

# **Le vert et l'octet**

## **Nouvelles tectoniques de l'architecture construite en bois**

Jean-Claude Bignon  
Laboratoire de recherche MAP-CRAI  
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy  
Nancy, France



## 1. Le contexte

### 1.1. Une convergence fertile

Deux phénomènes importants questionnent aujourd'hui le monde de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction : la cause environnementale et la propagation du numérique. Les deux phénomènes recouvrent des enjeux différents. Le premier est guidé par de nouveaux buts à atteindre, ceux d'un développement soutenable, pour lequel les moyens sont à inventer. Le second apparaît comme un moyen d'agir sans buts assignés et pour lequel de nouvelles économies et éthiques de production sont à définir.

Loin de s'opposer, ces deux phénomènes convergent aujourd'hui et l'intensité qu'ils atteignent bouleverse largement les métiers. De nombreux aspects pourraient être évoqués comme l'organisation et la division du travail, l'économie des processus et des ressources, les systèmes de responsabilité, l'émergence de nouvelles techniques mais aussi la redécouverte de pratiques anciennes, la reconstitution des savoirs, des savoirs faire et des savoirs êtres. La multiplicité de ces aspects montre l'ampleur des changements en cours et l'intérêt de les questionner.

L'architecture construite avec du bois est particulièrement représentative de ces transformations. Le renouveau en Europe dans l'usage de ce matériau est largement issu de l'émergence d'une conscience environnementale critique. Ses qualités intrinsèques de ressource renouvelable et souvent locale, son bilan carbone et énergétique favorable lors de ses transformations en ont fait un matériau reconnu comme particulièrement « vert ». De plus, le bois se prête à de nouvelles aventures comme celles de l'économie de la matière, de la mise en oeuvre de matériaux peu transformés ou encore du réemploi des composants qui viennent renforcer son caractère soutenable.

Plus récemment la construction en bois s'est inscrite dans une logique numérique. Le développement d'une ingénierie du bois appuyée sur une connaissance approfondie du matériau a permis les nécessaires modélisations sur lesquelles se fondent les outils logiciels. Par ailleurs, les qualités de façonnage, d'assemblage, de montage et de démontage du bois ont facilité son insertion dans une économie de la production numérisée. L'octet devient un nouveau compagnon du bois en offrant à ce dernier la possibilité de s'immiscer dans un continuum des données qui va de la conception intégrée jusqu'à la fabrication robotisée.

Dans le cadre de la présente réflexion, notre propos se limitera à une question : comment les transformations environnementales et numériques évoquées invitent-elles à l'émergence de nouveaux vocabulaires constructifs et architecturaux ? On observera plus particulièrement cinq figures tectoniques, au sens défini par le théoricien Gottfried Semper [1] au XIX<sup>e</sup> siècle et repris au XX<sup>e</sup> siècle par l'historien Kenneth Frampton [2]. Elles témoignent des transformations de la construction et de ses potentialités expressives pour l'architecture contemporaine. En se focalisant sur leur dimension structurale, ces figures viennent illustrer ce que l'on nomme aussi « nouveau structuralisme » [3].

Loin de rester dans un registre purement esthétisant ces nouveaux vocabulaires, et les grammaires qui les accompagnent, expriment une conception renouvelée de la forme et de ses géométries, de la relation entre structure et enveloppe, du rapport aux matériaux et à la stabilité, des composants et de leurs assemblages, de la fabrication et de la mise en oeuvre.

### 1.2. Des mutations profondes

Au-delà de leurs particularités, ces cinq figures tectoniques présentent plusieurs caractéristiques issues des convergences énoncées qui sont révélatrices des mutations lentes, mais profondes des processus traditionnels d'édification.

- Elles remettent en cause le séquençement traditionnel de la conception « forme, structure, matériau » au profit d'une conception intégrée où la structure, le matériau et la forme inter-échantent leurs exigences. L'architecte, l'ingénieur, mais aussi le mathématicien, l'informaticien et le mécanicien se retrouvent pour composer et jouer une partition commune.
- Elles bouleversent les rapports de subordination des composants habituels des structures (poteaux, poutres, fermes, pannes, chevrons...) au profit d'un ensemble d'éléments non hiérarchisés. La structure devient systémique. Chaque composant unitaire tend à jouer

- un rôle identique à celui de tous les autres. La distribution des efforts se trouve « démocratisée » et répartie entre une multitude d'éléments solidaires.
- Elles abandonnent l'idée de massivité à laquelle on attachait traditionnellement la solidité en privilégiant une répétition dense de composants de faible section, voire de moindre qualité, permettant même de valoriser des ressources délaissées et d'économiser la matière. La force des roseaux dépasse celle du chêne.
  - Elles substituent aux produits standardisés des composants unitaires dont les dimensions ou les formes sont souvent très différentes. Et si les assemblages restent souvent simples dans leurs principes (vis, boulons...), ils connaissent un grand nombre de variations dans leurs positions. À l'identique reproductible, elles opposent l'unique industrialisé.
  - Elles produisent un renouvellement du vocabulaire architectural « machiniste » hérité du mouvement moderne et de l'industrialisation sérielle en réinterprétant des solutions empruntées à la nature ou aux architectures vernaculaires. Elles donnent au matériau, aux processus de fabrication et de mise en œuvre une force expressive.
  - Elles substituent à la forme de l'édifice composé par assemblage de volumes dédiés une forme continue, mais hautement variable des structures et des enveloppes. C'est la logique morphologique du poisson qui favorise une perception globale plutôt que celle du homard qui demande une perception analytique.
  - Elles valorisent la structure du bâtiment dans sa dimension poétique. En déplaçant la question ornementale de l'enveloppe à la structure, elles redonnent à cette dernière tout son pouvoir de communication en la débarrassant des scories de la décoration, des affiquets et autres enjolivements.
  - Elles donnent naissance à des architectures singulières qui enrichissent le patrimoine des formes construites en s'écartant d'un historicisme pauvre ou d'un modernisme abstrait. La complexité holistique des édifices conçus favorise souvent le recours à des entreprises locales.
  - Enfin, elles sont rendues concevables grâce aux outils de modélisation paramétriques, représentables grâce aux modeleurs géométriques avancés, calculables par des méthodes et des modèles mécaniques adaptés et fabriquables grâce aux machines à commandes numériques.

## 2. Cinq figures tectoniques

### 2.1. Les parois cellulaires

Le théorème du nid d'abeilles nous enseigne que le pavage hexagonal régulier est la partition du plan en surfaces égales ayant le plus petit périmètre. Traduit en termes de structure spatiale, on peut aisément en déduire que les structures cellulaires sont la solution utilisant le moins de matière et même souvent, le moins d'énergie, pour fabriquer une paroi rigide.

On rencontre facilement de telles structures régulières dans la nature. Certains coraux ou nids d'hyménoptères attestent ces propriétés. Les industriels, depuis plus de 50 ans, se sont emparés de ces principes pour fabriquer des panneaux (carton, polymères, métaux...) ou des composants (portes, ailes d'avion...) s'offrant comme un optimum rigidité/légèreté. Mais si l'hexagone régulier sert de référent de base, on rencontre également des systèmes à cellules carrées, heptagonales ou pentagonales, des systèmes mixtes et même des systèmes à cellules non-régulières. Les polygones de Voronoï sont un bel exemple de ces compositions cellulaires « irrégulières ». Définie par le mathématicien russe Georgy Fedoseevich Voronoï en 1908, cette solution pave un plan en cellules à partir d'un ensemble discret de points, ou germes, qui viennent enrichir les trames des variations d'éléments attracteurs. Ces divisions moins régulières conservent les avantages structuraux des systèmes alvéolaires, mais offrent plus de souplesse pour le remplissage de formes complexes. Les performances des systèmes cellulaires étaient déjà connues par les Romains pour construire. Ils vont utiliser des caissons carrés ou trapézoïdaux en pierre avec du béton de chaux pour alléger leurs voutes et coupes. Le Panthéon de Rome érigé au 1<sup>er</sup> siècle av. J.-C. en est sans doute un des plus beaux exemples. Cette technique séduira aussi les architectes de la Renaissance.

Plus proches de nous, les brutalistes en quête de vérité des matériaux vont trouver dans la technologie du caisson en béton un mode de couverture alliant l'élégance de la forme à la rigueur du matériau et l'économie de sa mise en oeuvre. Henri Wesse, un des grands noms de ce courant aux États-Unis réalisera une des plus belles voutes cellulaires en béton, celle du métro de Washington (1975).

Dans le monde du bois, il faut attendre les années 2000 pour se réapproprier pleinement cette technique et son langage. Les potentialités structurales avérées des systèmes alvéolaires rejoignent les enjeux environnementaux d'aujourd'hui. Facilitées par les outils numériques, la modélisation aisée des cellules et la simplification de leur fabrication ouvrent la voie à des écritures qui redéfinissent la morphologie des parois et des espaces. Les systèmes alvéolaires deviennent un langage pour des solutions portantes de toitures de toutes formes. La toiture de la Cafétaria de Ditzingen (Barkov-Leibinger, 2008) s'étire en suivant un grand plan perforé par des lanterneaux lumineux. Par différence, le pavillon d'accueil de la ferme photovoltaïque de Toul (Canonica-Cartignies avec Jacques Anglade, 2016) utilise des caissons rayonnants pour former un dôme sphérique solaire.



Illustration 1 : Cafétaria, Ditzingen

Illustration 2 et 3 : « Ruche en folie », ENSA-Nancy, ENSTIB-Epinal

Ils favorisent aussi une lecture du système porteur avec l'introduction de l'alvéole comme échelle visuelle intermédiaire et celle des ouvertures comme singularités en harmonie avec la structure. Le pavillon « Eureka » (2012), construit à Londres par NEX & Markus Barnett, est porteur d'une esthétique fractale riche d'interprétation. L'enveloppe courbe du pavillon « my green world » (2D3D, 2012), pour l'exposition florale de Venla au Pays-Bas agglomère des caissons gauches pour former une immense graine.

Les parois verticales peuvent aussi trouver dans les alvéoles matière à édification comme dans l'expérience « ruche en folie ». Oscar Gamez, architecte doctorant au laboratoire MAP-CRAI, a ainsi modélisé dans la cadre de son travail de thèse (2016) des parois pouvant se développer dans des plans axiaux suivant une direction rectiligne ou curviligne avec des divisions cellulaires régulières ou irrégulières [4].

## 2.2. Les résilles bombées

Une résille désigne un maillage étroit de petits éléments filaires. Ce terme emprunté au monde du textile désigne un quadrillage de fils croisés formant une sorte de filet pouvant venir envelopper les formes les plus souples.

Cette idée de résille a largement été utilisée dans l'histoire de la construction et on la trouve dans de nombreuses architectures vernaculaires utilisant les roseaux, les bambous ou des perches en bois de petits diamètres. Guidé par l'usage de ressources locales disponibles, mais aussi par un souci d'économie de matière, ces techniques ont très vite démontré qu'on peut largement compenser la « fragilité » d'éléments de petite section par leur multiplication dans deux voire trois directions et par une courbure adaptée qui apporte une rigidité voisine de celle d'une coque.

C'est à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle que l'ingénieur Vladimir Shukhov eut l'idée de réutiliser cette technique pour construire en acier la rotonde de l'exposition russe des arts et de l'industrie à Nizhny Novgorod.

Dans l'effervescence des années 1960, de nombreuses recherches vont être menées sur les structures en grille [5]. Des expériences de fabrication de dômes avec des grilles de lattes en bois seront menées en particulier aux États-Unis. En 1973, la publication « Shelter » [6] contribuera largement à la diffusion de ces approches alternatives.

En 1975, l'architecte Frei Otto avec le bureau d'étude ARUP va reprendre magistralement le flambeau en construisant avec une double nappe de lattes en Hemlock la multihalle de Manheim en Allemagne. La recherche de la forme s'est faite à partir d'une maquette selon la technique de la « chaînette renversée ». On attribue généralement l'invention de cette méthode au scientifique anglais Robert Hooke (1635-1703) qui l'exprime ainsi en 1675 « De même que pend un fil flexible, de même, en inversant, on trouve les pièces contiguës d'une arche ».

Frei Otto avait déjà utilisé cette approche pour sa première résille en bois à Essen (1962). Sous son poids propre, un filet de chaînettes suspendues va trouver sa forme d'équilibre ou courbe funiculaire. Les modèles de comportement d'une telle structure restent cependant très incertains pour des toitures à double courbure inversée et les outils numériques étaient à l'époque balbutiant. Malgré la nécessité de recourir expérimentalement à des tests physiques, la structure de la multihalle va montrer toutes les capacités portantes et les aptitudes morphologiques des résilles en bois

En 2002, l'architecte Edouard Cullinam et le Buro Happold vont utiliser pleinement les potentialités des outils informatiques pour proposer une structure d'une étonnante légèreté en utilisant une ressource locale, le chêne vert. Le musée « Weald and downland » va marquer le renouveau de cette figure structurelle.



Illustration 4 : Musée « Weald and downland », Chichester



Illustration 5 : Orangerie du château, Chiddingstone

Plusieurs autres réalisations vont venir enrichir les connaissances tant sur le comportement statique que sur les modes de mise en œuvre de ces structures dont l'économie de matière repose largement sur la forme de la nappe. Elles seront ainsi l'occasion d'expérimenter la fluidité de nombreuses formes courbes et leur pouvoir architectural pour donner le sentiment chaleureux de l'abri.

L'immense couverture ondulante du pavillon d'accueil (2004) de Savil Garden en Angleterre conçu par G. Howells ou la légèreté structurelle du support de la couverture en verre de l'Orangerie (2008) du château de Chiddingstone au Royaume-Uni conçue par P. Hulbert sont autant de démonstrations de la fertilité des résilles bombées, nommées « gridshell » en anglais, et de leur aptitude à faire naître des enveloppes gracieuses et maternelles.

### 2.3. La stratification dense

La superposition ou la juxtaposition d'éléments de faibles sections est un moyen ancestral pour confectionner des systèmes résistants. Les cordes de chanvre sont faites de minces fils végétaux entrelacés. Les faisceaux de roseaux des moudhifs d'Irak poursuivent une tradition millénaire d'agglomération structurale de simples tiges végétales qui remonte à la Mésopotamie.

Le principe d'association et de distribution des « faiblesses » permet de compenser des épaisseurs ou des longueurs déficientes pour tenir et porter.

Au XVI<sup>e</sup> siècle, contraint par la rareté des bois longs réservés à la marine, l'architecte français Ph. Delorme invente la « charpente à petits bois ». Face aux limites de portée des bois courts, il rompt avec l'usage de la ferme latine et met au point une charpente faite de nappes de planches discontinues à joints alternés qui prend modèle à la fois sur les arcs en pierre et les couples de bateaux. Il ouvre la porte au principe de stratification structurelle.



Dans un contexte plus récent, guidé par la volonté d'utiliser des bois peu valorisés, l'ingénieur J. Natterer va mettre au point dans les années 1990 un plancher fait de planches clouées de faible épaisseur. Il associe des planches de différentes longueurs posées de chant à joints décalés pour former des dalles de plancher de grande portée. Outre son intérêt constructif, cette technique de clouage (ou de vissage) des planches permet d'éviter l'utilisation de colles pouvant dégager des émissions toxiques.

En 2001, les architectes Bellmann et Pedrolini vont construire à Gilamont en Suisse un des premiers ensembles de logements collectifs utilisant cette technique pour la réalisation de planchers, mais aussi de murs porteurs.

En France, l'architecte Y. Perret et l'ingénieur J. Anglade vont s'emparer de cette technique pour lui apporter poésie et inventivité.

Au centre d'Imagerie médicale de Saint Priest en Jarrez (2000), les planches en douglas ne forment plus seulement une dalle plane, mais leur variation angulaire verticalement modifie la sous-face du plancher-plafond en lui donnant une épaisseur visuelle aux appuis.

Dans un préau au Chambon sur Lignon, la stratification dense va quitter le domaine du plancher pour gagner celui de la charpente. La répétition alternée de chevrons et contre-fiches forme une toiture à la sous face dansante.

La voie est désormais tracée pour penser non plus des planchers, non plus des murs, non plus des charpentes, mais des structures complètes qui portent et enveloppent l'espace. Le volume construit se découpe en strates matérialisées par des planches pour former une « structure continue ».

L'abri de la tourbière à Bertrichamps conçu en 2014 par C. Aubertin avec le bureau d'études Barthès-bois apparaît comme un édifice dont la structure se situe entre une combinaison de colonnes en éventail formant portique, et une enveloppe à claire-voie formant coque. La mise en oeuvre « oui pour non » des planches permet l'insertion moissante et stabilisante des différentes membrures. Elle crée aussi une succession de traits d'ombre et de lumière qui apporte à l'architecture un rythme très graphique.



Illustration 6 : Préau, Chambon sur Lignon



Illustration 7 : Abri, Bertrichamps

## 2.4. L'empilement paramétrique

Empiler est un geste constructif élémentaire qui transforme un composant basique en un ouvrage d'ordre supérieur. Dans le monde animal, les fourmis et les termites construisent des chefs-d'oeuvre structuraux et thermiques par un simple empilement de grains.

Chez les humains les empilements de pierre sont universels et la superposition de quelques pierres est un marqueur même de la présence humaine, une sorte de tentative spontanée et symbolique de lutter contre l'entropie du monde terrestre. Empiler, c'est marquer son humanité. Il est significatif de voir que les cairns, ces empilements éphémères et incertains de pierres aux bords des chemins, ont un nom qui en allemand (steinmann) ou en néerlandais (steenman) signifie humain ou plus précisément « homme de pierre ». Chez les Inuits, les empilements anthropomorphiques de pierres utilisés traditionnellement lors de la chasse au caribou, se nomment « inukshuk », un terme composé des morphèmes « inuk » (être humain) et « shuk » (substitut, agissant à la place de).

L'empilement de pierres ou de briques a aussi constitué une technique majeure dans la construction des édifices à travers l'histoire. Dans les régions boisées, de nombreuses communautés humaines ont su développer des structures construites avec des empilements de fustes ou de bois équarris. Ce mode constructif est devenu une expression

dominante de la culture constructive traditionnelle des pays de montagne ou des régions froides. Elle a même donné naissance à un type architectural : le chalet.

La technique de l'empilement est d'une grande rusticité et bien qu'elle ait connu des évolutions dans le temps, elle n'a pas fait l'objet de révolutions majeures, mais plutôt de lentes adaptations. Cette rusticité éprouvée par l'histoire explique probablement que cette technique n'a jamais fait l'objet de recherche en ingénierie avancée.

C'est donc plus du côté des pratiques artistiques qu'il faut observer des déplacements dans la manière de penser l'empilement. Libéré des exigences de l'enveloppe structurelle continue des constructions habitables, les expériences artistiques vont engendrer des superpositions aventurières et ouvrir la porte à d'autres vocabulaires de la stabilité par entassement.

L'utilisation de bois courts dont le comportement s'apparente plus à celui des grains entassés qu'à celui des bûches superposées fait partie de ces nouveaux jeux où la forme se libère des plans polygonaux. Les empilements sculpturaux (2000) de N. Polissky en Russie ou la « cheminée extérieure » en bois recyclés de Haugen & Zohar (2009) à Trondheim en Norvège en sont de beaux exemples.

La mise en œuvre de bois de sections variables ou la répétition avec décalage de pièces régulières propose aussi des morphologies qui reposent sur des équilibres renouvelés. Le « wood cafe » (2005) à Londres de S. Wigglesworth ou le « West Fest Pavillon » (2009) construit en Suisse par Gramazio et Kohler bouleversent l'image du bois empilé.



Illustration 8 : « Wood cafe », Londres    Illustration 9 et 10 : « West Fest pavilion », Wetswill am Albis

L'étagement de bois peu transformé aux formes tourmentées invite, par respect pour la nature, à redéfinir les conditions de superposition et d'assemblage qui s'adaptent aux variations rencontrées. C'est ce que nous démontre la construction du « Bio Mass Boiler » conçu par l'AA school (2014) à Dorset en Angleterre.

L'usage de techniques de scannage permet de modéliser des éléments singuliers sans passer par leur géométrisation simplifiée. Le développement de modeleurs paramétriques ouvre la voie à une pensée où la forme n'est pas une totalité définie a priori, mais le résultat d'une variation de valeurs paramétrisées dans des algorithmes. Enfin, les robots de coupes et de taille obéissant aux ordres numériques multiplient les variations de trajectoires et d'outils pour accompagner les singularités morphologiques des composants. Les mêmes robots peuvent aussi être utilisés pour positionner les éléments laissant entrevoir une cinétique numérique intégrable à la chaîne conception-fabrication comme le montrent les expériences « Sequential wall » menées à l'ETH de Zurich en 2008.

## 2.5. L'enveloppe plissée

Dans la nature, le pli est une adaptation aux contraintes, aux forces extérieures, entraînant une déformation de la matière. Le pli peut être une déformation subie comme dans le cas des plis géologiques caractéristiques de l'orogénèse. Il peut être aussi une mise en forme anticipée génétiquement par adaptation comme pour les feuilles de palmier dont le pli va se former lors de la croissance de la plante pour lui apporter une résistance au vent.

L'origami, cette technique de pliage d'une feuille de papier originaire de Chine, mais portée au rang d'art par le Japon, nous enseigne aussi comment la conformation de différents plis apporte une rigidité morphologique à une simple feuille. Elle nous montre également comment la déformation d'une feuille plane peut engendrer une figure géométrique poétique abstraite ou figurative.

L'ingénieur Paul Ehlers sera un des premiers à utiliser en 1924 en Allemagne une structure plissée en béton pour faire un abri à charbon. Il publiera en 1930 une des premières analyses du comportement structural des structures plissées. Dans les années 50 et 60, de nombreux écrits théoriques vont venir enrichir les bases d'une compréhension rationnelle de ses structures. Mais ce sont les simplifications apportées par des auteurs comme Winter et Pei (1947) [7] qui vont largement favoriser leur emploi par les architectes à la recherche d'un nouveau langage pour le béton. Différents projets vont alors trouver dans le plissage un moyen pour économiser la matière en répondant aux défis des grandes portées.

Le bâtiment des congrès de l'UNESCO à Paris (1953-57) conçu par les architectes M. Breuer et B. Zeffuss avec l'ingénieur L. Nervi ou encore le Collège d'art et de design de Bale (1956-61) des architectes H. Braun, H-P. Baur, F. Bräuning, A. Durig vont témoigner des potentialités tant techniques qu'esthétiques des structures architecturales plissées.

À la même époque, le constructeur Jean Prouvé qui avait fait de la tôle pliée sa marque de fabrique va réaliser à Lille en feuilles d'aluminium pliées le pavillon du centenaire de l'aluminium (1954).

L'Église de « l'Indépendant congregation » (1959) à Florissant aux Etats-Unis conçu par Manske et Dieckman constitue le premier ouvrage majeur plissé en bois massif et contreplaqué. L'usage seul de feuilles de contreplaqué sans nervures sera expérimenté à la fin des années 60 dans le projet « wooden yurt » de S. Coperthwaite pour former la toiture plissée circulaire d'une habitation dans le Maine qui fût surnommée « pie crust ». En 2002, l'architecte Régina Schineis réalise la salle de répétition de Thannhausen en Allemagne en faisant usage de panneaux contrecollés pour former un système de portiques à plissage régulier.

La chapelle Saint-Loup (2008) à Pompaples en Suisse va représenter un tournant dans la conception-fabrication des structures plissées en bois. Les architectes Localarchitecture et Danilo Mondada vont s'appuyer sur les travaux de recherche du Laboratoire IBois – EPFL pour concevoir un bâtiment fait d'une succession de portiques en panneaux contrecollés irréguliers.



Illustration 11, 12 et 13 : Chapelle Saint Loup, Pompaples

La chapelle est ainsi une des premières structures architecturales plissées qui ait utilisé des outils logiciels de modélisation et de simulation pour définir de nouvelles formes géométriques en y intégrant dès le départ, la conception et l'analyse structurale, mais aussi le processus de fabrication.

Dans le même esprit on mentionnera le travail de recherche et d'expérimentation mené par Julien Meyer, architecte doctorant au laboratoire MAP-CRAI, qui propose un modèle théorique et des outils logiciels paramétriques pour concevoir et fabriquer des structures architecturales plissées en panneaux de bois [8]. Le projet « New-yourte » réalisé en partenariat avec l'ENSTIB lors des « défis du bois » à Épinal en 2014 en sera une belle démonstration.





Illustration 14 : « New-yourte », ENSA-Nancy, ENSTIB Epinal

Finalement, ces deux derniers exemples traduisent, dans une magnifique expression architecturale, un processus d'édification assisté numériquement et reposant sur une collaboration savante et poétique entre architectes, ingénieurs et chercheurs.

### 3. En conclusion

La convergence du numérique et de l'environnement est aujourd'hui un des principaux moteurs d'évolution de l'architecture et des techniques de construction. Après plusieurs décennies d'un lent réveil, l'architecture construite avec du bois trouve dans cette convergence une formidable opportunité de renouveau.

De nouvelles figures architectoniques émergent comme celles que nous avons évoquées. D'autres pourraient être mentionnées comme les réseaux de lamelles ou les cloisons quadrillées. D'autres encore apparaîtront sûrement. L'émergence de toutes ces figures n'a rien de soudain. Elles ne naissent pas d'une révolution bruyante, mais plutôt d'un lent processus d'accumulation d'expériences qui rentre en phase avec les besoins d'aujourd'hui en matière de durabilité et les moyens d'aujourd'hui en termes d'outils numériques de conception et de fabrication.

C'est sans doute encore une particularité du bois que de ne pas être un matériau nouveau, mais un matériau « toujours nouveau » capable de s'insérer dans une pensée de l'architecture en évolution et des moyens de production en mutation. Et c'est le mérite d'une approche numérique-soutenable que de permettre le bouleversement des vocabulaires de l'architecture construite avec du bois. Toutes ces figures démontrent finalement qu'un matériau ancestral peut être porteur d'une incommensurable modernité et que l'on peut toucher les étoiles... en gardant les pieds sur terre.

### 4. Références

- [1] Gottfried Semper, *Du style et de l'architecture, Écrits, 1834-1869*, Traduit de l'allemand par Jacques Soullou avec la collaboration de Nathalie Neumann, Éditions Parenthèses, 1860
- [2] Kenneth Frampton, *Studies in Tectonic Culture : The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, Graham Foundation for Advanced Studies in the Fine Arts, et The MTT Press, 1995
- [3] Rivka Oxman, Robert Oxman, *The New Structuralism : Design, Engineering and Architectural Technologies*, Wiley, 2010
- [4] Oskar Gamez Bohorquez, *N-SVARM, a parametric generative tool for designing non standard timber walls based on regular and irregular tessellation*, thèse de doctorat en sciences de l'architecture, laboratoire MAP-CRAI, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, Université de Lorraine, 2017
- [5] John Borrego, *Space grid structures, Skeleton Frameworks and Stressed-Skin Systems*, MIT Press, 1968
- [6] Lloyd Kahn, Bob Easton, « Shelter », première édition, 1973, deuxième édition, 2000
- [7] C.B. Wilby, *Concrete folded plate roofs*, Elsevier, 1998
- [8] Julien Meyer, *Conception architecturale d'enveloppe structurales plissées en panneaux de bois*, thèse de doctorat en sciences de l'architecture, laboratoire MAP-CRAI, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, Université de Lorraine, 2017