

Tectonique du tissage en architecture

Martin Fischbach*

Sommaire

- | | |
|--|---|
| 1. Introduction | 6. Frei Otto : Entrecroiser des
éléments continus |
| 2. Architecture première :
Tresser l'enclos | 7. Shigeru Ban : Tressage
sculptural |
| 3. Huttes et yourtes : Liaisonner
perches et treillis | 8. Toyo Ito - Cecil Balmond :
Algorithme mathématique
pour tisser |
| 4. Gothique tardif : Entrelacer
les nervures | 9. J. Herzog & P. de Meuron :
Enchevêtrement monumental |
| 5. Antoni Gaudí : Fils suspendus
comme modèles | 10. Conclusion |

* Cet article fait l'objet d'un soutien financier de la part de l'Université Dong
A, Dept. of Architecture.

1. Introduction

L'origine de l'architecture se confondrait avec celle du tissage et du tressage d'après Gottfried Semper. Il écrit : « *Partant de l'entrelacement de rameaux, la transition au tressage de fibres végétales à des fins également liées à l'habitat, est facile et naturelle. De là on ne vint à l'invention du tissage, d'abord avec des brins d'herbe ou des fibres végétales, ensuite avec des fils tressés d'origine végétale ou animale.* »¹⁾

Le Tectonique, du grec *Tektonikos* « propre au charpentier » concernant l'étude des mouvements et des déformations de la structure, découlerait donc du tissage. Cette association originelle entre le textile et le tectonique offre des prolongements tout au long de l'histoire de l'architecture. Tisser permet de constituer une structure ayant à la fois des propriétés mécaniques et des qualités visuelles. André Leroi-Gourhan associe le tissage et le tressage dans un procédé commun lorsqu'il écrit :

« *L'enchevêtrement des fibres d'un panier ou celui d'une étoffe peuvent être identiques sans qu'on les considère comme appartenant à la même catégorie technique.* »²⁾

Seul le matériau change mais la technique reste la même. Le tressage représente ce lien entre textile et tectonique, car il permet de réaliser des structures solides par entrecroisement et entrelacement.

1) Gottfried Semper, *Du style et de l'architecture - Ecrits, 1834-1869*, traduit de l'allemand par Jacques Soullou et Nathalie Neumann, Marseille, éditions Parenthèses, 2007, p.330, éd. originale 1860

2) André Leroi-Gourhan, *L'homme et la matière*, Paris, éd. Albin Michel, 1971, p.268, 1ère éd. 1943

2. Architecture première : Tresser l'enclos

Les Architectures premières, que l'on peut encore découvrir en Océanie ou sur le continent Africain sont des exemples d'une tectonique tissée. Gottfried Semper, dans son ouvrage *Du style et de l'architecture : Ecrits*, 1834-1869, fait remonter l'origine du textile au procédé de tressage confectionné pour enclore les premières habitations. Il cite la chaumière des Caraïbes qu'il a vu à la Section coloniale de l'Exposition universelle de 1851. On pourrait citer aussi les habitations des Iles Sandwich à Hawaï où les parois sont confectionnées de lambeaux végétaux. Il écrit :

« il reste certain que l'utilisation de tissages grossiers, en commençant par l'enclos, pour séparer le home, la vie intérieure de la vie extérieure, en tant qu'élaboration formelle de la notion d'espace, précéda certainement le mur »³⁾.

Une certaine continuité du processus de l'assemblage au tressage puis au textile semble crédible à la vue de nombreux exemples dans l'ouvrage *L'architecture primitive* de E. Guidoni⁴⁾. L'ethnologue André Leroi-Gourhan englobe ces activités dans une vaste catégorie celle des « Solides souples » où l'on trouve, l'écorce, l'apau, la filature, la couture, les tissus, la vannerie et les tissages. Il écrit :

« 2 pris 2 sautés décalés d'un élément de chaque rang (armure croisée diagonale) est particulièrement caractéristique de la vannerie

3) Op. cit., Gottfried Semper, *Du style et de l'architecture - Ecrits*, 1834-1869, p.330

4) Enrico Guidoni, Jean d'Yvoire, *Architecture primitive*, coll. Histoire de l'Architecture Mondiale, Paris, éd. Berger-Levrault, 1980

du Pacifique asiatique, de Corée en Mélanésie. On l'emploie surtout en travail serré pour des paniers, des hottes et des panneaux. Sous cette dernière forme, cette armature est utilisée pour des cloisons, des clôtures, des toits de chars depuis l'Inde jusqu'en Mandchourie et Mélanésie. »⁵⁾

La réalisation de tous ces objets va de pair avec un tressage de l'enclos⁶⁾, pour séparer l'intérieur de l'habitation de l'extérieur ainsi que pour différencier les espaces intérieurs. Gilles Deleuze et Félix Guattari établissent également un lien entre le tissage des vêtements et celui des tapis qui délimitent un espace habitable en écrivant :

« chez le sédentaire, le tissu-vêtement et le tissu tapisserie tendent à annexer tantôt le corps, tantôt l'espace extérieur, à la maison immobile : le tissu intègre le corps et le dehors à un espace clos. »⁷⁾



Hutte au Burkina
Faso
Source :
*Techniques &
architecture* n°458,
2002, p.54

5) Op. cit., André Leroi-Gourhan, *L'Homme et la Matière*, Paris, éd. Albin Michel, 1971, p.274, 1^{ère} édition 1943

6) Op. cit., Gottfried Semper, *Du style et de l'architecture - Ecrits, 1834-1869*, p.126

7) Gilles Deleuze, Félix Guattari, *Capitalisme et Schizophrénie 2 - Mille Plateaux*, Paris, Les Editions de Minuit, 1980, p.594

Par opposition, l'habitat nomade intègre la mouvance et se présente davantage comme un espace ouvert et mobile.

3. Huttes et yourtes : Liaisonner perches et treillis

Peu d'ouvrages s'intéressent encore aux habitations nomades anciennes. Un des raisons vient de leur progressive disparition.

Les huttes à la différence des tentes ne sont pas mobiles. Confectionnées rapidement avec les matériaux se trouvant à proximité, elles sont abandonnées lors du déplacement de leurs occupants. Pour leurs demeures couvertes originellement en peau, les Massaïs utilisent l'entrelacement afin d'assurer la stabilité de l'enceinte et de la voûte. Denis Couchaux écrit :

« *A partir de 1 m au-dessus du sol, elles (longues perches flexibles) sont reliées par des cordes horizontales, espacées tous les 30 cm.[...] L'armature est consolidée par un entrelacement de branchages.* »⁸⁾.

L'utilisation de matériaux naturels tels que les perches pour les huttes coupolaires permet de tresser des armatures qui allient flexibilité et solidité, par exemple pour les demeures des Alakalufs et des Pygmées. Plus les éléments sont liés entre eux, plus l'édifice résistera aux différentes contraintes. La liaison entre les perches de bois se fait à l'aide de joncs. Au Soudan, les Touareg confectionnent

8) Denis Couchaux, *Habitats Nomades*, Paris, éd. Alternatives, 2011, p.43, 1ère édition 2004

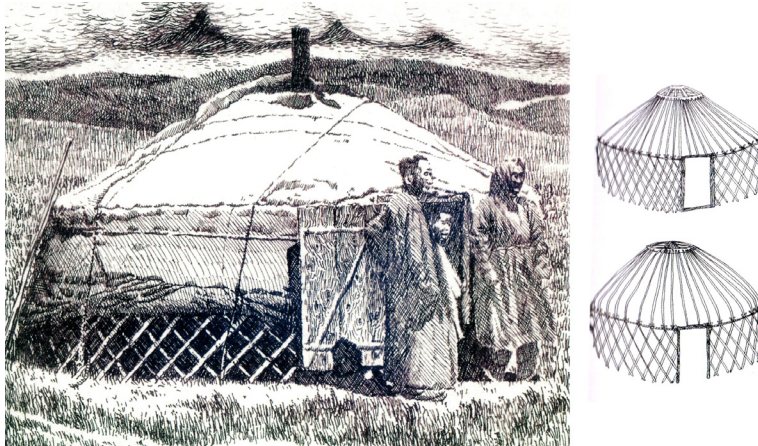
des tentes. Les arceaux sont fabriqués avec des racines d'acacia et le revêtement du toit de nattes de palmier doum. Les Toubous, nomades chameliers du Tchad forment également un réseau voûté de lattes flexibles entrecroisées.

La yourte, habitation traditionnelle des nomades Turkmènes, Kirghiz, Kazakhs... et plus généralement de la mer Noire à la Mongolie, fait appel à un procédé plus élaboré que les huttes. La rapidité de son installation est proportionnelle à sa sophistication. Denis Couchaux écrit :

« L'armature de la yourte est formée par un mur circulaire... composé de quatre à dix treillis de bois (khana). Chaque treillis est constitué de trente-trois lattes. Ces lattes sont des demi-branches de saule ou de genévrier... Elles sont reliées entre elles par des lacets de cuir noués, formant des axes d'articulation très souples qui laissent du jeu à l'ensemble pour permettre le pliage. »⁹⁾.

Grâce à la souplesse de sa structure en treillis articulé, la yourte résiste aux violentes tempêtes. Enveloppée de feutre, elle est entourée de cordes solidement attachées qui maintiennent ensemble les treillis circulaires en formant des anneaux de compression comme une structure précontrainte. L'extrême légèreté de la yourte, la flexibilité et la maniabilité de sa structure en treillis déployable renvoie encore à la trame textile. Le feutre, par contre, n'est pas un textile tissé mais obtenu par foulage.

9) Ibidem, Denis Couchaux, *Habitats Nomades*, p.123



Yourte mongole et kirghiz

source : Couchaux D., *Habitats Nomades*, p.122-123

4. Le Gothique tardif : Entrelacer les nervures

Dans un processus de dématérialisation et de recherche de verticalité, l'architecture Gothique transforme ses surfaces en réseaux de nervures et gagne en complexité géométrique. Ainsi le Gothique tardif au 16^{ème} siècle très spectaculaire en Grande Bretagne et en Europe centrale ressemble davantage à un tressage ou maillage, exemples la chapelle du King's College (1441-1515) à Cambridge sur une trame orthogonale de « *magnifiques voûtes en éventail* » conçu par John Wastell selon D. Watkin¹⁰⁾ et la très belle cathédrale

10) David Watkin, *A History of Western Architecture*, New York, Watson-Guipill Publications, 2005, 4ème édition, p.180, éd. originale 1986

Sainte-Barbara (1420-1512) à Kutna Hora en Tchéquie sur une trame florale de voûtes à nervures courbes. Cette dernière offre un spectacle extraordinaire de transformation continue des colonnes en entrelacements de nervures. Christian Norberg-Schulz écrit :

« *le réseau de nervures à double courbure introduit un mouvement continu, complexe, qui unifie l'intérieur, couvert d'une voûte qui semble flotter dans l'espace.* »¹¹⁾

Le tissage floral au plafond donne une impression de légèreté et de flottaison au système de voûtes. La continuité des nervures représente non seulement un idéal esthétique mais l'expression d'une solution technique, celle d'un transfert continu des charges de l'horizontale, la couverture d'un espace, à la verticale, les piliers jusqu'au sol. Tout comme le tissu qui tire sa solidité de la continuité et de l'entrelacement des fils, l'architecture gothique tardive privilégie la continuité pour assurer sa solidité. La prolifération des nervures, comme celle des fils du tissu, diffuse, répartit, dissémine les pressions et les tensions afin d'assurer sa résistance et sa cohésion. Farshid Moussavi écrit :

« *La nef de Saint-Barbara transmet un effet optique de curvilinéarité, nervuré et bigarré, et un effet acoustique de diffusion et de lenteur.* »¹²⁾

11) Christian Norberg-Schulz, *La Signification dans l'Architecture occidentale*, Bruxelles, Pierre Mardaga, 1977, p.211, 1^èd. en italien, *Significato nell'architettura occidentale*, Milano, Electa Editrice, 1974

12) Farshid Moussavi, *The Function of Form*, Harvard University, Graduate School of Design, Barcelone, Actar, 2009, p.215, "*The nave of St-Barbara transmits an optical affect of curvilinearity, ribbing and variegation, and an acoustical affect of diffusion and slowness*"

L'emploi d'une double courbure démontre une grande maîtrise de la géométrie non-euclidienne. La pierre, matériau tellurique, se métamorphose en un réseau aérien. Les rosaces annoncent un processus qui va aller en s'amplifiant d'une dématérialisation de la limite entre intérieur et extérieur vers toujours plus de transparence et de clarté. Leur remplage, réseau de pierre garnissant l'intérieur d'une fenêtre ou d'une rose, rappelle une matière textile, celle du napperon en dentelles. Egaleme nt la tracerie, décoration autour de la fenêtre ou de la rose s'apparente à une forme de tissage souvent floral.

Lars Spuybroek, dans son essai « The Digital Nature of Gothic », attribue à l'architecture Gothique, architecture de pierres, des caractéristiques textiles. Il écrit :

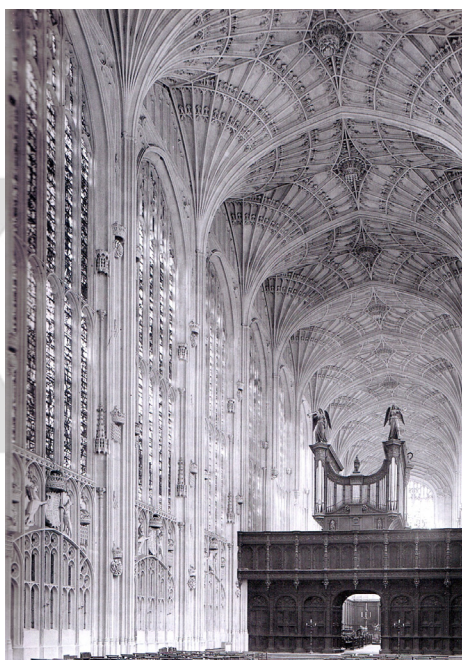
*« Le Gothique a du mouvement [...] car il convertit ce mouvement physique dans une structure abstraite. Il le fait avec la plus précise articulation, par comptage, groupement, effilochage, regroupement, précisément à la manière des techniques textiles qui, auparavant, n'avaient été normalement trouvées uniquement dans l'ornement. »*¹³⁾

L. Spuybroek compare cette morpho-dynamique du Gothique où les piliers ne sont qu'un rapprochement de nervures qui se meuvent dans l'espace selon des trajectoires souples, libres pour former une trame,

13) Lars Spuybroek, « The Digital Nature of Gothic », dans Textile Tectonics, Rotterdam, Nai Publishers, 2011, p.17, « *The Gothic has movement [...] because it converts this physical movement into abstract structure. It does so with the most precise articulation, by counting, grouping, unraveling, regrouping, precisely in the manner of textile techniques that previously had been normally found only in ornament.* »

un réseau sous les voûtes. Il poursuit :

« *Dans le Gothique, tout ornement est vertical: les nervures sont fondamentalement verticales, comme les vrilles végétales de l'Art Nouveau, et pour faire des liens horizontaux, ces verticales nécessitent de se plier, de se toucher et de s'entrecroiser, créant une toile allant d'un côté à l'autre.* »¹⁴⁾



Chapelle du King's College, Cambridge, John Wastell

Source: Watkin D., *A History of Western Architecture*, p.181

14) Ibidem, Lars Spuybroek, « The Digital Nature of Gothic », dans *Textile Tectonics*, p.25, "In the Gothic, all ornament is vertical : ribs are fundamentally vertical, like the vegetal tendrils of Art Nouveau, and to make horizontal connections, these verticals need to bend, touch and interweave, creating a web spanning from one side to the other."

5. Antoni Gaudi : Fils suspendus comme modèles

Antoni Gaudi (1852-1926) choisit la matière la plus fine, la plus légère et la plus souple, le fil, pour simuler la squelette de son projet d'église de la colonie Güell, un procédé plusieurs fois expérimenté sur diverses réalisations architecturales.

« ...colonnes et arcs étaient représentés par des ficelles auxquelles étaient attachés des petits sacs remplis de plombs servant de contrepoids. Un fois l'équilibre atteint, Gaudi photographiait l'ensemble et retournait le cliché... »¹⁵⁾

Cette maquette en fils positionnée à l'envers, fait partie d'une recherche à la fois technique et morphologique en trois dimensions. Elle permet de simuler l'effet de la gravitation et la charge des matériaux en attachant des poids méticuleusement calculés¹⁶⁾. Jean-François Pirson écrit :

« Les fils du modèle représentent les éléments de la structure portante (colonnes, arcades, arêtes, murs), les poids, la localisation et l'importance des charges estimées. Ici, les forces de traction remplacent les forces de pression exercées sur la crypte en pierre réalisée sur le renversement du modèle. »¹⁷⁾

15) Isabel Artigas, *Gaudi Complete Works / Das Gesamte Werk / L'Oeuvre Complète*, vol.2, trad. française Annabelle Labbé, Cologne, Evergreen, 2008, p.414

16) La maquette de 4 mètres de haut, maintes fois ajustée de 1898 à 1908, a été réalisée à l'échelle 1/10^{ème} avec une simulation des charges au 1/10000^{ème}

17) Jean-François PIRSON, *La Structure et l'Objet (essais, expériences et*

La forme de l'édifice est censée prendre en compte celle des fils suspendus afin de canaliser toutes les forces en présence. Car le tissage des fils correspond à un réseau de charges que le squelette en pierre doit supporter. Toute modification ponctuelle du poids provoque par répercussion la modification de la forme et de la position de l'ensemble des fils qui sont interconnectés. L'objectif étant d'arriver par ce processus dynamique et interactif à une maîtrise constructive de la totalité de l'édifice. Différentes étapes de la conception donnant lieu à des changements de la maquette ont été conservés par des photographies. Jos Tomlow écrit :

*« le modèle suspendu était terminé de telle sorte que, à notre avis, aucune erreur théorique n'existait qui aurait rendu l'achèvement du bâtiment impossible... »*¹⁸⁾

La courbure des arcs provient directement de l'analyse de la courbure des fils suspendus, comme celle de la chaînette ou caténaire, technique très utilisée au 18^{ème} et 19^{ème} siècles car elle permet de distribuer uniformément le poids qu'elle supporte. La souplesse du fils suspendu génère une géométrie continue, non-euclidienne, de courbes hyperboliques et paraboliques. Gaudi aurait déclaré :

*« L'hyperbole, la parabole, la caténaire sont des formes funiculaires [...]. La forme funiculaire est un parabolöide. »*¹⁹⁾

rapprochements), Bruxelles, Pierre Mardaga éditeur, 1995, p.61

18) Jos Tomlow, "The spirit of calculation in the architectural work of Gaudi", dans *Gaudi 2002 Miscellany*, ouvrage collectif, dir. Daniel Giralt-Miracle, Gaudi International Year Commemorative Edition, Barcelone, co-édition Ajuntament de Barcelone & Planeta, 2002, p.190, "the hanging model was finished in such a way that, in our opinion, no theoretical errors existed which would make completion of the building impossible ..."

A son époque, seule une maquette de fils pouvait permettre de visualiser cette géométrie en trois dimensions. Aujourd'hui, il existe de nombreux logiciels qui permettent de simuler à l'écran ces surfaces courbes à l'aide d'une image filaire, d'un maillage ou pavage de la surface courbe qui rappelle encore le tissage.



Reconstruction du modèle funiculaire, église Güell, A. Gaudí arch.

Source : J.-F. Pirson, *La Structure et l'objet*, p.61

6. Frei Otto : Entrecroiser des éléments continus

Précurseur de l'architecture textile²⁰⁾, Frei Otto n'en a pas moins

19) Antoni Gaudí, *Paroles et Ecrits*, textes réunis par Isidre Puig Boada, trad. du catalan Annie Andreu-Laroche et Carles Andreu, Paris, L'Harmattan, 2002, p.137. Les paroles de Gaudí ont été recueillies par nombre de ses collaborateurs. Textes issus de 11 sources différentes.

conduit des recherches sur tous les types de structures légères. Sa recherche de la bonne forme se base sur l'observation de la nature²¹⁾ et la connaissance des sciences naturelles. Il tente de cerner des lois universelles de la physique, de la mécanique et de la gravité à travers une expérimentation en trois dimensions à l'aide de modèles tissés et tressés. Très tôt intéressé par les modèles de filets suspendus de A. Gaudi, il en fera faire une reconstitution fidèle. Pour tester les performances de ses dômes tressés, il n'hésite pas dans les années 60 à faire construire des modèles de tailles importantes en lattes de bois. Leur forme reproduit aussi scrupuleusement que possible celle de modèles suspendus qu'il photographie avec précision.

Une longue expérience de recherche des performances techniques et économiques des structures conduit F. Otto à rappeler un principe intrinsèque et primordial de l'intérêt du tissage, celui d'assurer une cohésion par entrecroisement d'éléments continus. Les méthodes basées uniquement sur les calculs ont fait oublier l'importance du geste originel, ancestral, celui d'entrelacer des éléments longs et continus. Il rappelle le risque qui existe à vouloir constituer des maillages de segments non continus par assemblage et non par entrecroisement :

« ils sont très dangereux et coûteux ... ils manquent de sécurité, car aucun élément ne les croise de manière continue [...], les

20) L'architecture textile fait appel à la technologie des membranes et tissus généralement tendues par des câbles et suspendues par des haubans. Il s'agit d'une utilisation directe du textile, une évolution contemporaine de l'architecture traditionnelle des tentes et des chapiteaux.

21) Frei Otto, Bodo Rasch, *Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal*, Londres, éd. Axel Menges, 1996

maillages quadrilatères ont l'avantage de barres qui traversent les nœuds de manière continue et permettent une construction simple »

22)

Le hall d'exposition botanique de la Federal Garden à Mannheim²³⁾ en 1975 constitue un exemple spectaculaire d'une couverture à double treillis de bois tressé. Il illustre le principe de continuité des lattes à la fois déformables et continues qui fabriquent le treillis. Ce type de dôme en treillis basé sur un modèle suspendu permet de couvrir des surfaces très importantes avec un minimum de matière. Philip Drew détaille par les chiffres, la performance technique :

« la portée maximale 85 m, l'hauteur maximale 20 m, la section d'une latte 50 x 50 mm »²⁴⁾. Franchir une telle distance avec des éléments aussi fins en bois représente une prouesse technique qui confirme la pertinence d'entrecroiser des éléments continus.

22) Frei Otto, Juan Maria Songel, *A Conversation with Frei Otto*, New York, Princeton Architectural Press, 2010, p.57-60, éd. originale *Conversacion con Juan Maria Songel*, Barcelone, éd. Gustavo Gili, 2008, "they are very dangerous and expensive... they lack safe points, because no element crosses them continuously [...], quadrilateral meshes have the advantage of bars that cross the knots continuously and permit simple construction"

23) Winfried Nerdiger, Irene Meissner, Eberhard Moller, Mirjana Grdanjski, *Frei Otto. Complete Works*, Bâle, Birkhäuser, 2ème édition 2005, 1ère édition 2001

24) Philip Drew, *Form and Structure*, Londres, Crosby Lockwood Staples, 1976, p.140



Le hall de l'exposition florale, Mannheim, Frei Otto ing.

Source : Photo d'O. Lowenstein, <http://www.fourthdoor.org/annular>

7. Shigeru Ban : Tressage sculptural

L'architecture textile n'entre pas dans cette recherche sur la transposition tectonique du textile car elle utilise littéralement la toile textile pour couvrir l'espace. C'est justement ce que l'architecte Shigeru Ban cherche à éviter, une architecture de toile tendue qui nécessite des mats de suspension et un haubanage. Elle a pourtant influencé la conception architecturale de S. Ban. Il écrit :

« J'ai été fasciné par la structure tendue en textile métallique tout en étant également resté avec quelques doutes. [...] Je m'interrogeais sur la possibilité de faire une structure en grille en utilisant du bois (bois lamellé) qui peut être facilement plié en deux dimensions, où le toit peut être placé directement par dessus. »²⁵⁾

25) Shigeru Ban, Philip Jodidio, *Shigeru Ban: Complete Works 1985-2010*,

L'architecte cherche le matériau qui puisse lui offrir à la fois la flexibilité du tissu tout en ayant des qualités tectoniques. Le bois lamellé-collé lui apporte la solution à la fois esthétique et technique pour le musée Pompidou à Metz. Pour la conception de sa couverture, l'architecte S. Ban s'est inspiré du motif et de la forme d'un chapeau chinois. Il écrit :

« *Cette idée est venue d'un chapeau chinois traditionnel tressé que j'ai trouvé dans un magasin d'antiquités* »²⁶⁾.

La toiture souple en forme d'hexagone de 90 mètres de largeur recouvre les volumes du bâtiment tel un voile. Les lames de la charpente, espacées de 2,90 mètres, dessinent une trame hexagonale qui forment un tissage structurel. L'architecte précise :

« *l'hexagonal est composé d'un modèle d'hexagones et de triangles équilatéraux inspirés des traditionnels chapeaux tissés en bambou et des paniers de l'Asie.* »²⁷⁾

Le maillage de la structure fait de bois lamellé-collé, hautement résistant et offrant des longueurs hors normes, est superposé en deux couches dans les trois directions de l'hexagone. Ce maillage permet de franchir des portées d'environ 40 mètres, et de faire de la toiture

Cologne, Taschen, 2010, « *I was fascinated with the tensile wiremesh structure while also being left some doubts. [...] I wondered about the possibility of making a grid structure using wood (laminated timber) that can be easily bent two-dimensionally, where the roof can be placed directly on top.* »

26) Ibidem, Shigeru Ban, « *This idea came from a traditional woven Chinese hat I found in an antique shop* »

27) Ibidem, Shigeru Ban, « *the hexagonal is composed of a pattern of hexagons and equilateral triangles inspired by traditional woven bamboo hats and baskets of Asia.* »

un élément autoportant, qui repose sur quatre appuis seulement. La géométrie toute en courbes et contre-courbes, enveloppe les différents éléments du bâtiment, et notamment les trois galeries d'exposition. L'ensemble de ce tressage structurel est recouvert d'une membrane translucide, toile protectrice à base de fibre de verre et de téflon²⁸⁾. Au-delà des performances techniques, le choix d'une structure tressée monumentale aux qualités plastiques indéniables répond à l'objectif d'attirer un large public comme le confirme l'architecte :

« *La stratégie consistait à créer une architecture sculpturale dans une ville inconnue au niveau international pour attirer le tourisme... [...] j'ai pensé créer une conception qui considèrerait la facilité d'installation et de visualisation de l'art, tout en laissant architecturalement une profonde impression aux visiteurs.* »²⁹⁾



Centre Pompidou, Metz, Shigeru Ban arch.

Source : Jodidio P., *Architecture Now ! Museums*, p.89

28) PTFE ou Poly-Tetra-Fluoro Ethylène

29) Ibidem, Shigeru Ban, « *The strategy was to create sculptural architecture in an internationally unknown city to draw tourism...[...] I thought to create a design concept which considered the ease of displaying and viewing art, while architecturally leaving a deep impression with visitors.* »

8. Toyo Ito, Cecil Balmond : Algorithme mathématique pour tisser

Le Pavillon de la galerie Serpentine à Londres conçu par l'architecte Toyo Ito et l'ingénieur Cecil Balmond révèle une analogie avec le processus de tissage, malgré son plan carré et sa structure en lames d'acier. C. Balmond déclare :

« Les formes imitées de celles qui sont fabriquées par les procédures du tissage ou de la vannerie m'intéressent. Vous commencez par un fil qui change sans cesse de direction. Pour le pavillon d'été de la Serpentine Gallery que j'ai dessiné avec Toyo Ito, j'ai créé un système de ce genre qui aboutit à une surface structurelle entrelacée. »³⁰⁾

Au lieu de couvrir l'espace avec des poutres parallèles et des poteaux, les concepteurs décident d'utiliser un mode de tissage mathématique à l'aide d'un algorithme qui va générer des lignes qui en se croisant tissent un réseau structurel. C. Balmond poursuit :

« nous avons franchi les limites du plan initial carré en tirant des lignes qui partent du point médian d'un côté du carré pour aller au point à un tiers de la longueur du côté adjacent, perpendiculaire au premier. Et ainsi de suite... Si le résultat peut avoir l'air complexe, il est intéressant de savoir que toutes ces lignes emmêlées sont engendrées par un seul algorithme. »³¹⁾

30) Cecil Balmond, "Tresser, tisser, entrelacer", propos recueillis par Axel Sowa dans *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°369, mars-avril 2007, *Supports et Surfaces*, Paris, éd. Jean-Michel Place, p.57

31) Ibidem, Cecil Balmond, "Tresser, tisser, entrelacer", p.57

L'avancement récent dans le domaine de l'informatique permet de penser autrement le tissage de structures. Cette idée géométrique devient un processus dynamique et structurel qui annule toutes les catégories de l'architecture faites d'éléments conventionnels, tels que poteaux, poutres, toit, portes, fenêtres. Le réseau des lignes entrecroisées qui couvre l'espace horizontalement se replie verticalement sur les quatre faces du pavillon dans une totale continuité pour former les montants de la structure. Ces lignes deviennent dans la construction des profils en acier plats mais trop peu solides pour couvrir l'espace, ils nécessitent d'être entrecroisés. On peut lire dans l'ouvrage *Verb Matters* :

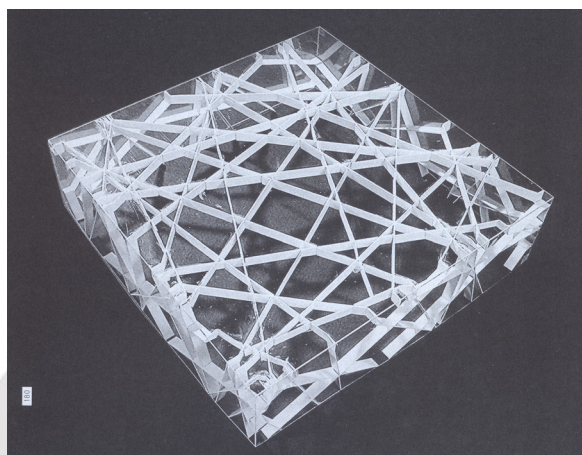
« ...grâce au croisement des éléments du modèle, cette faiblesse particulière est aisément dépassée. La densité offre un réseau de stabilité. »³²⁾

Le tissage ou tressage, même dans un édifice contemporain, répond ici à la nécessité de créer avec une matière flexible une structure réticulaire rigide. Mais c'est surtout le procédé du tissage transposé en « *un mécanisme algorithmique de génération géométrique consistant en une série de carrés qui sont pivotés un par un et réduits en taille, à savoir, un mouvement en spirale de carrés* »³³⁾

32) Albert Ferre , Ramon Prat, Tomoko Sakamoto, Jaime Salazar, Anna Tetas, « Pavillon de la Serpentine Gallery 2002 », dans *Verb Matters*, Barcelone, éditions Actar, 2006, p.176

33) Juan Antonio Cortes, "[Toyo Ito's search for a new organic architecture] Beyond Modernism, Beyond Sendai", dans *El Croquis*, n°123, 2004, Toyo Ito 2001 2005, Madrid, éd. El Croquis, 2004, p.31, "*an algorithmic mechanism of geometric generation consisting of a series of squares that are rotated one by one and reduced in size, one inside the other, i.e., a spiral movement of squares.*"

en un processus de conception architecturale qui fait de ce pavillon son originalité.



Galerie Serpentine, Londres, Toyo Ito arch.

Source : Ouvrage collectif, *Verb Matters*, p.180

9. Herzog & de Meuron : Enchevêtrement monumental

Jacques Herzog et Pierre de Meuron, concepteurs du stade olympique de Beijing, gigantesque résille aléatoire d'acier, confirment que : « *les Chinois eux-mêmes ont surnommé le stade "Nid d'oiseau"* »³⁴). Cette analogie avec la nature colporte tout de suite

34) Jacques Herzog, Pierre de Meuron, "The National Stadium, a new kind of public space for Beijing", dans leur site Internet officiel : <http://www.herzogdeuron.com>, "*the Chinese themselves nicknamed the stadium "Bird's Nest"*"

une connotation positive. J.-P. Allain reprend également la métaphore pour souligner le caractère souple, irrégulier et aléatoire du nid :

« *D'une pelote de fils - ou d'un nid [...] - découle une forme souple et irrégulière animée par le maillage aléatoire d'une résille.* » ³⁵⁾

A partir de cette apparence naturelle, l'auteur attribue au stade des caractéristiques artisanales, celles de la vannerie et remonte dans la généalogie de l'architecture. Il poursuit :

« *D'abord le nid - un élément emprunté à la nature -, ensuite le maillage - proche de la vannerie...* »³⁶⁾

Ces indications visuelles de lecture : la nature et la vannerie nous amènent à considérer cet exemple pourtant très contemporain comme un avatar supplémentaire du tissage en tectonique dans l'architecture. Au-delà ses qualités plastiques, un tel tressage monumental répond à divers objectifs, d'une part de préserver une ventilation naturelle, d'autre part d'envelopper les constantes mutations programmatiques des services, enfin, grâce à sa grande porosité, de créer un vaste espace ouvert et couvert au public autour du stade. J. Herzog et P. de Meuron précisent :

« *Cette zone entre intérieur et extérieur offre la possibilité de créer un nouveau type de lieu urbain et public.[...] la caractéristique vraiment nouvelle de ce projet est clairement l'espace de transition entre intérieur et extérieur* »³⁷⁾.

35) Jean-Pierre Allain, « Stade olympique, Beijing, Chine - Herzog et de Meuron », dans *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°369, mars-avril 2007, *Supports et Surfaces*, Paris, éd. Jean-Michel Place, p.40

36) Ibidem, Jean-Pierre Allain, p.40

37) Op. cit., Jacques Herzog, Pierre de Meuron, "The National Stadium, a new kind of public space for Beijing", "This area between inside and outside

L'enchevêtrement des lignes du maillage donne à l'édifice un impact visuel fort qui assure son unité et le préserve de toute transformation programmatique. Seul le maillage apparaît à l'œil. Comme pour le pavillon de la galerie Serpentine à Londres conçu par Toyo Ito, la stratégie du tissage permet de quitter les catégories traditionnelles de l'architecture, telles que le toit et la façade, mais d'intégrer l'ensemble des réponses, techniques, spatiales, esthétiques en une solution unique. Ils écrivent :

« *Structure = façade = toit = espace. L'effet spatial du stade est nouveau et radical, et pourtant simple et d'une immédiateté presque archaïque. Son apparence est pure structure. Façade et structure sont identiques.* »³⁸⁾



Stade olympique, Beijing, J. Herzog & P. de Meuron arch.

Source: *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°369, 2007, p.46

affords the opportunity to create a new kind of urban and public place. [...] the really novel feature of the project is clearly the transitional space between interior and exterior"

38) Op. cit., Jacques Herzog, Pierre de Meuron, "The National Stadium, a new kind of public space for Beijing", " *Structure = façade = roof = space. The spatial effect of the stadium is novel and radical, and yet simple and of an almost archaic immediacy. Its appearance is pure structure. Façade and structure are identical.*"

10. Conclusion

Il aura fallu toute l'obstination des hommes pour arriver à tisser une toile à partir d'un fil fabriqué à l'aide de fibres végétales ou animales. De même, il aura fallu toute l'imagination des hommes jusqu'aux architectes contemporains pour tresser entre-eux des éléments linéaires afin de réaliser des surfaces de plus en plus élaborées répondant à des besoins de plus en plus sophistiqués (exigences structurelles, thermiques, esthétiques).

Si tisser permet de créer une enveloppe thermique, un écran de protection qui adopte la forme désirée et tresser permet de créer une structure, plus ou moins rigide, capable de supporter des contraintes mécaniques, les deux mettent en œuvre un procédé identique et ancestral, celui d'entrecroiser des éléments linéaires pour réaliser une matière complexe, élaborée, performante.

Au-delà des aspects techniques, la matière tressée révèle des qualités esthétiques. La trame, plus ou moins complexe géométriquement, produit une surface texturée, hybride, riche.

Ces qualités esthétiques apparaissent déjà dans les architectures premières des huttes. Le treillis forme un décor pour l'intérieur de la yourte et les entrelacements du gothique tardif un ornement de pierre. Antoni Gaudí cherche manifestement par ses maquettes de fils, non seulement la forme stable structurellement mais aussi la belle forme qui conduira la lumière. Frei Otto, en cherchant la structure la plus légère et la plus fine possible participe à cette esthétique tressée de la performance. Shigeru Ban revendique cette volonté d'utiliser une trame en lamellé-collé offrant des qualités

visuelles et sculpturales. J. Herzog et P. de Meuron créent un choc visuel en fabriquant une texture enchevêtrée monumentale comme image unique pour le stade olympique de Beijing.

En choisissant de traiter la dimension tectonique du textile dans l'architecture, nous avons volontairement restreint les caractéristiques du textile à un réseau d'entrecroisement, d'entrelacement et d'enchevêtrement. Il existe une confluence très large d'intérêt par les théoriciens, architectes, ingénieurs, designers, scientifiques et artistes pour la matière du textile qui comporte de très nombreuses qualités esthétiques, techniques, mécaniques. Un mode hybride existe aujourd'hui entre architecture et textile que l'on peut qualifier d'Architextile, selon Mark Garcia³⁹⁾. Un hybride d'« architecture » et « textile » forme le mot « architextile » qui peut se référer à un corpus large de projets dont la manière de penser et de faire relie architecture et textile. L'architecte Lars Spuybroek, auteur de *Textile Tectonics* et *The Architecture of Continuity*⁴⁰⁾ oppose le textile au tectonique. Il propose un nouveau paradigme textile critique à l'égard d'une architecture historiquement dominée par la durabilité, la pérennité et la solidité avec Vitruve et sa firmitas. Ce mode mixte, intermédiaire, plus souple, serait davantage capable de répondre aux rapides changements culturels et à la demande, permettant la

39) Mark GARCIA, "Architecture + Textiles = Architextiles", introduction dans *Architectural Design, Architextiles*, nov./déc. 2006, West Sussex, éd. Wiley-Academy, 2006, p.5-20

40) Lars SPUYBROEK, *The Architecture of Continuity - Essays and Conversations*, Rotterdam, V2_Publishing, 2008, spécialement "Experience, Tectonics and Continuity", p.12-31 et "Textile Tectonics", p.226-243

production d'espaces flexibles et d'environnements interactifs. Le tissage contemporain, simulé aujourd'hui grâce à des logiciels de modélisation en trois dimensions avec des processus d'entrelacement de structures dans une géométrie non-euclidienne, permet de renouer avec ce geste ancestral, geste originel de tisser une protection pour le corps, de tresser une enveloppe pour l'espace.

Bibliographie

- Allain (Jean-Pierre), « Stade olympique, Beijing, Chine - Herzog et de Meuron », dans *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°369, mars-avril 2007, Supports et Surfaces, Paris, éd. Jean-Michel Place, 2007
- Artigas (Isabel), *Gaudi Complete Works / Das Gesamte Werk / L'Oeuvre Complète*, vol.2, trad. française Annabelle Labbé, Cologne, Evergreen, 2008
- Balmond (Cécil), "Tresser, tisser, entrelacer", propos recueillis par Axel Sowa dans *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n°369, mars-avril 2007, Supports et Surfaces, Paris, éd. Jean-Michel Place, 2007
- Cortes (Juan Antonio), "[Toyo Ito's search for a new organic architecture] Beyond Modernism, Beyond Sendai", dans *El Croquis*, n°123, 2004, Toyo Ito 2001 2005, Madrid, éd. El Croquis, 2004
- Couchaux (Denis), *Habitats Nomades*, Paris, éd. Alternatives, 2011, 1ère édition 2004

- Deleuze (Gilles), Guattari (Félix), *Capitalisme et Schizophrénie 2 – Mille Plateaux*, Paris, Les Editions de Minuit, 1980
- Drew (Philip), *Form and Structure*, Londres, Crosby Lockwood Staples, 1976
- Ferré (Albert), Prat (Ramon), Sakamoto (Tomoko), Salazar (Jaime), Tetas (Anna), « Pavillon de la Serpentine Gallery 2002 », dans *Verb Matters*, Barcelone, éditions Actar, 2006
- Garcia (Mark), “Architecture + Textiles = Architextiles”, introduction dans *Architectural Design, Architextiles*, nov./déc. 2006, West Sussex, éd. Wiley-Academy, 2006
- Gaudi (Antonio), *Paroles et Ecrits*, textes réunis par Isidre Puig Boada, trad. du catalan Annie Andreu-Laroche et Carles Andreu, Paris, L'Harmattan, 2002
- Guidoni (Enrico), d'Yvoire (Jean), *Architecture primitive*, coll. Histoire de l'Architecture Mondiale, Paris, éd. Berger-Levrault, 1980
- Herzog (Jacques), de Meuron (Pierre), “The National Stadium, a new kind of public space for Beijing”, dans leur site Internet officiel : <http://www.herzogdemeuron.com>
- Jodidio (Philip), Ban (Shigeru), “Pompidou Museum in Metz”, dans *Shigeru Ban: Complete Works 1985-2010*, Cologne, éd. Taschen, 2010
- Leroi-Gourhan (André), *L'homme et la matière*, Paris, éd. Albin Michel, 1971, 1ère éd. 1943
- Moussavi Farshid, *The Function of Form*, Harvard University, Graduate School of Design, Barcelone, Actar, 2009
- Nerding (Winfried), Meissner (Irene), Möller (Eberhard), Grdanjski

- (Mirjana), *Frei Otto. Complete Works*, Bâle, Birkhäuser, 2ème édition 2005, 1ère édition 2001
- Norberg-Schulz (Christian), *La Signification dans l'Architecture occidentale*, Bruxelles, Pierre Mardaga, 1977, 1èd. en italien, *Significato nell'architettura occidentale*, Milano, Electa Editrice, 1974
- Otto (Frei), Rasch (Bodo), *Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal*, Londres, éd. Axel Menges, 1996
- Otto (Frei), Songel (Juan Maria), *A Conversation with Frei Otto*, New York, Princeton Architectural Press, 2010, éd. originale *Conversacion con Juan Maria Songel*, Barcelone, éd. Gustavo Gili, 2008
- Pirson (Jean-François), *La Structure et l'Objet (essais, expériences et rapprochements)*, Bruxelles, Pierre Mardaga éditeur, 1995
- Semper (Gottfried), *Du style et de l'architecture - Ecrits, 1834-1869*, traduit de l'allemand par Jacques Soullou et Nathalie Neumann, Marseille, éditions Parenthèses, 2007, éd. originale 1860
- Spuybroek (Lars), « The Digital Nature of Gothic », dans *Textile Tectonics*, Rotterdam, Nai Publishers, 2011
- Spuybroek (Lars), *The Architecture of Continuity - Essays and Conversations*, Rotterdam, V2_Publishing, 2008
- Tomlow (Jos), "The spirit of calculation in the architectural work of Gaudi", dans *Gaudi 2002 Miscellany*, ouvrage collectif, dir. Daniel Giralt-Miracle, Gaudi International Year Commemorative Edition, Barcelone, co-édition Ajuntament de Barcelone & Planeta, 2002

Watkin (David), *A History of Western Architecture*, New York,
Watson-Guptill Publications, 2005, 4ème édition, éd. originale
1986

K C I

《국문요약》

건축에 있어서의 직조의 구조학

마르탱 피슈박

오세아니아나 아프리카 최초의 건축물들은 식물로 건축구조를 짜고 있다. 직조는 인간이 스스로 자신을 보호하기 위한 목적으로 주거공간을 만들고 울타리로 둘러싸는 선조들의 손기술에서 시작되었다고 볼 수 있다.

유목의 건축에서는 동굴 움막집을 지을 때 쓰는 긴 나뭇가지와 같은 천연재료를 사용함으로써, 유연하고 견고한 뼈대를 갖추고 있다. 울이 굵은 마포처럼 짜인 틀의 유연함 덕분에, 사모에드인의 오두막집은 심한 폭풍에도 견딜 수 있다.

수직과 비물질화의 과정에 있어, 후기고딕식 건축은 평평한 표면을 둘을 서로 얹히게 바꾸었고, 투명성과 가벼움, 기하학적인 복잡성을 띠게 되었다.

Antonio Gaudi는 가장 가볍고 부드럽고 정교한 재료인 실을 선택했다. 그는 공중에 매달린 모델 가운데 Colonie Guell 성당 골격의 정확한 모양과 부드러운 곡선, 강력한 궤도를 찾았다. 공학 기술자 Frei Otto는 가벼운 구조와 최소한의 표면을 연구하고 자연을 분석함으로써 모형과 계산의 중요성, 직물 결합의 내부 원칙의 중요성을 다시 일깨웠다. 건축사 Shigeru Ban은 얇은 나뭇결에서 직물의 유연성과 구조적인 특성을 지닌 발견했으며, Toyo Ito와 Cecile Balmond은 수학적 방법을 사용해 대들

보와 동시에 기둥이 되는 조직을 만들었고, 서로 얹히는 선을 만들고자 수학적인 직조방법을 사용했다. 건축 설계사 J. Herzog와 Pierre de Meuron도 건축의 전통적인 구조를 넘어서 자연에서 영감을 얻어 실용적인 측면, 공간적인 측면, 기술적 측면, 미적 측면에서의 해답을 얻었다.

Mots-clés(주제어): Textile(직물), tissage(직조), tressage(엮기),
tectonique(구조학), structure(구조), architecture(건축)



논문투고일 : 2011. 10. 31

최종심사일 : 2011. 11. 18

게재확정일 : 2011. 11. 27

КСІ