ON VOIT CE TYPE DE STRUCTURE À L'ÉTRANGER ET BEAUCOUP MOINS EN FRANCE. EXISTE-T-IL DES FACTEURS DE BLOCAGE ?

DC : Aujourd'hui, du point de vue de l'émergence de formes non conventionnelles, on a un effet d'entraînement : beaucoup d'architectes ont envie d'expérimenter. Mais on en reste très souvent au stade des études et on ne passe pas le cap de la réalisation, cela pour plusieurs raisons. En France, on se trouve traditionnellement dans une logique additive, où les corps de métier s'enchaînent et se superposent les uns aux autres – l'enchaînement a parfois lieu au sein d'un même corps de métier. On raisonne en parlant ordre structurel, cloisonnement, enveloppe, à l'opposé de ce que l'on peut constater dans d'autres pays.

Il y a pourtant en France de très beaux projets dans le registre de la synthèse : la péninsule de Roissy, par exemple, où ordre structurel et menuiserie sont confondus. Mais on disposait à la fois des moyens d'ADP et de la puissance de calcul de RFR... Lorsqu'on retourne à l'échelle normale du projet, on retrouve l'étroitesse du budget, la très grande limitation du nombre d'entreprises



Projet pour la nouvelle gare de Changsha, Chine.

à l'échelle normale du projet, on retrouve l'étroitesse du budget et le peu d'entreprises intéressées.

Il faudrait aller chercher des *outils* ailleurs que dans le monde du bâtiment

intéressées à la fabrication du bâtiment. Une solution serait d'aller chercher des outils ailleurs que dans le monde du bâtiment, et de trouver l'entreprise qui accepterait de sortir de son domaine d'activité pour aller vers un secteur dont elle ne maîtrise ni les enjeux, ni les pratiques. C'est parfois possible : Marc Mimram fait quelquefois appel, pour la construction de ses ponts, à des entreprises de chaudronnerie. Si on a les moyens de Toyo Ito, on peut faire appel à des entreprises de la construction navale.

DA : EST-CE UNE QUESTION DE COÛT ?

DC : Ce n'est pas nécessairement beaucoup plus onéreux, si on fait jouer à plein les effets de synthèse. C'est surtout la réglementation que cela suppose qui est un frein. Au niveau du calcul, on possède des outils toujours plus perfectionnés, qui autoriseraient une autre approche de la sécurité. Encore une fois, ces possibilités de calcul ne sont pas forcément acceptées par le cadre réglementaire dans lequel on travaille. En France, on est dans les règles ou pas, nous n'avons pas la possibilité de faire une analyse de risque plus poussée. On ne peut pas, par exemple, observer le comportement d'une structure dans le cas où l'un de ses éléments viendrait à être supprimé, comme un poteau d'un parking à la suite d'un choc ; on entre tout de suite dans le cadre très contraignant des garanties des entreprises et des systèmes

d'assurances, qui ont leurs vertus par ailleurs. Pour des projets temporaires, comme le pavillon de la Serpentine de Siza, on s'affranchissait de toute exigence de pérennité concernant l'enveloppe. Ce qui est possible dans le processus expérimental devient malaisé dans le processus courant.

Il faudrait une moins grande lourdeur dans l'organisation de production du bâtiment. La remise en cause de ces procédures de validation permettrait de parvenir plus rapidement à des innovations. Le code des marchés publics impose l'égalité des chances, ce qui peut paraître une bonne chose d'un certain point de vue, même si d'un autre côté cela empêche d'intégrer, dès la phase de conception, une entreprise qui pourrait prendre en compte en amont les problématiques de chantier et de mise en œuvre.

Pour le privé, le mode de fonctionnement impose les assurances qui certes ont leurs vertus mais ne représentent que la construction traditionnelle. Les moyens d'aller vers le non-traditionnel existent, ils ne sont ni coûteux ni complexes mais ils sont lourds à mettre en place et demandent un temps d'instruction et de mise au point qui retarde le projet. Pour faire un Atex, il faut repousser de quatre à cinq mois la date d'achèvement du chantier, ce que personne ne fera en phase gros œuvre. Ce n'est pas un hasard si la majorité des Atex concernent l'enveloppe mais jamais la structure... ■