



HAL
open science

Création architecturale et industrialisation de la filière bois : l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques

Stéphane Berthier

► To cite this version:

Stéphane Berthier. Création architecturale et industrialisation de la filière bois : l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris Saclay (COMUE), 2017. Français. NNT : 2017SACLD001 . tel-01629655

HAL Id: tel-01629655

<https://theses.hal.science/tel-01629655>

Submitted on 6 Nov 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

NNT : 2017SACLD001

THESE DE DOCTORAT
DE
L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY
PREPAREE A
L'ENSA DE VERSAILLES

ECOLE DOCTORALE N°578
Sciences Humaines et Sociales

Architecture

Par

M. Stéphane BERTHIER

**Création architecturale et industrialisation de la filière bois :
l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques**

Thèse présentée et soutenue à l'ENSA de Versailles, le 3 Octobre 2017 :

Composition du Jury :

M. Jean-Claude Bignon	Professeur Emérite, HDR	ENSA Nancy	Président
Mme Nadia Hoyet	Professeur Emérite, HDR	ENSA Versailles	Examinatrice
M. Robert Le Roy	Professeur Agrégé, HDR	ENSA Paris-Malaquais	Rapporteur
Mme Caroline Maniaque	Professeur, HDR	ENSA de Normandie	Rapporteur
M. Daniel Pearl	Professeur Agrégé	Université de Montréal	Examinateur
M. Jean-Jaques Terrin	Professeur Emérite, HDR	ENSA Versailles	Dir. de thèse

Création architecturale et industrialisation de la filière bois : l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques

Résumé :

Cette recherche interroge la notion d'expérimentation des innovations techniques en architecture. Elle vise à en expliciter les modalités, les enjeux et les limites pour le métier d'architecte et pour la théorie de l'architecture. Elle montre que l'architecture n'est pas un domaine d'application des techniques de construction, pensées comme des moyens instrumentaux élaborés en amont, mais qu'elle est un milieu d'expérimentation des techniques, essentiel à leur développement et à leur adaptation en situation complexe. L'architecture est aussi un champ de réflexions critiques sur nos manières d'agir et de construire, dans lequel la technique est en projet.

Le terrain de recherche est celui de l'architecture de bois en France depuis son renouveau industriel dans la seconde moitié du XXème jusqu'à aujourd'hui. Il condense sur une période relativement courte les expérimentations constructives d'un matériau d'abord perçu comme archaïque après-guerre, puis élevé au rang de matériau moderne à partir des années 1960 et enfin reconnu comme le matériau phare de la construction écologique. Il offre la possibilité d'observer le passage de l'artisanat à l'industrie, l'évolution des méthodes et outils de production manuels, mécaniques puis numériques et leurs influences sur l'architecture. Il offre en même temps l'occasion d'étudier, à partir d'une unique matière première, l'état d'acceptabilité culturelle de nos technologies industrielles, selon que l'architecture met en avant le bois en tant que matériau moderne et transformé, ou en tant que matériau brut et naturel, entre fascination pour le progrès technique et critique de la société industrielle.

Le format choisi est celui d'une thèse sur articles régulièrement publiés durant la recherche. Chacun des sept articles constitue l'étude de cas d'une situation d'innovation particulière dans la période considérée, en croisant les analyses architecturales et constructives. L'ensemble converge pour établir un relevé des différentes formes de l'expérimentation des innovations techniques en architecture et met en évidence certaines régularités de la démarche expérimentale dont la principale est le transfert d'innovation.

Cette recherche tente de rendre explicite ce processus d'expérimentation créatif et réflexif, qui dispose de ses propres modalités, outils, temporalités, modes d'évaluation et de capitalisation de connaissances, distincts des canons de l'expérimentation scientifique. Les connaissances que cette thèse élabore invitent à renouveler l'enseignement des techniques dans les écoles d'architecture, en renouant leurs liens avec la création architecturale.

Mots-clés

architecture, construction, technique, bois, expérimentation, innovation

***Architectural design and the industrialization of the timber construction :
architecture as a field of experimentation of technical innovation***

Abstract

This research questions the notion of experimentation in technical innovations in architecture. It aims at elucidating the methods, stakes, and limits concerning both the profession of architect and the theory of architecture. It suggests that architecture is not a domain where construction techniques, seen as instrumental means resulting from an upstream work, are put in application, but a field of experimentation for these techniques, an essential step in their development and adjustment in more complex situations. Architecture is also an area of critical reflections on our ways of behaving and building, for which techniques are in planning.

The field of research is that of timber architecture in France, from its industrial resurgence in the second half of the 20th century to the present. This field condenses, in a relatively short period of time, the building experimentations with a material that was first considered archaic after the war, then raised to the status of a modern material from the 1960s, to be acknowledged as the leading material for ecological construction. It allows us to examine the transition from arts and crafts to industry, the evolution of the methods, of the tools of production, from hand-operated to mechanical to digital, and their influence on architecture. Simultaneously, it enables us to delve into, based on a single raw material, the attitude of cultural acceptance from our industrial technologies – depending on whether architecture showcases timber as a modern and processed material or as a raw and natural resource – between the fascination for technical progress and a criticism of the industrial society.

The chosen format is that of a thesis based on regularly published articles during the research phase. Each of the seven articles consists of a case study on a specific innovation during the selected time period, cross-referencing architectural and building analyses. The composition as a whole converges to establish a survey of the different forms taken by technical innovations in architecture and highlights some consistencies in the experimental process, the main consistency being the transfer of innovation.

This research seeks to clarify this process of creative and rational experimentation which has its own methods, tools, temporalities, modes of evaluation and of capitalization of knowledge, distinct from the canons of scientific experimentation. The findings of this thesis prompt a new approach to teaching techniques in architecture schools, through reviving their links with architectural creation.

Keywords

architecture, construction, technique, timber, experimentation, innovation

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	9
LA QUESTION DE L'EXPERIMENTATION TECHNIQUE EN ARCHITECTURE.....	15
DES DIFFERENTES FORMES ET MODALITES DE L'EXPERIMENTATION	17
DU MODE D'EXISTENCE DES TECHNIQUES INDUSTRIELLES DE LA CONSTRUCTION CONTEMPORAINE	31
DE L'ARCHITECTURE COMME MILIEU D'EXPERIMENTATION DES INNOVATIONS TECHNIQUES	40
L'ARCHITECTURE DE BOIS EN FRANCE DEPUIS 1950.....	51
UNE HISTOIRE ARCHITECTURALE ET TECHNIQUE MILLENAIRE	53
LE PARADOXE DU BOIS MODERNE.....	57
COEXISTENCE DES MODES TECHNOLOGIQUES ARTISANAUX, INDUSTRIELS ET NUMERIQUES.....	59
RECHERCHE EXPLORATOIRE : L'ETAT DES CONNAISSANCES ARCHITECTURALES ET TECHNIQUES.	62
METHODOLOGIE DE RECHERCHE	79
MISE EN EVIDENCE DE SEPT SITUATIONS D'INNOVATIONS MAJEURES	83
DEFINITION D'UN CORPUS DE SEPT ETUDES DE CAS	87
REDACTION DES ETUDES DE CAS SOUS FORME D'ARTICLES SCIENTIFIQUES : MOTIVATIONS, OBJECTIFS ET PRECAUTIONS METHODOLOGIQUES.	101
ARTICLES	109
LE BOIS DANS L'ŒUVRE ARCHITECTURALE DE JEAN PROUVE.....	111
DE L'ART DU CHARPENTIER A L'ART DE L'INGENIEUR	139
L'APPROPRIATION DE LA TECHNOLOGIE DE L'OSSATURE BOIS LEGERE :	165
RECHERCHE DU TROISIEME TYPE	211
LES CHARPENTES DE JACQUES ANGLADE.....	233
WIKIHOUSE	263
L'ART DE L'INGENIEUR A L'ERE NUMERIQUE	301

RESULTATS ET DISCUSSION	327
QUELLES SONT LES HYPOTHESES QUE L'EXPERIMENTATION DES INNOVATIONS TECHNIQUES CHERCHE A VERIFIER ?	329
QUELLES SONT LES CHAMPS D'ACTION DE L'EXPERIMENTATION DES INNOVATIONS TECHNIQUES A L'ECHELLE DE L'ARCHITECTURE ?	
SUR QUOI AGIT-ELLE ?	335
QUELLES SONT LES OUTILS DE L'EXPERIMENTATION ?	356
QUELLE EST LA TEMPORALITE DE L'EXPERIMENTATION ?	362
QUELLE EST L'ECONOMIE DE L'EXPERIMENTATION ?	365
QUELLES SONT LES MODALITES DE L'EVALUATION DE L'EXPERIMENTATION DES INNOVATIONS TECHNIQUES EN ARCHITECTURE ?	372
QUELS SONT LES MODES DE CAPITALISATION ET DE DIFFUSION DES CONNAISSANCES ACQUISES PAR L'EXPERIMENTATION DES	
INNOVATIONS TECHNIQUES EN ARCHITECTURE ?	381
LIMITES DES RESULTATS	388
CONCLUSION.....	391
RETOUR SUR LES HYPOTHESES	391
UN ENJEU POUR LA CRITIQUE ARCHITECTURALE	397
UN ENJEU POUR LA THEORIE DE L'ARCHITECTURE	398
UN ENJEU POUR L'ENSEIGNEMENT DE L'ARCHITECTURE	400
UN ENJEU POUR LA RECHERCHE EN ARCHITECTURE	404
UN ENJEU POUR LE METIER D'ARCHITECTE	408
ANNEXES.....	411
ENTRETIEN AVEC ROLAND SCHWEITZER, LE 10 FEVRIER 2011.	412
ENTRETIEN AVEC PIERRE LAJUS, 15 FEVRIER 2011.....	419
ENTRETIEN AVEC JEAN PIERRE WATEL, 28 FEVRIER 2011	427
ENTRETIEN COMPLEMENTAIRE AVEC JEAN-PIERRE WATEL DU 9 NOVEMBRE 2015.....	432
ENTRETIEN AVEC CHRISTIAN GIMONET, 02 MARS 2011	438
ENTRETIEN AVEC ROBERT LOURDIN, 07 JUILLET 2011	445
BIBLIOGRAPHIE	453
REMERCIEMENTS.....	457

L'imagination, l'illumination, la création sans lesquelles le progrès des sciences n'aurait pas été possible, n'entraient dans la science qu'en catimini. Elles n'étaient pas logiquement repérables et toujours épistémologiquement condamnables. On en parlait dans les biographies des grands savants, jamais dans les manuels et les traités, dont pourtant la sombre compilation, comme les couches souterraines de charbon, était constituée par leur fossilisation et la compression de ce qui au premier chef, avait été fantaisie, hypothèses, proliférations d'idées, inventions, découvertes.

Edgar Morin, *Introduction à la pensée complexe*, p. 74

INTRODUCTION

L'innovation est un *mantra* de notre époque en crise. Le terme est même devenu un mot-valise énoncé de manière incantatoire, qui se confond régulièrement avec ceux d'invention et d'expérimentation. Dans la définition initiale qu'en donna l'économiste autrichien Joseph Schumpeter¹, l'innovation est d'abord un *renouvellement des combinaisons de production* destiné à donner un avantage économique aux agents qui en sont à l'origine, leur offrant une situation de monopole provisoire sur une méthode, un procédé, un produit ou un service. L'innovation ne se confond pas avec l'invention, qu'elle soit technique ou organisationnelle. Elle peut d'ailleurs n'être que la reformulation ou la nouvelle combinaison d'inventions préexistantes. Une innovation est une invention qui a réussi, qui a trouvé un marché. Elle implique l'existence de nouvelles pratiques sociales et culturelles qu'elle peut suivre ou provoquer². L'innovation est certainement un moteur essentiel des économies de marché en ce sens qu'elle participe à lutter contre *la baisse tendancielle du taux de profit* décrite par Marx, en créant de nouveaux débouchés, mais pas seulement. Par exemple, la crise environnementale contemporaine appelle aussi à l'innovation pour repenser nos manières d'agir au sein d'écosystèmes fragilisés dont nous dépendons, sans que la motivation initiale soit à but lucratif. De même certaines tentatives d'organisations sociales nouvelles fondées sur l'entraide

¹ Schumpeter Joseph, *Théorie de l'évolution économique* Paris Dalloz 1999 (éd. originale 1911)

² Gaglio Gérald, *Sociologie de l'innovation*, PUF, Paris 2011

et le partage sont des innovations qui s'opposent au système marchand et ses multiples formes d'aliénation³. En revanche, quelles que soient les finalités des innovations, elles ne peuvent exister sans l'étape préalable de l'expérimentation, sans tentatives tâtonnantes ou méthodiques, empiriques ou scientifiques d'élaborer ces nouvelles combinaisons de production ou ces nouvelles manières d'agir. Cette étape nécessaire demeure le plus souvent l'impensé des appels incantatoires à l'innovation. Pourtant, selon la formule d'Edgar Morin, *une société qui n'expérimente plus n'innove plus, elle doit alors importer des modèles. C'est une culture qui régresse* ». ⁴ Dans le monde de l'architecture, le terme d'*expérimentation* est généralement cantonné à sa définition générique de « faire l'expérience de » voire « essayer quelque chose ». L'adjectif *expérimental* est parfois même utilisé comme euphémisme péjoratif pour qualifier une démarche pour le moins hasardeuse et incertaine. Il est rare que l'expérimentation fasse l'objet d'une véritable réflexion fondée sur une hypothèse explicite, l'élaboration d'une méthode d'expérience, la définition d'un protocole d'évaluation des résultats et d'un mode de capitalisation des connaissances acquises. Et quand bien même tente-t-on de raisonner le concept, nous constatons que c'est immédiatement vers sa définition positive et scientifique que l'on se tourne, oubliant que sa finalité est celle de la connaissance objective du monde et non sa transformation subjective comme c'est le cas en architecture. Notre objectif est de participer à l'élaboration d'une connaissance explicite et spécifique de la notion d'expérimentation des innovations techniques en architecture qui nous permettrait de dépasser l'approche empirique et hasardeuse que nous lui connaissons, sans tomber dans l'aporie d'un transfert pur et simple des méthodes expérimentales scientifiques, inadaptée aux objectifs de l'architecture. Pour cela, nous nous attacherons dans un premier temps à décrire les formes de l'expérimentation communément admises par la communauté scientifique que nous comparerons à l'expérimentation dite pratique, en nous appuyant notamment sur l'ouvrage *The Reflective Practitioner*⁵ de Donald Schön. Nous observons aussi, grâce

³ Manier, Benedicte *Un million de révolutions tranquilles : travail, habitat, argent, santé... Comment les citoyens changent le monde*. Ed. LLL, Paris 2012

⁴ Morin Edgar, citation apocryphe

⁵ Schön Donald, *The reflective practionner : how professionals think in action*, Ed. Ashgate, Farnham UK, 2011 (éd. originale 1983)

aux travaux d'Ester Duflo⁶ qu'expérimentation scientifique (agir pour comprendre et connaître) et expérimentation pratique (agir pour créer et transformer) ne sont sans doute pas irréconciliables puisque d'une manière ou d'une autre toute connaissance vise à terme à servir l'action, fut-elle décalée dans le temps, tandis qu'il ne saurait exister de transformation possible du monde sans élaboration de sa connaissance, fut-elle implicite et simultanée.

Dans un second temps nous développerons l'hypothèse centrale de cette recherche, selon laquelle l'architecture n'est pas un « domaine d'application » mais un milieu d'expérimentation des innovations techniques. Ce milieu, distinct du laboratoire du scientifique ou de l'atelier des prototypes de l'industriel est essentiel à l'élaboration des techniques innovantes, malgré le régime industriel sous lequel nous agissons et qui tend à en externaliser l'invention en dehors du champ de l'architecture. Nous nous appuyerons sur les travaux de Madeleine Alkrich, Michel Callon et Bruno Latour pour qui *adopter une innovation c'est l'adapter*⁷ ainsi que sur le concept de *milieu associé*⁸ défini par Gilbert Simondon pour qui *le milieu associé définit les conditions d'existence de l'objet technique, [...] il recèle les dynamismes et fait exister les systèmes de formes*. Nous montrerons que de l'invention technique à l'architecture il n'existe pas une relation descendante de type *top-down*, mais plutôt un potentiel de relations récursives mal identifiées. La prise de conscience qu'aucun système constructif ne parvient à maturité sans une phase d'expérimentation en situation complexe de projet est un enjeu de taille pour l'exercice du métier d'architecte et la définition de son périmètre de compétences.

Enfin, notre recherche visera aussi à démontrer que la technique n'est pas un substrat autonome et neutre imaginé par une ingénierie thaumaturge qui impose à l'architecture un catalogue de solutions normalisées, instrumentales, applicables à posteriori sur un système de formes dessinées, mais qu'elle doit être entendue dans son acceptation *simondonienne* comme la fabrication des moyens et dispositifs par

⁶ Duflo Esther, *Expérience, science et lutte contre la pauvreté*, coll. Leçons inaugurales du Collège de France, Ed. Fayard 2009.

⁷ Alkrich Madeleine, Callon Michel, Latour Bruno, « A quoi tient le succès des innovations ? part. 1 et 2 » *Gérer et comprendre*, Annales des Mines n°11 et 12, 1994

⁸ Simondon Gilbert, *Du mode d'existence des objets techniques* Ed. Aubier, Paris 2012 (1958) Chap. II p. 61

lesquels nous agissons sur le monde. Avec ce que cela suppose comme enjeux pour la théorie de l'architecture.

Le terrain de recherche choisi pour la démonstration de notre thèse est celui de l'architecture de bois en France depuis son renouveau industriel dans la seconde moitié du XX^{ème} jusqu'à aujourd'hui. Il condense sur une période relativement courte les expérimentations constructives d'un matériau d'abord perçu comme archaïque après-guerre, puis élevé au rang de matériau moderne à partir des années 1960 et enfin reconnu comme le matériau phare de la construction écologique. Il offre la possibilité d'observer le passage de l'artisanat à l'industrie, l'évolution des méthodes et outils de production manuels, mécaniques puis numériques et leurs influences sur l'architecture. Il offre en même temps la possibilité d'observer, à partir d'une unique matière première, l'acceptabilité culturelle de nos technologies industrielles, selon que l'architecture met en avant le bois en tant que matériau moderne et transformé, ou en tant que matériau brut et naturel, entre fascination pour le progrès technique et critique de la société industrielle.

Les compétences avec lesquelles nous abordons cette recherche sont d'abord celles acquises dans notre parcours d'architecte-enseignant formé à la construction bois à l'EPFL⁹ puis par les cours de formation continue du CNDB¹⁰. Ces compétences furent réinvesties dans l'enseignement avec l'élaboration d'un cours sur l'architecture de bois en douze séances, d'abord délivré à l'ENSA de Versailles durant l'année universitaire 2008-09 puis à l'ENSA de Normandie les années suivantes. Elles s'appuient aussi sur notre propre pratique d'architecte au sein de l'agence Mesostudio qui travaille régulièrement avec le matériau bois. Nous avons par ailleurs été formé à la recherche dans le cadre du DEA « Le projet architectural et urbain : théorie et dispositifs » soutenu à l'ENSA de Belleville en 2005. Ce travail de doctorat est donc l'occasion de croiser et de réunir nos compétences d'architecte praticien, d'enseignant et de chercheur.

Le format d'une thèse sur articles soumis à publications au fil de l'élaboration de notre travail est principalement lié à notre triple activité qui nous impose une organisation particulière du temps, sous forme de séquences. Les parutions régulières

⁹ Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

¹⁰ Comité National du Développement du Bois

d'articles ont donné à notre travail une dynamique spécifique en même temps qu'elles constituaient une forme continue de valorisation et d'évaluation nos travaux. Néanmoins, ce format plus habituel dans le domaine des sciences exactes que dans celui des sciences humaines n'est pas une simple compilation d'articles indépendants les uns des autres comme le serait une revue littéraire mais obéit à des règles méthodologiques décrites dans les guides des écoles doctorales rompues à cet exercice. Le Réseau National des Ecoles Doctorales en Sciences pour l'Ingénieur (REDOC SPI) réunissant l'ENSAM, le CNAM et l'Ecole des Mines met en avant un certain nombre de précautions méthodologiques¹¹, les principales étant que : « *La thèse par articles n'est pas une simple juxtaposition des articles mais doit mettre en évidence les liens entre ces articles et la démarche qui a été menée au cours du doctorat pour atteindre les objectifs fixés.[...]*

Même si les résultats sont présentés sous forme d'articles publiés ou prêts à être publiés, le mémoire de thèse doit satisfaire aux exigences de l'exercice attendu dans le cadre d'un travail de doctorat, à savoir constituer un ensemble cohérent et original et permettre d'apprécier la valeur individuelle du doctorant. [...]

Le mémoire doit être structuré avec une introduction générale comprenant un positionnement de la contribution dans l'espace bibliographique, une présentation des articles qui doivent être conçus dans le but d'être un chapitre ou partie d'un chapitre de la thèse, une partie d'analyse globale des résultats, une discussion générale et une conclusion. »

De nombreux autres *guidelines* de la thèse sur articles sont disponibles en ligne et recourent les mêmes précautions méthodologiques que celles du REDOC SPI.

L'Ecole Doctorale n°261 de l'Université Paris-Descartes spécialisée dans les sciences cognitives exige par ailleurs un minimum de 3 articles, dont un au moins est publié dans une revue à comité de lecture, un accepté et un en cours d'expertise au moment de la soutenance¹².

Afin de respecter ces règles méthodologiques, notre travail présente donc une première partie qui explore la question de l'expérimentation technique en architecture comme problématique et développe l'hypothèse de l'architecture comme

¹¹ <http://www.redoc-spi.fr/p-30-ecole-doctorale-sciences-des-metiers-de-l-ingenieur-smi-.html>

¹² <http://ecolesdoctorales.parisdescartes.fr/ed261/Doctorants-de-l-ED/Soutenance-de-these>

milieu d'expérimentation des innovations techniques. Une seconde partie projette cette hypothèse sur le terrain de l'architecture de bois en France et permet de mettre en évidence sept situations d'innovations majeures qui renouvellent le couple architecture / technique, comme autant d'études de cas visant à vérifier la validité de notre proposition. Une troisième partie reprend et développe les modalités méthodologiques de la recherche, les conditions de sélection des études de cas et les outils d'analyse employés. Il nous permet de définir et de justifier le corpus de sept études de cas qui seront rédigées sous forme d'articles. Une quatrième partie, qui constitue le cœur de notre thèse, réunit ces sept articles indépendants présentés dans un ordre chronologique, mais sans lien *a priori* d'enchaînement ni de subordination entre eux. Une cinquième partie est consacré aux résultats de notre enquête, par une relecture croisée des différents articles, grâce à une grille d'analyse commune à tous. Cette partie vise à faire émerger et à discuter les régularités ou les permanences de la notion d'expérimentation technique en architecture, afin de participer à l'élaboration de sa connaissance scientifique. Ce travail se conclut par un retour sur l'hypothèse initiale et tente d'esquisser les enjeux d'une connaissance de l'expérimentation technique en architecture, pour l'enseignement, pour la recherche et pour le métier d'architecte dans les années à venir.

PARTIE I

LA QUESTION DE L'EXPERIMENTATION TECHNIQUE EN ARCHITECTURE

Ce chapitre tente de poser les jalons d'une problématique de l'expérimentation technique en architecture. Il explore tout d'abord les interprétations possibles de l'expérimentation selon qu'on l'entend d'un point de vue scientifique ou d'un point de vue pratique, c'est-à-dire selon que l'expérimentation a pour objectif de connaître le réel ou bien de le transformer. La première interprétation est au cœur des sciences modernes ; elle nécessite distanciation, objectivité et retranchement épistémologique. La seconde est projective et doit en permanence négocier avec la complexité et la singularité des situations rencontrées ; elle ne dispose pas de méthodes élaborées ni d'ailleurs de légitimité scientifique bien qu'elle soit une activité incontournable de la création d'artefacts.

La pensée scientifique, positiviste, organisée par disciplines structure notre compréhension du monde, organise notre *épistémè*. Elle met en place une organisation verticale des connaissances, depuis les sciences fondamentales vers les sciences appliquées, jusqu'aux métiers qui ne sont plus pensés que comme de simples domaines d'applications. Donald Schön formule une critique originale de cette organisation verticale qu'il nomme *technical rationality*¹, en ce qu'elle ne reconnaît pas aux praticiens de compétences d'inventions et d'imagination mais leur définit un

¹ Schön, *The reflective practitioner*, *op. cit.*

rôle réduit d'exécutants chargés de mettre en application, sur des cas concrets, des solutions théoriques élaborées en amont. Il démontre au contraire que les praticiens disposent d'une intelligence de situation, d'une capacité d'adaptation et de créativité expérimentale sans lesquelles la connaissance scientifique et technique resterait lettre morte. Cette critique que nous développerons plus loin éclaire de manière pertinente notre observation du couple architecture et technique dans lequel il est communément admis que l'architecture est un domaine d'application de solutions constructives définies par les sciences de l'ingénieur. Du moins est-ce la lecture habituelle que nous pouvons faire de l'histoire du XX^{ème} siècle, marqué par la transition industrielle du secteur du bâtiment qui a profondément transformé le rapport de l'architecte à sa culture technique, telle qu'elle prévalait antérieurement en régime artisanal. Malgré les phénomènes d'externalisation de l'invention technique que suppose l'industrialisation, il est possible de soutenir l'hypothèse qu'aucune technique de construction ne peut parvenir à maturité en dehors d'une phase d'expérimentation pratique en situation de projet. Cette richesse d'invention et de créativité propre à l'activité d'architecte ne peut se révéler qu'à condition d'observer l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques.

Des différentes formes et modalités de l'expérimentation

L'expérimentation scientifique (pour comprendre et connaître)

C'est en 1641 que René Descartes ouvre la voie de l'expérimentation scientifique en faisant l'*expérience du morceau de cire*². Ce passage des *Méditations Métaphysiques* propose d'atteindre, par l'entendement, la nature même de la cire, invariable et constante, par-delà les aspects qu'elle revêt à l'instant présent. Le philosophe commence par énumérer toutes les caractéristiques du morceau de cire qu'il observe avant d'éliminer une à une toutes celles qui sont liées à ses sens ou aux circonstances. Il retire ainsi de son objet d'étude sa forme, sa couleur, sa texture, sa dureté, sa température ou encore la *douceur du miel et quelque chose de l'odeur des fleurs dont il a été recueilli*. A l'approche d'un feu tous ces aspects disparaissent et pourtant la cire fondue reste la même quand toutes ses caractéristiques sensorielles sont transformées. Tout ce par quoi nous le connaissions s'évanouit mais la même cire demeure : *personne n'en doute, personne ne juge autrement*. Ainsi pour Descartes, seul l'entendement et non les sens nous permet d'accéder à la véritable connaissance de la cire, à ce qu'elle est invariablement, au-delà de ses formes multiples et de sa sensorialité.

La science moderne poursuit toujours le même objectif, comme l'énonce Bachelard en 1934 : « *D'une manière générale, ce qui se retrouve vraiment le 'même' dans les applications les plus diverses, voilà ce qui peut servir de fonds à la définition de la réalité matérielle* ». Mais elle s'oppose à Descartes car « *ce refus de l'expérience physique comme base de la pensée est en somme définitif [...] il s'interdit dès le départ toute expérience progressive, tout moyen de classer les aspects du divers, de donner une mesure de la diversité, d'immobiliser pour les distinguer les variables du phénomène* »³. Ainsi la science moderne ne se fie plus à l'entendement mais aux données factuelles issues de l'expérience, données mesurées et quantifiées : « *le nouvel esprit scientifique renverse le mode de pensée qui ne va plus des faits à la déduction d'une généralité mais d'hypothèses (de lois, de régularités, de principes)*

² Descartes René, *Méditations Métaphysiques, seconde méditation* §10 à 18

³ Bachelard Gaston, *Le nouvel esprit scientifique*, PUF, Paris, 1934 p.127

à leur vérification par l'expérience [...] le monde scientifique est notre vérification ». ⁴ De la sorte, l'expérimentation est au cœur de la démarche scientifique moderne. Sa connaissance du monde opère par *la règle, la balance et la pendule* selon la formule de Lewis Mumford ⁵, avec le corolaire que ne peut être connaissance scientifique que ce dont on peut mesurer la régularité. La cire n'est plus cette permanence abstraite que saisit l'entendement après lui avoir ôté ses caractéristiques sensibles ; elle est devenue un composé organique associant dans des proportions précises des molécules d'acides, d'esters, d'alcools et d'hydrocarbures, elle possède une masse volumique, une température de fusion, un indice de saponification etc. Cette connaissance objective du monde impose, comme le présentait déjà Descartes, d'exclure le chercheur de l'expérience, de le rendre transparent, d'éliminer les biais sensoriels mais aussi les faits extérieurs au phénomène observé. La méthode expérimentale est une construction de l'objectivité ; le laboratoire est le milieu artificiel où se fait le silence nécessaire à l'écoute de phénomènes physiques isolés. La cire que décrit la chimie est une cire pure ou idéale, non mélangée, non polluée, et sa définition vaut dans les conditions normales de température et de pression. Dans les sciences modernes, la validité d'un résultat expérimental tient à deux choses. La première est le caractère transparent et indiscutable de la méthode d'expérimentation employée, qui doit être explicite et partagée par la communauté scientifique. La seconde est la reproductibilité des mêmes résultats à partir de la même expérience répétée. Cette recherche de fiabilité des conclusions de l'expérience est nécessaire au fonctionnement incrémental de la connaissance scientifique. Chaque fragment de connaissance acquis et vérifié rejoint alors le socle du savoir sur lequel se fondent les nouvelles recherches. Une connaissance est une hypothèse validée, partagée par la communauté scientifique et qui fait autorité tant qu'une nouvelle découverte, permise par de nouveaux outils ou de nouveaux raisonnements ne vienne la remettre en question. Ainsi de théorie de la mécanique générale de Kepler à Newton avant Einstein. Nous comprenons alors que la notion d'expérimentation en architecture ne peut se satisfaire d'un transfert de sa définition admise dans le champ scientifique, et ce, pour

⁴ *Ibidem* p.14

⁵ Mumford Lewis, *Technique et Civilisation*, Ed. du Seuil, Paris 1950 (éd. originale 1930) p.51

de multiples raisons. La première est que la finalité de la création architecturale est de transformer le réel, pas de le connaître même si cette étape est nécessaire. La seconde est que l'architecture s'intéresse prioritairement aux formes d'expressions sensibles du monde physique. Elle ne peut pas limiter sa connaissance à ses propriétés mécaniques, physiques et chimiques, ni comme le faisait Descartes, retirer de la matière sa forme, puisqu'elle est l'objet même de son travail, ni sa couleur, sa texture, ni rien retrancher *de la douceur du miel et quelque chose de l'odeur des fleurs dont il a été recueilli*, puisque le sensible est son affaire. Cette considération n'ôte rien à l'utilité des connaissances scientifiques de la matière mais les énonce comme inséparables de leurs expressions sensibles. Ces connaissances, issues de l'expérimentation scientifique sont nécessaires à la fabrication de l'architecture mais les méthodes objectives grâce auxquelles elles ont été découvertes sont inadaptées à la fabrication du projet architectural. Enfin, le caractère singulier de chaque édifice, selon son échelle, sa fonction, son contexte, rend difficile la reproductibilité à l'identique de l'expérimentation et la garantie statistique d'un résultat régulier observé dans une suite d'expériences à chaque fois différentes.

Nous devons considérer que le travail de création architecturale porte avant tout sur la recherche de cohérence du réseau qui réunit toutes les parties constitutives. Il porte sur la complexité, c'est-à-dire, étymologiquement sur la manière de tisser ensemble tous les éléments constitutifs de l'édifice, qu'ils soient matériels ou immatériels. La création architecturale fait en quelque sorte le contraire de la démarche scientifique puisqu'elle reconstruit une totalité en assemblant des parties sous un ordre qu'elle établit *ad hoc* tandis que la science déconstruit la totalité du monde *en autant de parties qu'il lui est nécessaire pour le comprendre*, depuis Descartes et son *Discours de la Méthode*. Dans le premier cas la règle est ce qui est inventé, dans le second cas, ce qui est découvert.

L'expérimentation pratique (pour créer et transformer)

Toutefois nous pouvons soutenir, grâce aux travaux de Donald Schön⁶ que parler d'expérimentation dans le domaine de la création architecturale n'est pas un abus de langage. L'expérimentation scientifique est une des formes de l'expérimentation, une

⁶ Schön, *op. cit.*

forme positive et explicite, mais il en existe d'autres, tournées vers la pratique, vers la fabrication d'artefacts. Dans son introduction, *The reflective practionner* revient sur le savoir scientifique fondé sur la simplification des phénomènes observés, la stabilité du laboratoire, la certitude des conditions de l'expérience, sa reproductibilité et sur l'objectivité du chercheur tandis que le savoir pratique est confronté à l'incertitude des situations, leur caractère unique, instable et complexe. Le professionnel agissant est d'autre part engagé dans un système de valeurs puisqu'il ne cherche pas à connaître un phénomène, mais à l'inventer ou à le transformer pour l'améliorer : « *designing a desirable future and inventing ways of bringing it about* »⁷. Son problème, nous dit l'auteur, est que l'ensemble des connaissances technico-scientifiques est organisé pour résoudre des problèmes (*problem solving*) alors que la complexité des situations auxquelles le praticien fait face nécessite préalablement de savoir poser le problème (*problem setting*), ou disons, d'identifier ce qui fait problème. En somme, la difficulté est de choisir s'il faut une poutre et où, avant de savoir la calculer avec les moyens de la science moderne.⁸

Pour expliquer cette organisation lacunaire du savoir qui n'aide qu'à moitié le praticien, Donald Schön revient sur l'organisation des connaissances telle qu'elle s'est constituée depuis le début de l'époque Moderne, selon le principe de la rationalité technique (*technical rationality*). Depuis Bacon et Hobbes - nous rajouterons Descartes - jusqu'à la doctrine du Positivisme d'Auguste Comte⁹, la civilisation européenne a cherché à assurer le bien-être de l'humanité en *se rend[ant] comme maître et possesseur de la nature* par l'accomplissement des sciences et des technologies. Cette rationalité technique organise les connaissances hiérarchiquement, depuis les sciences fondamentales vers les sciences appliquées (l'ingénierie) jusqu'aux métiers d'application. Elle opère donc une triple dichotomie : a) la séparation de la fin et des moyens ; b) la séparation entre la recherche et la pratique, la seconde conçue comme une application de la première ;

⁷ *Ibidem* p.16

⁸Torroja Edouardo, *citation apocryphe*

⁹ Schön, *op. cit.* p.32 : “*Auguste Comte first expressed the three principal doctrines of Positivism. First there was the conviction that empirical science was not just a form of knowledge but the only source of positive knowledge of the world. Second, there was the intention to cleanse men’s mind of mysticism, superstition, and other forms of pseudo-knowledge. And finally, there was the program of extending scientific knowledge and technical control to human society, to make technology, as Comte said, “no longer exclusively geometrical, mechanical or chemical, but also and primarily political and moral”*”

c) la séparation des savoirs et des savoir-faire. Or les sciences fondamentales, nous l'avons vu, fonctionnent par décomposition de la complexité, par simplification. Edgar Morin le dit autrement lorsqu'il note que l'isolement des phénomènes étudiés a pour conséquence de fabriquer des coupures épistémologiques au sein de la connaissance, de la parcelliser en sous-estimant que tout phénomène physique est toujours pris dans un réseau complexe d'interrelations qui le co-fabrique : « *Nous vivons sous l'emprise des principes de disjonction, de réduction et d'abstraction dont l'ensemble constitue ce que j'appelle le principe de simplification. [...] une hyperspécialisation devait de plus en plus morceler le tissu complexe des réalités et donner à croire que le découpage arbitraire opéré sur le réel était le réel lui-même* »¹⁰. La somme des connaissances parcellisée produites par la science ne parvient pas, à elle seule, à recomposer le réel par réassemblage.

L'incertitude de l'action, son instabilité et sa complexité s'opposent au déploiement de la rationalité technique et de son schéma *top-down* parcellisé. Le Positivisme qui avait méprisé le praticien au point d'en faire un exécutant enrégimenté et surestimé le scientifique au point de le substituer à Dieu, doit reconnaître aujourd'hui que la capacité du premier à négocier les connaissances avec les situations réelles est un savoir incontournable dans la création d'artefacts complexes. Donald Schön constate aussi que l'hyperspécialisation, corolaire de la rationalité technique est parfois contreproductive parce qu'elle pousse les spécialistes à interpréter les événements et les phénomènes exclusivement depuis leur champ de compétence. Tout se passe alors comme si le spécialiste du marteau voyait tout problème comme un clou.

Pour comprendre comment agissent les praticiens, comment ils expérimentent de manière originale mais implicite, l'auteur nous apporte de nombreux éléments explicitant cette « pensée dans l'action » (*thinking in action*) en partant de l'hypothèse que la conception est une conversation avec les éléments de la situation (*I shall considere designing as a conversation with the material of a situation*). Selon lui, cette pensée procède par expérimentations successives, c'est-à-dire par actions conscientes, organisées, dans le but de voir où mène une hypothèse. La question fondamentale de cette démarche est *what if?*

¹⁰ Morin Edgar, *Introduction à la pensée complexe*, Coll. Points, Ed du Seuil, Paris 1990. pp. 18-19

L'une de ses études de cas porte sur un architecte. Il met en évidence que l'étape préalable de son travail consiste à en définir les enjeux, à énoncer subjectivement les objectifs qualitatifs de la transformation qu'il doit opérer, parce qu'il les estime justes mais aussi parce qu'il se sait à même de résoudre le problème s'il le formule ainsi. A partir de cette hypothèse initiale qui lui permet de s'approprier la situation, de se la rendre familière, s'engage un processus d'expérimentation itérative. Les actions qu'il opérera sur la situation seront d'abord surdéterminées par l'hypothèse initiale mais sans qu'elles suivent un cheminement linéaire, sans méthodes aux allures de programme de pilotage automatique. Les interactions complexes entre toutes les parties du projet limitent l'hypothèse à un *what if ?* exploratoire et empirique. Que ce passe-t-il si je prends cette décision ?

*[The architect] virtuosity lies in his hability to string out design web of great complexity. But even he can not hold in his mind and indefinitely expanding web, at some point he moves from "what if ?" to a decision which then becomes a design node with binding implications for further moves.*¹¹

A l'appui de cette démarche, une série de questions cadres¹², contrôle son action et interroge chaque itération :

-Puis-je résoudre le problème tel que je l'ai posé ? (*can I solve the problem I have set ?*)

-Est-ce que j'apprécie ce que j'obtiens en résolvant le problème ainsi ? (*Do I like what I get when I solve the problem ?*)

-Est-ce que j'ai rendu la situation cohérente ? (*Have I made the situation coherent ?*)

-Est-ce que ce que j'obtiens est en accord avec les valeurs et les théories auxquelles j'adhère ? (*Have I made it congruent with my fundamental values et theories ?*)

- Est-ce que j'ai gardé le fil de ma recherche ? (*Have I kept inquiry moving ?*)

Selon les réponses qu'il donnera à ces questions, selon la réaction du « milieu » à ses actions, il infléchira ou non ses « hypothèses-test », les reformulera si nécessaire.

In the designer's conversation with the material of his design, he can never make a move which has only the effects intended for it. His materials are continually talking back to him, causing him to apprehend unanticipated problems and potentials. As he

¹¹ Schön, *op. cit.* p.100

¹² Schön, *op. cit.* p.133

*appreciates such a new and unexpected phenomenas, he also evaluated the moves that have created them.*¹³ A la différence d'une expérimentation scientifique qui retire un à un tous les biais susceptibles de déformer le résultat obtenu, le travail expérimental du praticien est une négociation permanente avec la complexité de son sujet et le contexte dans lequel il s'inscrit. De la sorte, il n'est pas possible pour l'architecte d'aborder la structure de son bâtiment indépendamment de la topographie du site, de la volumétrie qu'elle génère à l'échelle urbaine, de l'enveloppe qu'elle reçoit, des réseaux aérauliques qui s'y fixent, de l'espace qu'elle forme etc.

Donald Schön note cependant une progressivité dans la démarche, allant de l'hypothèse exploratoire large sans idées très précises de ce que l'on cherche jusqu'aux hypothèses-test, de plus en plus fines. Mais l'action peut donner des résultats inattendus, impensés, qui peuvent être intéressants. Des résultats jugés satisfaisants qui contredisent l'hypothèse seront préférés à des résultats décevants découlant directement de la spéculation initiale. La démarche est ouverte à la sérendipité, c'est-à-dire à la faculté d'observer et d'accueillir l'inattendu même si la recherche ne l'avait pas formulée comme hypothèse. D'autre part, dans l'expérimentation pratique, la question « Est-ce que tu as obtenu ce que tu cherchais ? » doit être complétée par « Apprécies-tu par ce que tu as obtenu ? » nous dit Donald Schön. Dans la négative, l'hypothèse est reformulée dans une nouvelle itération. L'architecte a un intérêt subjectif dans son expérimentation ; sa compréhension des phénomènes est assujettie à ses intentions créatives. Mais ses actions sont aussi son mode de compréhension de la situation qu'elles font 'réagir'. Ce *feed-back* est évalué aux regards des ambitions d'amélioration et enclenche un processus itératif d'essais-erreurs jusqu'au point d'équilibre jugé satisfaisant. L'expérimentation en architecture n'est fondée ni sur une prophétie, ni une expérience neutre mais elle est une relation négociée ou transactionnelle avec le projet, lequel est son milieu. Elle est aussi une relation négociée entre la formulation des problèmes et leur résolution puisque nul ne peut se permettre de poser le problème de telle sorte qu'il ne puisse le résoudre. La maîtrise des connaissances objectives techniques et scientifiques est bien une compétence nécessaire au processus, mais insuffisante.

¹³ Schön, *op. cit.* p.101

La question est alors de savoir de quelle nature est cette moitié des connaissances sollicitées, qui permet à l'architecte d'opérer la formulation du problème et les relations transactionnelles avec le réel s'il ne s'agit pas de connaissances positives simplement appliquées au contexte ? Pour Donald Schön, cette aptitude à formuler des objectifs et à les négocier avec le réel s'appuie sur l'expérience professionnelle du praticien qui se nourrit d'un répertoire personnel d'exemples qu'il accumule au fil de sa carrière. Cette connaissance embarquée, implicite, lui permet d'établir des analogies entre la situation particulière présente et les situations déjà rencontrées. Donald Schön compare cette démarche à celle de la jurisprudence en droit qui permet de rapprocher des cas à juger de cas déjà jugés et note sa similarité avec ce que les architectes nomment leur « références ». Gilbert Simondon notait lui aussi que : « *L'invention pratique [...] est le résultat d'une interaction entre un champ actuel de finalité et un champ d'expériences accumulées.* »¹⁴.

Mais la pensée analogique prend aussi une seconde forme, celle des métaphores génératives (*generative metaphor*). Ces constructions intellectuelles l'amènent à réinterpréter les problèmes rencontrés, pour les « voir comme » (*seeing as*) et « faire comme » (*doing as*). Cette façon de raisonner procède par transfert d'invention, d'un cas, d'un environnement, d'un domaine à un autre par comparaison et hypothèse d'analogie : Voir l'édifice comme un meuble, comme une automobile, comme un meccano, voir la structure comme une vannerie, voir l'édifice comme un outil, comme un archétype historique, comme un organisme etc. Plus finement le raisonnement analogique peut être indirect et conduire à considérer que A est à B ce que C est à D, comme le faisait remarquer Jean-Pierre Chupin¹⁵ à propos de l'hypothèse corbuséenne selon laquelle l'automobile était à la modernité ce que le temple grec était à l'architecture classique¹⁶. Ces démarches analogiques, qu'elles empruntent au répertoire personnel d'expérience ou qu'elles construisent des métaphores, cherchent à relier l'inconnu et l'étrange au familier, au maîtrisable, ou parfois à l'inverse, à réinterroger le trop familier par l'étrange.

La limite qu'il convient d'observer est que ce répertoire implicite n'est pas universel mais propre à chaque individu (à la différence de la jurisprudence), plus ou moins

¹⁴ Simondon Gilbert, *Imagination et invention, conférences 1965-66*, Ed La Transparence, Paris 2008, p.162

¹⁵ Chupin Jean Pierre *Analogie et théorie en architecture*, Infolio, Genève, 2010, p.23

¹⁶ Le Corbusier, *Vers une architecture*, Ed. Flammarion 1995 (éd. originale 1923) pp.106-107

partagé par époque, une région du monde ou une école de pensée. Cette attitude procède aussi par simplification, elle engage aussi ses spécialisations ou ses 'chapelles' et la critique que formulait Donald Schön aux experts hyperspécialisés de la rationalité technique, qui finissent par ne voir dans une situation que les problèmes que leur discipline sait résoudre, peut aussi être formulée à l'expérience cumulative personnelle. En ce qui concerne l'aptitude à la négociation avec le réel, elle relève plus d'une habileté cultivée que de connaissances et Donald Schön n'en donne finalement pas de définition positive, au-delà d'une série de portraits de praticiens, architecte, psychologue ou ingénieur talentueux observés à l'œuvre.

Ensuite sa critique de la rationalité technique est probablement un peu caricaturale, même si le schéma général qu'il en dresse est assez juste et observable dans nos vies quotidiennes, comme une orientation générale. Mais son instruction à charge, montrant le monde scientifique et technique dans ses aspects les plus enrégimentés, tout comme ses cadrages serrés sur la dimension aliénante du processus, oublie de préciser par exemple que les grands ingénieurs du début du XX^{ème} siècle n'ont pas seulement dessinés ce qu'ils pouvaient calculer mais ont su inventer les méthodes de calcul pour valider leurs intuitions. Si certains d'entre eux sont devenus les experts sans imagination décrits dans *The reflective practionner*, c'est avant tout la conséquence de la paresse intellectuelle qui préfère le confort d'un modèle à l'exigence d'invention d'une méthode. Pour être tout à fait honnête, Donald Schön devrait aussi remarquer que beaucoup d'architectes procèdent de même et ne dessinent que ce qu'ils savent dessiner, ne construisent que ce qu'ils savent construire sans remise en question ni inventivité. Il est donc un peu trop simple d'opposer une supposée rigueur étroite des sciences à l'habileté créative de 'l'intelligence de situation', comme si les scientifiques en étaient privés. Ignorer l'un ou l'autre, c'est toujours fabriquer une connaissance lacunaire. La création de connaissances positives requiert aussi l'imagination, la créativité et l'intelligence de situation comme le soulignait Gaston Bachelard en 1934 dans *Le Nouvel Esprit Scientifique* : « Dans la pensée scientifique, la médiation de l'objet par le sujet prend toujours la forme du projet. »¹⁷ et d'ajouter plus loin : « Tout concept fini par perdre son utilité, sa signification même quand on s'écarte de plus en plus des conditions

¹⁷ Bachelard *op. cit.* p.14

*expérimentales où il a été formulé. Les concepts et les méthodes, tout est fonction du domaine d'expérience ; toute la pensée scientifique doit changer devant une expérience nouvelle. Un discours sur la méthode sera toujours un discours de circonstance et il ne décrira pas une constitution définitive de l'esprit scientifique [...] Nous en arrivons à nous demander si la psychologie de l'esprit scientifique n'est pas simplement une méthodologie consciente ».*¹⁸ La même intelligence de situation, la même créativité, la même capacité de négociation avec le réel que Donald Schön met en évidence se retrouve dans la démarche expérimentale scientifique visant à connaître comme dans la démarche expérimentale pratique visant à transformer, et toutes deux sont menacées de fossilisation si elles ne se régénèrent pas.

Expérimentation et évaluation

La question de l'évaluation des résultats expérimentaux apparaît comme une différence fondamentale entre les deux formes d'expérimentation que nous observons. Si l'évaluation objective de l'expérience scientifique est inscrite dans son code génétique même, elle est la grande absente de l'expérimentation pratique. Le « *Do I like what I get when I solve the problem ?* » n'est pas très satisfaisant, du moins pas très partageable et n'est pas un gage d'évaluation correcte de la résolution du problème. A la fois juge et partie, le praticien peut-il s'arranger avec lui-même pour évaluer son travail ? A considérer que la finalité d'une expérimentation pratique est la résolution d'un problème par des voies originales, il est légitime d'en exiger une évaluation objective et indépendante.

A notre connaissance il n'existe en France que très peu de protocoles d'évaluation objective des expérimentations techniques à l'échelle de l'architecture. On citera bien entendu les procédures d'ATEX (Appréciation Technique Expérimentale) délivrées par le CSTB qui permettent aux compagnies d'assurances de garantir un dispositif constructif, lorsqu'il n'est pas décrit dans les réglementations en vigueur. Mais ce protocole demeure limité de deux manières. La première est la complexité et le coût de ces 'appréciations' qui en limitent la portée aux grands projets. Un ancien directeur du CSTB reconnaît d'ailleurs que cette procédure est sophistiquée et bien

¹⁸ Bachelard *op. cit.* pp. 104-105

peu agile.¹⁹ Sur la centaine d'ATEX délivrée en 2015, nous notons qu'un peu moins du tiers sont des appréciations en situation de projet quand les autres sont des évaluations de produits industriels, comme étape préalable à la délivrance d'avis technique.²⁰ Le monde de la construction n'a donc pas dérogé plus d'une trentaine de fois à la réglementation en une année. A y regarder de plus près, ces dérogations demeurent le plus souvent mineures et procèdent d'adaptation à des cas singuliers non décrits par la réglementation comme par exemple la fixation d'un bardage métallique sur un support en ossature bois que l'avis technique du bardage n'envisageait pas. La seconde limite est que l'objectif de l'ATEX n'est que de garantir la sécurité et la pérennité du dispositif testé. Elle n'évalue pas les performances qui ne concernent pas les compagnies d'assurance. Si l'objet de l'expérimentation était un médicament, la procédure d'ATEX permettrait d'évaluer ses risques, mais pas ses bénéfices thérapeutiques.

Dans un domaine différent du nôtre, Ester Duflo s'est intéressée aux expérimentations en matière de politiques publiques, notamment celles qui concernent la lutte contre la pauvreté. La pertinence de sa réflexion mérite un détour. Dans sa leçon inaugurale au Collège de France intitulée *Expérience, science et lutte contre la pauvreté*²¹, elle montre que ces expérimentations aux objectifs souvent très ambitieux ne sont pas évaluées, soit parce qu'elles ne sont pas évaluables, soit parce que leurs promoteurs, motivés par des fins électoralistes préfèrent communiquer sur leurs actions plutôt que les évaluer, au risque de devoir reconnaître leur échec. De même les associations ou les ONG chargées de mettre en œuvre les programmes et qui vivent de leurs subventions n'y ont pas plus intérêt, pour les mêmes raisons. Citant Franklin Roosevelt à propos de sa politique du New Deal, elle met en exergue que la nécessité d'évaluer ne fait qu'ajouter à la difficulté d'expérimenter : « *the country demands, bold, persistent, experimentation. It is common sense to take a method and try it : if it fails, admit it frankly and try another. But above all try something* ». ²² Soulignant l'importance de « *if it fails, admit it frankly* » elle

¹⁹ Berthier S. *Entretien avec Alain Maugard*. Paris le 7 octobre 2015

²⁰ <http://evaluation.cstb.fr/rechercher/produits-evalues/?prestations=appreciation> page consultée le 30/08/2016

²¹ Duflo Esther, *Expérience, science et lutte contre la pauvreté*, coll. Leçons inaugurales du Collège de France, Ed. Fayard 2009.

²² *Ibidem* p.26

revendique le transfert de méthodes des essais cliniques tels qu'ils se pratiquent en médecine vers le domaine de l'action publique, pour multiplier des expérimentations aux ambitions circonscrites à un seul sujet, dont les attendus sont explicites et les résultats évaluables et comparables. Si l'expérimentation des essais cliniques est bien une expérimentation pratique, ses modalités d'évaluation retrouvent en dernière étape les procédures objectives et les précautions méthodologiques de l'expérience scientifique, puisqu'il s'agit alors de connaître l'efficacité d'un médicament avant sa mise sur le marché. L'invention ou la découverte d'un médicament s'appuie sur un socle de connaissances positives issues de la biologie et de la chimie. La vérification de l'hypothèse thérapeutique passe un protocole expérimental long pour confirmer la validité de l'hypothèse formulée dans l'éprouvette du laboratoire dans le « milieu » que constitue le corps humain, dans toute sa complexité. Les cliniciens sont alors aux aguets des effets positifs ou indésirables que seule l'expérimentation en situation réelle permet d'apprécier. Cette étape est en médecine aussi un moment ouvert à la sérendipité et à l'accueil de l'aléa. Les propriétés médicales de certaines molécules ont ainsi été découvertes lors de cette étape, alors que l'hypothèse initiale ne les prévoyait pas, comme nombre d'effets indésirables ont conduit à l'abandon de certaines hypothèses, dont le risque s'est avéré trop élevé par rapport au bénéfice escompté. L'éprouvette ne peut pas tout. Mais dans tous les cas, les protocoles expérimentaux sont élaborés dans l'objectif d'être évalués, c'est-à-dire d'être transcrits sous forme de connaissances positives. Il n'y a aucune raison valable pour que le praticien réflexif de Donald Schön soit exonéré de cette exigence. Elle lui offrirait même l'occasion d'échapper à la seule « sanction des marchés » comme forme d'évaluation extérieure en s'autorisant dans un temps de maturation à l'abri des situations concurrentielles.

La limite du nombre de cas étudiables dans une expérimentation technique en architecture restreint toutefois les possibilités d'un transfert pur et simple des modalités d'évaluation des essais cliniques. La singularité de chaque édifice s'oppose à la reproductibilité de l'expérience, « à toute chose égale par ailleurs ». La faiblesse du nombre de cas qu'un praticien peut observer à son échelle ne dit rien des réussites chanceuses comme des pendules en panne qui donnent l'heure juste deux fois par

jour, ni des bonnes solutions dont l'échec tient à des circonstances extérieures particulières.

Mais dans une certaine mesure, les essais cliniques ont le même problème avec la singularité de chaque individu qui réagit différemment aux traitements, selon son âge, son sexe et son patrimoine génétique. La validité d'un médicament est toujours une statistique, qui ne s'applique pas à tous mais à un nombre suffisant de patients pour que l'efficacité soit prouvée. Dans le domaine de la médecine, les particularités individuelles sont lissées par la multiplicité des expériences. Le résultat obtenu est une « bande moyenne » et l'efficacité d'une molécule est évaluée en pourcentage de cas dont la situation s'est améliorée. Dans notre domaine, l'évaluation de l'expérimentation exigerait que les procédures d'enquête soient menées à grande échelle, sur un corpus significatif d'édifices, classés à minima par échelle, par programme et par climat. Seule cette expérimentation élargie offrirait une validité statistique aux résultats obtenus afin de constituer un socle de connaissances qui s'incrémenterait par effet de cliquet, comme dans le domaine des sciences positives.

L'expérimentation et son milieu

Une autre difficulté méthodologique pour l'avènement de modalités positives de l'expérimentation technique en architecture porte sur la connaissance du milieu dans lequel ces expériences prennent place. Toute expérience a lieu dans un milieu dont les caractéristiques sont connues des chercheurs. Le laboratoire est celui, artificiel, du scientifique qui vise à éliminer tous les biais singuliers qui déformerait la régularité recherchée. Le corps humain et son métabolisme est celui des essais cliniques. La société, dans ses organisations économiques et sociales, est celui des expériences que préconise Esther Duflo pour découvrir des solutions efficaces de lutte contre la pauvreté. L'atelier des prototypes avec ses outils et ses bancs d'essais est celui de l'industriel. Gilbert Simondon mit en évidence que la mine fut le milieu d'expérimentation du chemin de fer. D'une manière plus large nous lui devons le concept de *milieu associé*²³ hors duquel certains objets techniques ne peuvent exister car c'est le milieu qui recèle les dynamismes et fait exister les systèmes de formes.

²³ Simondon, *Du mode d'existence, op. cit.* p.70

Le terme de milieu est principalement issu de la biologie et définit un ensemble organique au sein duquel naissent et se développent des formes de vie et avec lequel elles interagissent. En utilisant ce terme nous voulons insister sur la relation de co-fabrication qu'il implique, plus forte qu'une simple situation d'immersion qu'évoqueraient les termes de contexte ou d'environnement.

Du mode d'existence des techniques industrielles de la construction contemporaine

Nous formulons l'hypothèse que l'architecture est un milieu d'expérimentation des innovations techniques. Ce milieu oppose des résistances et offre des ressources au paradigme technologique industriel que nous connaissons depuis le début du XX^{ème} siècle. Il nous faut donc commencer par analyser cette technologie industrielle pour comprendre ses modalités opératoires dans le projet architectural, au-delà du rôle instrumental qu'on lui concède habituellement.

Il semble entendu pour tous les auteurs de référence sur lesquels nous appuyons notre réflexion que la production d'artefacts s'organise, depuis la Révolution Industrielle, sur le principe positiviste de la *rationalité technique* et de son organisation verticale des sciences fondamentales vers les sciences appliquées puis vers la pratique et que cette organisation est une rupture majeure dans l'histoire de l'humanité après des siècles de régime artisanal.

Objet technique artisanal vs objet technique industriel

Gilbert Simondon évoque, pour montrer son caractère caduc, 'l'âge d'or' de l'artisanat durant lequel les objets techniques étaient élaborés avec des matières premières ou des matériaux proches de leur état naturel. Le travail de l'artisan opérait l'ensemble des transformations, comme le charpentier détachait sa poutre de la bille de bois à l'aide d'une herminette avant de la tailler pour l'assembler en ferme latine et la raccorder aux autres parties de l'édifice. L'invention restait à l'intérieur du processus de fabrication de l'objet : « *la relation de l'homme à la nature dans l'artisanat est immédiate, dans le choix des matériaux et de leur élaboration. Il [l'artisan] met en œuvre, ordonne, agence des matières qui sont presque des matières premières, qui restent près de l'état naturel.* »²⁴. L'objet artisanal avait un caractère singulier et quasi organique dont les parties étaient pensées ensemble au service d'une unique finalité, l'objet lui-même : « *Dans l'objet artisanal, la pièce est un organe qui porte la marque de tous les autres organes. L'organicité de l'objet artisanal rattache les parties au tout et les rend non transférables.* »²⁵.

²⁴ Simondon Gilbert *Sur la technique, 1953-1983*, Ed. PUF, 2014 p.302

²⁵ *ibidem* p. 67

Par opposition à l'organicité de l'objet artisanal, l'objet industriel se réalise par assemblages d'éléments qui sont d'abord extérieurs à sa finalité. L'invention déborde de l'exécution, elle la précède le plus souvent : « *l'inventeur ne procède pas ex-nihilo à partir de matières premières auxquelles il donne une forme mais à partir d'éléments déjà techniques auquel on découvre un être individuel susceptible de les incorporer. L'individu technique doit donc être imaginé construit en tant qu'ensemble de schèmes ordonnés.* »²⁶. L'objet industriel est désormais un assemblage de sous-ensembles préfabriqués en série et interchangeables. La difficulté porte alors sur les raccords d'organisation et l'établissement des synergies fonctionnelles entre les parties. Parfois un obstacle au processus de conception nécessite l'invention d'un nouvel élément, mais pas toujours. L'échelle de l'invention technique industrielle dépasse l'objet fabriqué : « *Sa totalité n'est plus au niveau de l'objet comme dans la phase artisanale ; elle se condense dans la pièce détachée et se dilate en un immense réseau de distribution de pièces détachées à travers le monde. [...] La production industrielle libère la réalité technique d'un asservissement à l'ordre humain de grandeur.* »²⁷. Le mode d'existence d'un objet technique en régime industriel passe par une étape primitive d'assemblage cumulatif de parties constitutives simples dont les fonctions sont clairement séparées, que Simondon nomme « objet technique abstrait » parce qu'il n'a pas d'existence en lui-même mais n'est qu'une somme de parties fonctionnelles assemblées, jusqu'au développement par intégrations successives vers un objet dont : « *tous les éléments sont compatibles et synergiques. Il n'y a plus un organe par fonction, ni une fonction par organe. Chaque partie baigne dans un milieu intérieur constitué par le fonctionnement lui-même.* »²⁸. Cette phase mature est celle de l'« objet technique concret » : « *La concrétisation d'un objet technique est l'élévation de son degré de compatibilité interne* »²⁹.

²⁶ Simondon *Du mode d'existence, op cit.* p.92

²⁷ Simondon *Sur la technique, op.cit.* p.67

²⁸ Simondon *L'invention dans les techniques, op. cit.* p.330

²⁹ *Ibidem* p.295

Des matériaux bruts aux produits industriels

Il nous faut maintenant tenter de décrire, dans le champ de la construction, cette technologie industrielle que les sciences appliquées mettent à la disposition des architectes, qu'ils expérimentent et avec laquelle ils construisent. Un ouvrage collectif de 1981 intitulé *Deux essais sur la construction*³⁰ nous apporte de précieux éléments de réponse pour comprendre cette mutation dans le domaine de l'architecture. En écho à Gilbert Simondon, les auteurs y décrivent la modification qui s'est opérée en un siècle en passant d'un système artisanal de conventions à un système industriel de prescription puis de normalisation. En régime artisanal, les relations entre l'architecte et les artisans opèrent par conventions techniques et connivences esthétiques. Il n'est pas utile aux premiers d'être excessivement précis sur le sujet technique puisque les dispositifs constructifs sont limités et partagés. Les descriptions des ouvrages au-delà des dessins sont donc très succinctes. L'architecte sait tacitement ce que l'artisan va faire et l'artisan sait tacitement ce que l'architecte attend, selon le principe même d'une relation fondée sur des conventions. Des conventions similaires existaient entre les compagnons des différents corps d'état pour la réalisation des raccords entre les parties et entre les matériaux. Ce que nous nommons aujourd'hui « limites de prestation » et qui nous cause tant de tracas était chose tacitement entendue entre le maçon et le charpentier, entre ce dernier et le couvreur. Élément de fluidité dans les relations collaboratives, ces conventions étaient aussi un frein important à l'innovation et réduisaient significativement l'univers des possibles. Gilbert Simondon note que le mode artisanal est : « *une manière d'agir et un ensemble de procédés qui se conservent et se transmettent à travers le temps, sans apprendre ni oublier* »³¹. Tandis que les corporations étaient fermées, rétives au changement et à l'innovation, le travail de recueil et d'analyse systématique des techniques réalisé par l'Encyclopédie a libéré les savoirs et permis leurs synergies, ouvrant la voie aux extraordinaires développements technologiques de la modernité.

L'époque moderne a externalisé l'invention technique vers l'industrie et ses ingénieurs aux dépens des artisans et des architectes. Le monde de l'industrie tend

³⁰ Dupire Alain, Hamburger Bernard, Paul Jean-Claude, Savignat Jean-Michel, Thiebaut Alain *Deux essais sur la construction, conventions, dimension et architecture*, Ed Mardaga, Bruxelles 1981

³¹ Simondon Gilbert, *Imagination et Invention* 1965-66 Ed. de la Transparence, Paris, 2008, p.180

désormais à maîtriser la totalité du processus de fabrication pour limiter le chantier à un temps de montage qui nécessite peu de savoir-faire. L'argument avancé par les tenants de l'industrialisation du secteur du bâtiment repose sur l'optimisation des coûts par la fabrication en série et l'amélioration de la qualité grâce à un outillage performant qui supprime les aléas du chantier et ses 'bricolages'. Notons aussi que le phénomène tend à transférer la valeur ajoutée de la transformation de l'entreprise vers l'industrie et constitue un bouleversement économique majeur. Les matières premières que transformait l'artisan sont devenues des semi-produits, des composants ou des sous-systèmes industrialisés. Le premier terme évoque des produits industriels dont les dimensions et dans une certaine mesure la forme sont adaptables sur le chantier, tandis que les deux derniers termes définissent des objets techniques aux dimensions et formes fixes. Par exemple le système de cloisons *Placoplatre* est un semi-produit, qui intègre ses plaques de plâtre, ses ossatures en aluminium, sa visserie, ses isolants, ses bandes de joints et divers éléments de finition. Les blocs-portes de menuiseries peuvent être considérés comme des composants tandis que des ensembles complets de salles de bains préfabriquées et livrées d'un bloc sur le chantier sont des sous-systèmes industrialisés, comme le sont aussi les divers dispositifs techniques de chauffage, ventilation et climatisation. La construction contemporaine ressemble *grosso-modo* à un système de type *meccano* dont les pièces seraient issues de multiples fabricants, sans être forcément compatibles entre elles. C'est dans la recherche de compatibilité entre ces éléments que réside la difficulté majeure de la construction contemporaine.

On objectera ici que la technologie du béton banché, dominante en France aujourd'hui ne correspond pas à cette définition de *meccano*. Mais ce matériau, très souple dans ses formes et dimensions n'en est pas moins un matériau industriel, à ceci près que le processus n'est pas dans l'usine mais installé sur le chantier. Son mode constructif est surdéterminé par ses outils et moyens de mise en œuvre, et réglé par les dimensions normalisées de ses banches. Dans cette filière, *le meccano*, c'est l'outillage, c'est le moule assemblé. Ce mode constructif est à lui seul un sous-système industrialisé, souple, mais totalement normalisé. Alain Dupire note d'ailleurs que le béton armé est typiquement une technologie d'ingénieurs qui permet

l'emploi d'une main d'œuvre très bon marché et représente une source de profit conséquente.³²

Prescription et normalisation

L'autre effet du transfert des savoirs techniques des cols bleus vers les cols blancs est qu'une construction doit désormais être entièrement définie au préalable. Cela implique que tout le projet soit entièrement décrit par le couple architecte-ingénieur en amont, dans une logique de prescription conforme à la hiérarchie *Top-Down* de la rationalité technique, autoritaire et aliénante comme l'ont montré Lewis Mumford (1930), Ivan Illich (1973) ou Donald Schön (1983), parmi tant d'autres. La prescription qui par définition doit « tout prévoir » a deux buts principaux, le premier est d'énoncer un par un tous les éléments industriels composant le projet, de les ordonner et de les hiérarchiser, le second est de décrire les modalités de raccords entre eux. Ces raccords que l'artisanat gérait par convention sont désormais définis par le « détail constructif », dessin spécifique de notre époque qui n'existait quasiment pas en régime artisanal. Il a pour objectif de pallier l'inorganicité des modes constructifs par assemblage de parties industrialisées, assurer leur jonction solide et pérenne mais aussi, et pour chaque projet, d'inventer un code esthétique après la disparition des conventions qui prévalaient en la matière avant l'époque moderne.

Conformément au principe de spécialisation de la rationalité technique, un découpage des savoirs redouble le découpage technique. Les ingénieurs sont spécialisés, en structure, en thermique, en électricité, en acoustique etc. Parfois même, ils sont spécialisés dans les structures en acier ou en béton ou en bois. La somme des spécialistes laisse l'architecte seul quant au dimensionnement général, à l'ordonnancement et aux raccords entre les diverses parties constitutives. Antoine Picon n'est pas tout à fait exact lorsqu'il note que l'invention de l'ingénieur moderne³³ a opéré une division des tâches de l'art de bâtir entre l'ingénieur qui maîtrise la technique et l'architecte, la fonction et la plastique. En réalité l'ingénieur se redivise lui-même dans ses spécialités et dans ce schéma théorique, il n'assume

³² Dupire et alii *op. cit.*

³³ Picon Antoine, *L'invention de l'ingénieur moderne*, Presses de l'ENPC, Paris 1992

qu'incomplètement les relations négociées entre toute choses au service de la cohérence de l'édifice comme objet technique complexe. Nous retrouvons ici le vide énoncé par Donald Schön, l'impensé du schéma incomplet de la rationalité technique qui suppose que les connaissances positives spécialisées n'ont qu'à se réassembler pour reconstituer le réel.

Enfin, le caractère improbable de la prescription absolue et nouvelle pour chaque projet, l'immense difficulté qu'il y aurait à réinventer la construction à chaque fois ont conduit peu à peu à la normalisation de la construction, version industrielle et administrative de l'ancienne convention. La normalisation sécurise le découpage de l'objet technique « bâtiment » en imposant des règles dimensionnelles, des principes de compatibilité et des modalités de raccordement éprouvées. Peu à peu ces normes, règles et DTU se substituent aux anciennes expressions du savoir technique et la question n'est plus 'est-ce bien construit ?' mais 'est-ce conforme ?' Les DTU se substituent désormais aux cours de construction³⁴. Nous rajouterons que la normalisation constitue une organisation autoritaire quand les conventions s'établissaient sur des savoirs négociables sous le principe de la responsabilité individuelle des acteurs.

L'expérimentation est désormais seulement possible lorsqu'on ne sait pas faire certaines choses, puisqu'il n'y a pas d'autres voies. Mais lorsque ses retours d'expériences se capitalisent dans l'établissement de normes, arrive alors un point de saturation normatif à partir duquel la façon de faire normalisée fait autorité et rend « non-conforme » l'expérimentation d'alternatives. De fait, la normalisation gèle les possibilités d'expérimentation, donc d'innovation, comme l'a très bien compris le rapport parlementaire de Jean-Yves Le Déault et Marcel Deneux publié en 2014 et portant sur les difficultés à innover en matière d'économie d'énergie dans le bâtiment. Ce document se montre très critique à l'égard de l'action du CSTB pour les raisons précitées, soulignant par ailleurs avec étonnement l'absence d'universitaires dans son conseil scientifique.³⁵

³⁴ Dupire *op. cit.* pp. 47-48

³⁵ Le Deaut Jean-Yves et Deneux Marcel, *Les freins réglementaires à l'innovation en matière d'économie d'énergie : le besoin d'une thérapie de choc*. Rapport parlementaire de l'OPECST du 9 juillet 2014 <http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/rap-off/i2113.pdf>

Le règne des semi-produits

Les auteurs de *Deux essais sur la construction*³⁶ écrivent à une époque charnière de l'industrialisation de la construction. Ils sont en quelque sorte au milieu du gué. Les tentatives d'industrialisation de la première modernité qui imaginaient les édifices entiers comme des produits préfabriqués, des « modèles » à l'instar de la maison *Citrohan* de Le Corbusier, avaient échouées. Les tentatives d'après-guerre de développer des *meccanos* plus souples, qui à partir d'une nomenclature relativement restreinte de sous-systèmes industrialisés permettaient des variations significatives, telles que les différentes maisons de Jean Prouvé n'avaient pas connu beaucoup plus de succès. L'ambitieuse tentative étatique française de l'Industrialisation Ouverte³⁷ qui envisageait d'établir un grand système normatif entre tous les fabricants industriels afin que le bâtiment puisse être pensé comme un assemblage de composants toujours compatibles entre eux n'avait pas dépassé le stade de quelques réalisations 'expérimentales' à la fin des années 70, pour la plupart infructueuses. Mais les auteurs observaient assez justement le développement important des semi-produits industriels, normalisés dans leurs caractéristiques physico-mécaniques, leurs conditions d'assemblage et de raccordement, mais toujours ajustables dans certaines limites. Proposés dans des dimensions maximales liées à leur solidité, leurs conditions de production et de distribution, ces semi-produits peuvent être découpés et ajustés *in situ* pour correspondre aux situations particulières de chaque projet. Ils peuvent aussi être fabriqués aux dimensions demandées, comme les fermettes industrielles ou les panneaux de bois contrecollé. Les auteurs notaient que ces semi-produits permettaient aux industriels de couvrir un spectre large de demandes possibles, de s'adapter à la plupart des dimensions singulières des projets, plutôt que de présenter un catalogue de produits figés dans leurs dimensions telle que l'envisageait l'Industrialisation Ouverte. Ils observaient aussi que ces semi-produits étaient souvent fournis avec leur panoplie d'outillage et parfois même avec les prestations intellectuelles de dimensionnement. Leur observation est toujours

³⁶ Dupire *op. cit.*

³⁷ Grèzes Denis. et Charon JP, *Industrialisation ouverte, recherche et expérimentation 1971-1983*, Plan Construction et Habitat, Paris, 1983

pertinente aujourd'hui, même si nous constatons toutefois la coexistence hybride de ce modèle majoritaire avec celui des composants et des sous-systèmes industrialisés. L'arrivée des machines à commande numérique dans l'outillage industriel autorise désormais la fabrication de petites séries et les dimensions plus souples. La CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) permet aujourd'hui de spéculer sur une transformation profonde de l'industrie et de ses modes de production. Dans son principe, ce mode opératoire conçoit puis réalise des éléments de construction à partir d'un unique fichier source supprimant ainsi un grand nombre d'opérateurs de la chaîne industrielle. Il amoindrit la nécessité de la production en série nécessaire à l'optimisation économique puisqu'il devient presque égal pour la machine à commande numérique de fabriquer cent pièces différentes ou cent pièces identiques. Cependant les machines à commandes numériques restent encore employées par l'industrie dans un schéma classique pour optimiser ses rendements en diminuant le recours à la main d'œuvre salariée et assouplir sa production pour augmenter l'offre de son catalogue. Le milieu que nous avons décrit, fait de semi-produits, de composants et parfois de sous-systèmes sont encore les « matériaux » avec lesquels l'architecte doit négocier, dans un cadre prescriptif et normalisé, fondé sur le découpage technologique de l'objet bâti et sur la spécialisation des tâches. Cet univers de produits industriels ne se rencontre nulle part ailleurs mieux que dans les allées des salons professionnels comme Bâtimat, acmé de la logique prescriptive. Le foisonnement impressionnant des produits exposés offre apparemment une infinité de possibles au service de l'architecture mais laisse pourtant un sentiment de vacuité aux architectes dans la mesure où cette offre quasi-illimitée ne répond qu'à moitié à leurs questions. Les architectes se demandent ainsi ce qu'ils peuvent bien faire de ces nouveaux produits tant ils savent qu'il ne leur suffit pas de 'mettre' telle ou telle 'innovation' dans leurs projets pour que ceux-ci gagnent en qualité. Il faut que ces dispositifs trouvent leur place dans l'organicité de l'ensemble qui n'est pas toujours configuré pour les accueillir avec bonheur.

Le découpage industriel reprend toujours à peu près le découpage traditionnel par corps d'état mais chaque produit, dans sa forme, ses dimensions et ses modalités de raccords ne correspond qu'à peu près à l'ordonnement des projets, dessinés à priori, selon un mode de pensée technique implicite qui se calque encore largement

sur les modalités de la construction traditionnelle et artisanale et que l'industrie tente de transcrire selon ses procédés. L'ordonnancement normatif de ces produits ne se superpose jamais exactement à l'ordonnancement architectural du projet, il n'offre pas la malléabilité technique de l'artisanat, la finesse de son grain. Le travail de l'architecte consiste donc à redécouper *a posteriori* son édifice, selon des logiques de disponibilités de catalogues que la forme initiale ne prévoyait pas. La nature industrielle et la sophistication de ses produits ne sont que rarement intégrées à l'origine du dessin du projet et parfois difficilement intégrables à postériori.

De l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques

Ce *hiatus* contemporain entre le dessin architectural et ses conditions d'existence matérielle tient probablement en partie à l'abandon de la question technique par les architectes au tournant des années 1980 et ce n'est pas tout à fait par hasard si l'ouvrage *Deux essais sur la construction* de 1981 est à notre connaissance le dernier opus théorique en langue française sur la question de la technique en architecture³⁸. C'est à cette période que la plateforme doctrinale de la postmodernité a reléguée le sujet technique en arrière-plan, comme un moyen instrumental laissé à l'industrie et à ses ingénieurs qui avaient la charge de redécouper la forme architecturale pour la décomposer en parties de construction réalisables selon ses propres logiques normatives.

L'invention technique en architecture

Pourtant le travail de l'industriel n'est pas celui d'un inventeur thaumaturge qui créerait la construction ex-nihilo pour l'imposer ici-bas. Il agit en entrepreneur en observant des dispositifs techniques récurrents dans les édifices, réalisés artisanalement et imagine comment les reproduire avec des moyens industriels ou en proposer des alternatives, à partir d'autres matériaux, grâce à ses procédés industriels. Ses outils permettent aussi d'en recombinaison le découpage, avec les produits composites par exemple, pour une plus grande efficacité. Il met sur le marché des produits dont il estime qu'ils présentent un avantage économique et/ou technique sur les procédés artisanaux, mais ses références d'origines sont tirées des procédés conventionnels, d'abord réalisés artisanalement. Pour le dire autrement, l'industrie

³⁸ Nous faisons ici volontairement omission de la notion de *tectonique* développée dans les années 90 par Kenneth Frampton à l'Université de Columbia puis reprise en France par Cyrille Simonet, dans la mesure où cette notion est à notre sens typiquement postmoderne et analyse avant tout la narrativité de la construction dans l'architecture, ses effets cognitifs, sensoriels et esthétique. La construction y devient le sujet du récit architectural, mais sans qu'elle soit véritablement interrogée dans ses modes opératoires comme le fit en revanche Reyner Banham dans les années 1960 et 1970.

n'invente pas d'éléments architectoniques, elle les renouvelle en les reconsidérant à l'aune de ses moyens de production. Mais l'absence de l'architecte dans le processus de définition des éléments industrialisés de construction limite la pertinence de la formulation de la demande et conduit à une offre souvent inadaptée. Pascal Rollet souligne justement la nécessité de la 'recherche finalisée' comme aboutissement des travaux de recherche et développement (R&D) à l'échelle de l'architecture lorsqu'il revient sur ses expériences menées lors des deux SolarDecathlon auxquels il a participé avec ses étudiants de l'ENSA de Grenoble.³⁹ L'efficacité technique d'un bâtiment n'est pas la somme des efficacités des parties et l'édifice a son 'métabolisme' propre que ces parties doivent apprendre à intégrer dans une phase d'expérimentation, par prototypage d'édifices complets.

Les travaux de Madeleine Alkrich, Michel Callon et Bruno Latour ont mis en évidence que l'une des clés du succès des innovations était leur capacité à l'adaptation en situation réelle, au-delà de leur performance technique proprement dite.⁴⁰ Selon eux, adopter une innovation c'est l'adapter. A partir de nombreux exemples, leur analyse recoupe celle de Donald Schön et montre que les dispositifs théoriques et idéaux imaginés dans une logique de rationalité technique échouent s'ils n'ont pas la capacité de se déformer, de s'adapter à la complexité du contexte dans lequel ils s'intègrent, par une période d'expérimentation pratique. Cette phase est nécessaire à la bonne adaptation d'une invention à la demande. Les auteurs soulignent aussi qu'elle est une phase d'intéressement des acteurs de terrain, techniciens, praticiens etc. qui doivent pouvoir s'approprier l'innovation pour l'accepter. L'article détaille pour l'exemple le cas de kits de panneaux solaires photovoltaïques imaginés en France pour le marché africain riche de son ensoleillement. Les ingénieurs français avaient inventé un dispositif techniquement performant mais fermé, interdisant toute adaptation locale. Les agents africains ne se sont jamais appropriés ces panneaux car ils n'ont jamais pu les transformer au gré des spécificités des sites d'implantation ni assurer la maintenance de ces produits fermés.

³⁹ Rollet Pascal « De la nécessité de la recherche finalisée pour la R&D en architecture » in *Les cahiers de la recherche architecturale et urbaine* n°26-27, 2012, pp. 233-241

⁴⁰ Alkrich Madeleine, Callon Michel, Latour Bruno, « A quoi tient le succès des innovations, *Gérer et Comprendre. Annales des Mines*, Les Annales des Mines, 1988, pp. 4-17 et 14-29.

La construction industrielle contemporaine montre une absence assez similaire de *feed-back* entre l'invention technique et son expérimentation pratique. Dans le jeu d'acteurs contemporain de l'acte de construire fondé sur la spécialisation, l'architecte reste néanmoins le professionnel le mieux placé pour jouer ce rôle d'expérimentateur des innovations en situation complexe, pour autant qu'il puisse intégrer explicitement ce travail dans la définition de son métier, tel qu'il le fit durant la période de la modernité. Il suffit pour s'en convaincre de plonger dans les archives des revues AA ou T&A jusqu'au début des années 1980. Après cette date, la technique s'efface des réflexions architecturales, considérée comme l'affaire des industriels et des ingénieurs ; charge à eux de construire le dessin de l'architecte. Mais l'organisation rationnelle et la spécialisation technique n'ont jamais réussi à résoudre la difficulté de la négociation entre toutes choses telle que l'exige la conception architecturale. L'objet de cette négociation est la recherche, au-delà de l'efficacité technique d'un ordre architectural qui donne sa cohérence et son unicité à l'édifice, sa *concrétisation* pour reprendre le terme de Gilbert Simondon, même s'il ne l'entendait qu'en termes de synergies fonctionnelles. Néanmoins, il soulignait la spécificité des objets d'art, catégorie à laquelle nous pouvons partiellement assimiler les œuvres architecturales. Ces objets d'art présentent selon lui : « *une adéquation dimensionnelle entre une œuvre et une invention organisatrice. L'objet créé est tout entier organisé en un seul acte, sans résidu ni zone de flou mais cet acte ne déborde pas au dehors des limites de l'objet créé qui reste particulier et unique : c'est l'objet d'art, intermédiaire stable entre la facture artisanal et l'opération industrielle comme objet complètement organisé, et à ce titre, absolu mais pourtant singulier. Dans l'objet artisanal, l'invention reste à l'intérieur des limites de l'exécution, opérant des raccords partiels d'organisation. Dans l'objet industriel l'invention déborde de l'exécution. Dans l'objet d'art, invention et exécution sont contemporaines l'une de l'autre, et de même dimension* »⁴¹. Par analogie, le projet d'architecture peut être entendu comme une invention organisatrice absolue d'un objet singulier mais qui doit, en régime industriel, composer avec une technique pré-organisée dans une logique de standardisation.

⁴¹ Simondon, *L'invention dans les techniques*, op. cit. p. 302

L'invention de la règle en architecture

Le type de raisonnement sollicité dans la création architecturale est hybride, fait de récursivité entre les modes de pensée déductive, inductive, abductive, mais aussi plus spécifiquement diagrammatique et analogique. La pensée déductive suppose la pré-existence d'une règle à partir de laquelle se déduit l'ordonnement particulier du projet. Par exemple, l'architecte peut intégrer des règles qui lui sont extérieures en composant un plan « compartimenté » tous les 300m² pour respecter la réglementation incendie. De cette règle il déduira la trame du bâtiment, la position des dégagements et des escaliers ainsi que la position relative des autres éléments du programme etc. A l'inverse la pensée inductive l'amène, en l'absence de règles à priori, à rechercher la modularité possible des éléments du programme pour en tirer la règle organisatrice. Par exemple, des locaux de dimensions 17,5m², 35m² et 105m² ou 240m² peuvent s'ordonner sur une trame de 5x7m. La pensée abductive, complémentaire des précédentes, le conduit, sur intuition, à faire l'hypothèse de règles ou d'ordres qui lui paraissent pertinents afin de les tester sur les éléments de son projet pour l'ajuster de proche en proche par itération. Par exemple, l'absence de modularité simple dans les éléments du programme peut l'amener à envisager une trame alternée faite successivement d'entraxes courts et d'entraxes longs, les premiers accueillant les petites surfaces servantes et les circulations tandis que les grandes accueilleront les espaces servis plus grands. Il vérifiera par exemple l'hypothèse d'une trame alternée *ab-ab* de 2m50-6m50 répétée *n* fois avant de la corriger de proche en proche. La pensée abductive supprime d'emblée les solutions qui paraissent improbables. Elle s'oppose en cela à la notion d'« enquête systématique » que nous pouvons rencontrer dans le domaine scientifique pour céder la place à l'intuition cultivée qu'évoque Donald Schön.

Mais la création architecturale recourt aussi à deux modes de pensée supplémentaires : la pensée diagrammatique et la pensée analogique. La première est voisine de la pensée déductive en ce sens qu'elle fixe par le schéma une organisation conceptuelle qui spatialise les données et les idées ; ainsi du *plan libre* de Le Corbusier ou du diagramme *points-lignes-surfaces* de Bernard Tschumi au parc de

la Villette. Comme l'a noté Paola Vigano⁴², la particularité d'un diagramme est son absence de dimensions ; il est sans échelle, détaché des spécificités d'un site ou d'un programme. Il constitue simplement un principe d'organisation. Cette pensée peut aussi être rapprochée de la pensée abductive dans la mesure où le diagramme, fixé arbitrairement doit être compris comme une hypothèse de règle que la mise à l'échelle vérifiera.

La seconde, la pensée analogique fonctionne par emprunt et transfert. Donald Schön a bien mis en évidence l'importance des métaphores génératrices dans cette quête de cohérence en architecture avec l'importance qu'il accorde au fait de « voir comme » et de « faire comme » dans l'expérimentation pratique. Voir l'édifice comme un paquebot à l'instar de Le Corbusier, comme un *meccano* à la manière de Jean Prouvé, comme les squelettes des architectures de Calatrava, comme un meuble à Bâle dessiné par Herzog et De Meuron, comme une éponge de Toyo Ito, comme une raffinerie high-tech, comme un type historique dans la ville analogue d'Aldo Rossi etc. Ce processus analogique et son influence déterminante sur la conception architecturale fut aussi largement décrit par Jean-Pierre Chupin dans *Analogie et Théorie en Architecture*⁴³. La pensée analogique se distingue de la pensée diagrammatique en ce qu'elle se rapporte à des formes préexistantes et non à des schémas d'organisation, même si ce qui est visé dans la forme analogue est bien son schéma d'organisation interne (sauf dans les cas les plus directs où l'édifice ressemble à un bateau parce que ses fenêtres ont des formes de hublots, ses garde-corps à des bastingages, on parlera alors de métaphore littérale, assez peu appréciée dans le métier pour sa 'facilité').

Ces diagrammes conceptuels et ces métaphores génératives orientent les décisions successives de l'architecte. Elles sont auto-normatives, en ce sens qu'elles sont le premier pas qui donne l'orientation de tous les pas suivants. Elles conditionnent l'ordonnement des parties, la *concrétisation* technique de l'édifice et son esthétique. Elles supposent parfois des transferts de technologies extérieures au bâtiment, comme ceux de la carrosserie automobile chez Prouvé, du mobilier chez Herzog et De Meuron à Bâle, des chantiers navals chez Séjima dans sa maison de la

⁴² Vigano Paola, *Les territoires de l'urbanisme : le projet comme production de connaissance*, Metis Press, 2013, p.91

⁴³ Chupin Jean Pierre *Analogie et théorie en architecture*, Infolio, Genève, 2010

Pruneraie à Tokyo, réalisée à partir d'épaisses tôles d'acier soudées. Sous notre régime industriel, ces principes d'ordonnancement doivent se confronter à l'ensemble normatif de la construction dont la définition leur échappe en grande partie et dont les conséquences esthétiques peuvent s'avérer particulièrement frustrantes.

Selon la formule de Bruno Latour, *nous n'avons jamais été modernes*⁴⁴, nous n'avons jamais obéi à l'injonction corbuséenne de concevoir selon les principes exacts et objectifs de la Science. L'œuvre architecturale est toujours hybride et synthétise le monde objectif et naturel décrit par les sciences et celui, subjectif, des phénomènes sociaux et culturels.

L'expérimentation de l'hybridation

La plupart des architectes mènent ces tâches d'hybridation mais sans en avoir clairement la pleine légitimité. Il n'y a pas aujourd'hui, pour les agences d'architecture, d'économie de l'expérimentation technique, ni de véritable cadre juridique à cette démarche. Ce travail d'adaptation et d'hybridation n'est pas valorisé parce que la rationalité technique ne le prévoit pas. Elle prévoit l'assemblage des parties dans le cadre de ses normes, comme une application objective de ces dernières, jamais dans le cadre de l'auto-normativité du projet d'architecture qui ne cesse pourtant d'occuper presque secrètement le travail des architectes. La réintroduction explicite de ce travail expérimental et créatif sur la technique dans le milieu associé que constitue l'architecture est un enjeu pour l'innovation architecturale et la revalorisation du rôle de l'architecte dans les années à venir. Pour citer Edgar Morin : « *L'imagination, l'illumination, la création sans lesquels les progrès des sciences n'auraient pas été possibles n'entraient dans la science qu'en catimini. Elles n'étaient pas logiquement repérables, et toujours épistémologiquement condamnables. On en parlait dans les biographies des grands savants, jamais dans les manuels et les traités, dont pourtant la sombre compilation, comme les couches souterraines de charbon, étaient constituées par la fossilisation et la compression de ce qui avait été au premier chef fantaisies, hypothèses,*

⁴⁴ Latour Bruno, *Nous n'avons jamais été Modernes*, La Découverte, Paris, 1997

prolifération d'idées et découvertes.»⁴⁵ Ce à quoi Bruno Latour répond presque comme un écho : « nous continuons de croire aux sciences, mais au lieu de les prendre dans leur objectivité, leur vérité, leur froideur, leur extra-territorialité – qualités qu'elles n'ont jamais eues que par le retranchement arbitraire de l'épistémologie – nous les prenons dans ce qu'elles ont toujours eu d'intéressant : leur audace, leur expérimentation, leur incertitude, leur chaleur et leur mélange incongru d'hybrides de nature et de culture, leur capacité à recomposer le lien social.»⁴⁶.

Notre recherche vise à montrer qu'en architecture le travail expérimental sur la technique n'a jamais cessé d'exister mais sous des formes isolées, toujours à la marge de la rationalité technique. Comme il n'en existe pas de définition positive, nous devons nous attacher à en rechercher les objectifs, les modalités opératoires, les conditions d'évaluation et de capitalisation des connaissances dans les multiples variations du phénomène. Ce renouveau de l'expérimentation technique refonderait l'utilité sociale de l'architecte en lui évitant le risque de devenir le *disagneur* qu'évoque Bernard Marrey⁴⁷, individu dépossédé de son influence sur la technique et réduit à un rôle de conseiller artistique, en charge de l'accompagnement esthétique de l'édifice. La véritable innovation professionnelle serait celle-ci.

La technique est aussi une question politique

Le dernier enjeu de la réappropriation de l'expérimentation technique est de nature plus théorique que pratique. Les technologies dont nous disposons aujourd'hui sont perçues comme un ensemble acquis de moyens et dispositifs neutres et objectifs. Nous soutenons qu'en réalité cet ensemble est, depuis Descartes et sa volonté de *se rendre comme maître et possesseur de la nature*, une fabrication sociale et culturelle issue d'un projet de domination de l'homme sur son milieu naturel, tellement acquis et assimilé que nous avons fini par oublier que ces 'faits' sont d'abord nos choix, comme nous le rappellent régulièrement les ethnologues, de Claude Levi-Strauss⁴⁸ à Philippe Descola⁴⁹. Le paradigme technico-scientifique de la rationalité technique et

⁴⁵ Morin *op. cit.* p74

⁴⁶ Latour, *op. cit.*

⁴⁷ Marrey, Bernard *Du maître d'œuvre au disagneur*, Ed. du Linteau, Paris 2014

⁴⁸ Levi-Strauss Claude, *Tristes tropiques*, Ed. Plon, Paris 1955

⁴⁹ Descola, Philippe, *Par-delà Nature et Culture*, Coll. Sciences Humaines, NRF Gallimard, Paris 2005

son mode opératoire qu'est l'industrie furent probablement les choses les mieux partagées dans le monde occidental depuis le XIX^{ème} siècle. Même le communisme ne l'a pas remis en question ; sa critique portait avant tout sur la question de la propriété des moyens de production et sur la redistribution égalitaire des richesses produites. Il ne remettait pas en question l'industrie mais l'affirmait comme un instrument collectif. Que son mode politique soit capitaliste ou communiste, ce paradigme technico-scientifique projette invariablement la maîtrise totale de la nature et son exploitation pour créer les richesses qui assureront le 'bien-être' de l'humanité. Il est fondamentalement extractiviste et a toujours considéré les biens naturels comme ses ressources illimitées malgré les premiers signaux d'alerte⁵⁰ apparus dès les années 1960. Quelques voix dissonantes, notamment celle d'Ivan Illich⁵¹, se sont aussi opposées au caractère socialement aliénant de cette organisation mais les bénéfices extraordinaires que l'humanité tirait de ce mode d'agir valait bien l'aliénation d'une fraction d'elle-même.

A ce stade, nous observons deux évolutions majeures qui font vaciller cette organisation technico-scientifique. La première est spéculative et porte sur l'avènement de la société numérique. Elle est théorisée par Jeremy Rifkin dans *La société du coût marginal zéro*. L'auteur formule l'hypothèse d'une transformation profonde des modes de production industrielle, grâce au développement des outils numériques de conception et de fabrication. Le développement des outils numériques comme moyen de communication et d'échanges, ainsi que la CFAO comme mode de production, permettra à chacun d'échanger les connaissances et les savoirs nécessaires à la fabrication locale de biens de consommation individualisés, selon ses besoins et ses désirs, sans être captif de la production industrielle. Jérémy Rifkin spéculé ainsi sur l'émergence d'une troisième révolution industrielle qui annulera les besoins de concentration et de massification de la production et par voie de conséquence mettra un terme à l'économie capitaliste. Une économie collaborative fondée sur le partage et la gratuité lui succéderait, avec des connaissances et des savoirs libres de droits échangés globalement sur les réseaux sociaux du *web*, puis adaptés et produits localement, selon les besoins de chacun. En supprimant la

⁵⁰ Carlson Rachel, *Silent Spring*, Houghton Mifflin, 1962; Mariner Books, 2002

⁵¹ Illich Ivan. *La convivialité*, Coll. Ed. du Seuil, Paris, 1973

standardisation nécessaire à l'amortissement de l'outil de production industriel, la CFAO remet aussi en question la normalisation de cette production et laisse entrevoir l'hypothèse d'un « artisanat » numérique capable de maîtriser l'objet, de sa conception à sa fabrication, à partir d'un unique fichier numérique dont le code source est libre, partagé et adaptable. Jérémy Rifkin construit ainsi l'hypothèse d'un âge III des technologies après l'âge artisanal et l'âge industriel. Nous devons tenter de repérer et de décrire les signaux faibles qui dans la pratique architecturale contemporaine annoncent l'apparition de ces nouvelles modalités de production pour en vérifier l'hypothèse et en analyser les conséquences.

La seconde évolution majeure qui remet en cause la rationalité technique dans laquelle nous vivons et par laquelle nous agissons sur le monde n'est plus une spéculation ni seulement 'une vérité qui dérange' mais désormais un consensus scientifique et politique. La crise écologique contemporaine que nous connaissons réinterroge l'évidence construite depuis l'époque moderne. En 1986, Ulrich Beck⁵² montrait pour la première fois que ce paradigme technico-scientifique construit initialement pour nous protéger des risques de la nature, des dangers qu'elle représentait pour l'humanité, avait atteint un stade tel qu'il constituait un nouvel environnement artificiel générant des risques peut-être bien plus grands que ceux dont il devait nous protéger. La récurrence des catastrophes industrielles comme celles de Bhopal, de Seveso, les niveaux de pollution constatés dans l'air, l'eau et les sols, les pluies acides, les marées noires, la baisse de la biodiversité, l'augmentation des cancers ou encore la catastrophe nucléaire de Tchernobyl en constituaient les marqueurs les plus visibles. Ulrich Beck n'avait pas encore entendu parler des travaux scientifiques du GIEC sur le réchauffement climatique et ses bouleversements éco-systémiques qui menacent désormais les conditions d'habitabilité de la planète. L'augmentation de la température du globe terrestre ne fait que confirmer ses inquiétudes en les aggravant.

Comme le suggérait Ulrich Beck de manière globale, nous pouvons identifier deux types de réactions dans notre domaine, l'une réformiste, l'autre radicale. La démarche réformiste est celle portée par les acteurs 'réguliers' de l'industrie du

⁵² Beck Ulrich, *La société du risque, sur la voie d'une autre modernité*, Ed. Flammarion coll. Champs essais, Paris 2001 (éd. originale 1986)

bâtiment et vise à amender la production pour la rendre moins nocive, moins polluante, moins consommatrice d'énergie, qu'il s'agisse des produits de construction ou des édifices eux-mêmes. Elle procède selon sa logique, par la réécriture de ses normes pour les adapter à cette nouvelle réalité. Cette attitude s'inscrit dans l'*aggiornamento* capitaliste de la 'croissance verte'. La seconde, marginale, porte une critique plus radicale du paradigme technico-scientifique, considérant que les problèmes posés par notre puissance technique ne sauraient être résolus par plus de sophistication technique, parce qu'*on ne peut pas résoudre un problème avec le même type de pensée que celle qui l'a créé*⁵³. Cette prise de position alternative appelle à la simplicité, à la frugalité et à la modestie dans nos manières d'agir, quitte à remettre en question nos exigences de confort. Elle s'inscrit dans le projet politique de la 'décroissance'. L'une comme l'autre marquent l'architecture contemporaine, même si la première est largement dominante et la seconde est encore un « signal faible » dont l'écho ne cesse cependant de s'amplifier médiatiquement au travers d'expositions, publications et événements alternatifs.

En raison même du principe de co-fabrication des différents constituants d'un milieu, nous devons reprendre conscience que l'architecture fabrique la technique autant que la technique fabrique l'architecture. Le projet d'architecture peut être entendu comme une réflexion critique sur l'art de bâtir, donc plus largement sur les moyens et dispositifs par lesquels nous agissons sur le monde, sur la nature des médiations que nous souhaitons entretenir avec notre environnement, mais aussi sur l'organisation sociale que nos manières d'agir impliquent. Nous devons montrer que l'expérimentation technique en architecture ne relève pas seulement d'un travail de recherche et développement pour s'approprier les innovations techniques industrielles d'un paradigme désormais vacillant mais aussi, et peut-être surtout, d'un travail d'élaboration critique et éthique pour inventer les nouvelles manières d'agir de l'ère postindustrielle.

⁵³ Einstein Albert, citation apocryphe

PARTIE II

L'ARCHITECTURE DE BOIS EN FRANCE DEPUIS 1950

Les hypothèses que nous avançons seront vérifiées sur le terrain de l'architecture de bois, en France, depuis 1950. Nous faisons le choix méthodologique d'aborder notre enquête à partir d'un unique matériau et de sa filière de production, dans un périmètre géographique précis, durant une période relativement courte, du moins au regard du temps long de l'histoire des techniques. Soit une unité de matière, de lieu et de temps. Le principe d'une entrée par le matériau présente l'avantage de ne pas présupposer une technologie particulière ni un mode d'expression architecturale. Il offre en revanche une cohérence initiale, « naturelle », à partir d'une matière première pour observer les évolutions de sa transformation, de ses modes constructifs et de ses formes architecturales, au cours d'une période qui est celle du passage du régime artisanal au régime industriel. Nos premières recherches sur le sujet, antérieures à ce travail de thèse, nées de nos activités d'architecte praticien et d'enseignant, ont mis en évidence une histoire des techniques spécifique au matériau, courte d'un demi-siècle et riche d'expérimentations successives qui ont fait passer les modes constructifs en bois de l'artisanat à l'industrie. Elles ont aussi montré, contrairement à une idée reçue, qu'il était possible de circonscrire le terrain d'enquête à l'expérience française, laquelle témoigne sans lacune de l'évolution européenne, au moins d'un point de vue qualitatif. Certes la quantité d'édifices en bois construits durant ce demi-siècle est plus importante dans les sphères germaniques et

scandinaves qu'en France, cependant les innovations majeures émergent presque simultanément dans les différents pays européens. Ces situations d'innovations majeures se constituent à la rencontre des innovations dans le champ des sciences et techniques et des mouvements architecturaux, définis par leur plateforme doctrinale. D'une manière analytique et décomposée, les inventions et innovations scientifiques et techniques sont, en première approximation et dans l'ordre de leur apparition chronologique : a) l'appropriation du matériau par les sciences de l'ingénieur, b) le développement des industries de transformation du matériau, c) l'importation dans l'Europe d'après-guerre du mode constructif à ossature légère nord-américaine au détriment des modes constructifs traditionnels, d) le développement de la fabrication industrielle d'édifices ou de parties d'édifices, e) l'*aggiornamento* écologique du secteur de la construction, favorable au bois, f) l'émergence dans le secteur de la construction de la Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO).

Parallèlement, les mouvements architecturaux rencontrés sont : 1) la modernité « industrielle » dont la plateforme doctrinale s'est constituée dans la première moitié du XX^{ème} siècle, 2) la modernité critique des années 1950 à 1970, 3) le courant de la postmodernité dans les années 1980, 4) l'architecture écologique, 5) l'architecture paramétrique. Ces deux dernières étant contemporaines et simultanées, mais *a priori* indépendantes.

Cette première expérience personnelle a constitué un socle préalable de connaissances sur le sujet qui nous permet de l'aborder avec un premier niveau d'expertise nécessaire aux analyses constructives des différentes études de cas qui alimentent la recherche. Ce travail de recherche s'inscrit alors logiquement dans le prolongement d'une démarche personnelle et recoupe nos réflexions élargies sur le couple architecture et technique.

Au regard de notre hypothèse, les trois arguments principaux de la pertinence du choix de ce terrain d'enquête sont a) son histoire architecturale et technique millénaire, b) le paradoxe d'une filière moderne industrielle qui se revendique écologique, c) la coexistence contemporaine de modes constructifs artisanaux, industriels et numériques.

Une histoire architecturale et technique millénaire

Le premier argument en faveur de la définition de ce terrain est que la construction en bois est riche d'une histoire millénaire, d'abord artisanale avant d'être industrielle, tandis que les matériaux phare de la modernité tels que le béton armé, le fer puis l'acier sont contemporains de l'avènement de l'industrie et n'existaient quasiment pas avant elle. Il n'existe que peu de culture artisanale de ces matériaux modernes. Ces matériaux sont des inventions de la révolution industrielle qui n'eurent pas à opérer l'acculturation technologique observable dans la filière bois dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle. Les raisons de la quasi-disparition du bois dans l'architecture dans la première moitié du XX^{ème} siècle sont assez peu scientifiquement documentées, néanmoins plusieurs faits sont avancés avec une constance qui autorise que nous en dressions ici un rapide inventaire. Le premier constat est celui la sensibilité patrimoniale des français favorable à la « construction en dur » héritée de la pierre et que le béton a généralisée. La construction en bois est culturellement perçu comme un acte précaire, non transmissible aux générations futures, qui sera donc longtemps cantonné aux installations provisoires. Le second constat est que l'industrialisation de la construction s'est d'abord réalisée avec ses matériaux contemporains, sur lesquels s'est constituée l'ingénierie naissante. Pour cette raison le fer puis l'acier et le béton armé furent plus aptes à répondre aux nouvelles performances requises par les programmes de la modernité, qu'il s'agisse des constructions de grande portée ou de grande hauteur. Les processus industriels de l'acier et du béton armé répondaient aussi beaucoup mieux que la filière bois aux exigences quantitatives de l'époque moderne car cette dernière n'était pas structurée pour répondre à une demande massive. Très vite les modes constructifs traditionnels en bois ont été dépassés, ringardisés par les matériaux modernes servis par les sciences de l'ingénieur, tandis que le corps des compagnons charpentiers opposait une résistance farouche aux procédés industriels qui remettaient en question les savoir-faire par lesquels la corporation contrôlait son monopole professionnel. La filière bois a raté le premier train de l'innovation industrielle parce que sa longue et riche culture a d'abord constitué un frein. Un troisième constat porte sur la

disponibilité de la matière et sa fiabilité. Alors que l'acier et le béton armé sont des matériaux industriels homogènes dont les dimensions et les qualités sont contrôlables, le bois est, à l'état naturel, un matériau dont les dimensions sont limitées à l'échelle de l'arbre dont il est issu et qui garde tous les défauts et les aléas de sa croissance, peu propices à la fiabilité et à la prédictibilité du comportement par le calcul.

Toutefois, une filière industrielle de construction bois apparaît, sous forme de signaux faibles, avec les constructions de baraques militaires de la première guerre mondiale¹, puis dans l'entre-deux-guerres, notamment avec les travaux de Konrad Wachsmann en Allemagne.² En France, le numéro 11 d'*Architecture d'aujourd'hui*³ de 1938 et les numéros 7-8 et 9-10 de 1942 de la revue *Techniques et Architecture*^{4,5} sont des numéros thématiques consacrés au bois et présentent essentiellement des dispositifs techniques industriels. Dès la fin de la seconde guerre mondiale, Jean Prouvé expérimenta de nombreux systèmes constructifs en bois⁶ mais ce n'est qu'à partir des années 1960 que l'acculturation sera accomplie et que les innovations technologiques feront suffisamment masse pour constituer une nouvelle filière de construction. Elle tire d'ailleurs la plupart de ses innovations d'un transfert de connaissances acquises par les sciences de l'ingénieur dans le domaine de la construction métallique. Nous aurons l'occasion de montrer dans notre recherche que cette nouvelle filière industrielle repose sur l'émergence de la technologie des bois collés et des assemblages métalliques, ainsi que sur le transfert en Europe du mode constructif nord-américain du *balloon frame*, lequel naquit avec la fabrication industrielle des clous au milieu du XIX^{ème} siècle. A l'échelle architecturale, ces deux technologies s'expriment, pour la première dans le développement d'un art de l'ingénieur des structures bois qui porte le matériau au niveau de performances

¹ Guillaume André (dir.) 'Le front de l'industrialisation de la construction' in *Les Cahiers de la Recherche Architecturale et Urbaine* n°28, Sept. 2013, Ed. du Patrimoine, Centre des Monuments Nationaux, Paris 2013, pp. 37-56

² Wachsmann, Konrad *Holzhausbau – technik und gestaltung*, Wasmuth Verlag AG, Berlin, 1930, réédité en langue allemande en 1980 par The Estate of Konrad Wachsmann et en 1995 en langue anglaise, Birkhauser Verlag, Basel.

³ AA n°11, Novembre 1938, thématique : « le bois et ses nouvelles applications dans la construction »

⁴ T&A n°7-8 Juil-Août 1942, thématique « Le bois I »

⁵ T&A n°9-10 Sept-Oct 1942, thématique « Le bois II »

⁶ Berthier Stéphane. « Timber in the buildings of Jean Prouvé : an industrial material » *JCHS* vol. 30-2, Cambridge, Octobre 2015, pp. 87-106

qu'avaient atteintes le béton armé et l'acier un demi-siècle plus tôt^{7,8}, et pour la seconde, dans l'émergence d'architectures de tourisme, de loisirs et d'habitations individuelles, au plus près d'une sensibilité à l'environnement qui ne s'appelle pas encore « écologie » mais qui conteste déjà les effets de la modernité infrastructurelle et militent contre le monopole de la filière du béton armé sur la fabrication de nos cadre de vie⁹. Ces deux types d'expressions architecturales à deux échelles différentes, expérimentent des procédés industriels qui n'ont plus grand-chose à voir avec les procédés artisanaux. Ces expressions architecturales sont innovantes, détachées des références à l'architecture bois traditionnelle. Elles présentent toutes les caractéristiques esthétiques de l'architecture moderne.

Après cette période de rattrapage de son retard industriel, après la mécanisation de ses procédés de transformation et de fabrication, la filière bois s'est découvert une nouvelle pertinence dès la fin du XX^{ème} siècle avec la prise de conscience de la crise environnementale contemporaine. Le bois est une matière première bio-sourcée et renouvelable, c'est-à-dire élaborée par l'énergie solaire et sa croissance opère par captage du carbone contenu dans l'atmosphère, transformant ainsi le dioxyde de carbone en matière organique et en oxygène. Par ailleurs, le lien entre la ressource et le territoire est à priori un lien fort, favorable aux développements déconcentrés et locaux, selon la répartition géographique des massifs forestiers. Le matériau tire donc de sa nature une série d'arguments favorables au développement durable à partir desquels il revendique une pertinence écologique que n'ont pas les matériaux de la modernité. Leur fabrication consomme en effet une grande quantité d'énergie fossile productrice de gaz à effet de serre et nécessite une organisation industrielle concentrée et déconnectée du territoire. Notre terrain d'enquête nous permettra donc d'observer un même matériau, d'abord perçu comme archaïque, qui a ensuite opéré avec retard sa mue moderne, avant de devenir un matériau phare de l'architecture écologique.

Les conditions de production de l'architecture de bois sont passées du régime artisanal avec ses outils manuels actionnés par la force humaine, au régime industriel

⁷ Lourdin Robert, *Construire de grands espaces à l'aide de structures en bois*, mémoire d'ingénieur du CNAM, dir. Jean Prouvé, Paris 1961

⁸ Lourdin R. *Structures spatiales en bois*, Cahiers du Centre d'Etudes Architecturales, Bruxelles 1969

⁹ Gauzit Nicole., Jean P., Pigeat J.P., Schweitzer R. *Maisons de bois*, catalogue de l'exposition, Centre Georges Pompidou/CCI, 1979

mécanisé servi des machines-outils qui ont décuplé la force de l'artisan mais standardisé la production. Dans le même temps la conception de l'architecture de bois est passée des savoirs empiriques des charpentiers aux savoirs scientifiques des ingénieurs. Le développement contemporain des outils à commande numérique transforme désormais les procédés industriels en décuplant la capacité de calcul de l'opérateur. Ces outils renforcent la puissance des machines industrielles en accélérant la production pour améliorer la productivité. Ils diminuent la nécessité de standardisation en abaissant le coût marginal de production toujours plus tôt dans la série. Ils offrent aussi la possibilité de réaliser à des coûts raisonnables des pièces géométriquement complexes, dont le potentiel morphologique ne cesse d'être exploré actuellement à l'échelle de l'architecture. Notons aussi que le matériau présente une tendreté qui le rend particulièrement aisé à travailler sur ces machines à commande numérique qui peuvent le fraiser, le percer, le tailler plus facilement que les métaux ou les matériaux minéraux. Ce n'est pas un hasard si un large pan des architectures dites paramétriques est désormais réalisées en bois, devenu un matériau *high-tech*.

Le paradoxe du bois moderne

Cependant, ce double attribut de matériau *high-tech* et de matériau écologique engendre une situation paradoxale. Depuis ses premiers développements industriels, la renaissance du matériau s'est constituée à partir de produits transformés tels que les contreplaqués, lamellé-collés et contrecollés. Ces produits procèdent tous d'une décomposition plus ou moins avancée de la matière première pour la recomposer en disposant ses fibres de manière artificielle, afin d'obtenir des performances meilleures en termes de résistance, de stabilité et de diminuer le risque d'aléas du matériau naturel (nœuds, fentes, gerçures etc.) et pour donner aux pièces de bois les formes et dimensions souhaitées. Ils standardisent la production des matériaux afin d'assurer leur prédictibilité par le calcul. Ils spécialisent la sylviculture et tendent ainsi à la concentration. Par exemple, la majorité des bois lamellé-collés produits en France le sont à partir des bois de Scandinavie qui, parce qu'ils poussent lentement eu égard au climat froid de la *Taïga*, présentent alors des troncs rectilignes aux cernes denses et réguliers, avec peu de défauts. De même, la précision des machines à commande numérique requiert des bois ou des panneaux de bois très calibrés et standardisés, pour la plupart reconstitués. Ces procédés changent la nature de la matière grâce à des transformations industrielles consommatrices d'énergie. Ces bois modernes sont aussi chargés de produits chimiques de traitement pour lutter contre les facteurs de biodégradabilité de la matière, que ce soit sous l'effet des insectes xylophages ou des champignons lignivores. Comme les colles, ces produits de traitement perdent certes peu à peu leur nocivité au fil de progrès de la chimie mais n'en restent pas moins toujours sujets à caution. Par exemple, les bois transformés ne peuvent toujours pas, pour la plupart d'entre eux, être recyclés après usage en bois-énergie car leur combustion dégage des substances toxiques. En fin de vie ces bois traités sont classés dans la catégorie des « déchets normaux » au même titre que nos ordures ménagères. Les caractéristiques technologiques qui ont fait du bois un matériau d'usage courant dans la construction sont aussi celles qui l'éloignent des qualités écologiques qui sont les siennes en tant que matière première et qu'il ne peut conserver que sous des formes non transformées, mal adaptées aux sciences de l'ingénieur comme aux outils de l'industrie.

Pourtant, le succès contemporain du bois repose sur ses qualités écologiques et sur les caractéristiques d'une filière supposée durable, c'est-à-dire soucieuse de l'équilibre des territoires et d'une plus juste répartition des richesses produites. Nous nous trouvons donc face à un matériau polymorphe, qui selon ses états de transformation couvre un large spectre de sens, depuis son état de 'matériau premier', brut, écologique et artisanal à un état contemporain de matériau *high tech*, transformé, traité chimiquement et utilisé dans les filières industrielles sous forme de 'produit'. Ce troisième argument valide la pertinence du choix de notre terrain. L'amplitude du spectre d'usage et d'interprétation du matériau engage autant la diversité des technologies utilisées que la variété des œuvres architecturales produites. D'un côté, le matériau est revendiqué de manière militante par des architectes qui critiquent les conditions de production contemporaines fondées sur une industrialisation aliénante et normative, tandis que d'autres exploitent ses propriétés modernes construites par les sciences de l'ingénieur au cours du XX^{ème} siècle, désormais servies par les outils numériques, poursuivant ainsi l'histoire architecturale du progrès technologique. Entre les deux extrémités de ce spectre existent de nombreux états intermédiaires qui cherchent un point de compromis entre les caractéristiques écologiques et industrielles du matériau.

Coexistence des modes technologiques artisanaux, industriels et numériques

Contre une vision simplificatrice qui tend à définir une histoire progressiste de la construction bois s'organisant en trois âges successifs¹⁰, artisanal, industriel puis numérique, nous devons montrer qu'en réalité ces trois modalités technologiques coexistent aujourd'hui dans la construction en bois. D'abord parce que l'émergence du numérique qui promet une liberté étonnante de création et ouvre une infinité d'innovations morphologiques est encore très majoritairement un outillage au service de l'amélioration de la productivité de l'industrie, qui devient simplement plus agile et plus rapide. Les outils numériques sont initialement des outils de l'industrie, nés dans les chaînes de montage automobile au Japon, dans les années 1980. On peut donc comprendre ces nouveaux outils comme des accélérateurs du paradigme technico-scientifique de l'industrie avant d'y voir un phénomène révolutionnaire qui ouvrirait un troisième âge des techniques. Toutefois les capacités des outils numériques réduisent la nécessité de la standardisation, autorisent les pièces uniques à des coûts acceptables et permettent même de redécouvrir des techniques d'assemblages d'origine artisanale. Ils éloignent donc le travail architectural d'un jeu de combinaisons à partir d'un nombre limité de pièces de catalogue à raccorder entre elles, caractéristique du régime industriel du XX^{ème} siècle. Les registres morphologiques que ces nouveaux outils explorent ne sont pas très différents des structures spatiales développées au XX^{ème} siècle même si elles gagnent en complexité. Par certains aspects, ces outils semblent nous offrir la possibilité de retrouver l'œuvre unique de l'artisan, mais de manière tout à fait différente puisque qu'il n'est pas question de refonder des conventions techniques et esthétiques entre une multiplicité d'acteurs mais de synthétiser cette multiplicité dans un unique fichier-source qui contient la forme, ses caractéristiques techniques, ses modalités d'exécution et d'assemblages. Avec toutes les questions d'organisation sociale et de répartition des richesses que ce mode de production soulève. Il est en effet possible

¹⁰ Buri Hani, Weinand Yves. "The tectonics of timber architecture in the digital age" in Kaufmann H. Nerdinger W. *Building with timber, path into the future*, Ed. Prestel, Munich 2012, pp. 56-63

que ceux qui détiennent ces outils complexes et savent les exploiter deviennent une minorité dominante, au détriment du plus grand nombre qui ne sera plus aliéné par les tâches répétitives des *Temps Modernes*, mais par sa propre inutilité.

L'autre évènement qui brouille les pistes d'une lecture de l'évolution des techniques en trois âges successifs est la responsabilité que porte l'industrie déterritorialisée et fortement consommatrice de ressources et d'énergie dans la crise écologique contemporaine. Face à ce constat, l'architecture de bois développe des doctrines architecturales militantes, favorables aux procédés simples, locaux et artisanaux mettant en œuvre une matière première pas ou peu transformée qui entreprend de repenser le couple ressources / technologies tel qu'il s'est développé depuis la révolution industrielle. En même temps, on constate que les outils numériques sont *hackés* ou détournés par une nouvelle génération qui critique notre dépendance à l'égard d'une production imposée par l'industrie des biens de consommation. Ces mouvements dit des *makers* ou du *Do It Yourself* revendiquent leur capacité à agir sur les choses grâce aux réseaux sociaux du net et aux outils de prototypage rapide, dont la banalisation permet désormais de fabriquer quantité d'objets divers au sein de structures communautaires comme les *FabLabs*.¹¹ La disponibilité du bois comme sa facilité de travail en fait le matériau privilégié de cette nouvelle forme d'artisanat numérique, fondé sur une posture politique qui réinterroge nos manières d'agir.

Nous avançons l'idée qu'il n'y a pas de progrès linéaire dans le développement technologique, dont témoigneraient nos édifices. L'évolution technologique en architecture n'est pas passée d'un régime artisanal à un régime industriel avant de rencontrer un régime numérique. Il n'y a pas de progressivité évidente. L'hypothèse d'Yves Weinand et Hani Buri selon laquelle l'architecture de bois se serait développée en trois âges successifs est séduisante mais probablement fausse.

Dans son ouvrage *The Shock of the Old*¹², l'historien anglais David Edgerton critique le fait que l'histoire des techniques est toujours écrite à partir d'un cadre d'interprétation centré sur l'innovation et non sur les usages des objets techniques. La relecture qu'il propose, en modifiant le cadre d'analyse lui permet de démontrer la coexistence continue de niveaux technologiques différenciés où l'archaïsme et le

¹¹ Rifkin, Jeremy *La société du coût marginal zéro*, Ed. Les Liens qui Libèrent, Paris 2014

¹² Edgerton David, *The shock of the old, technology and global history since 1900*, Ed. Profile Books LTD, London 2006.

high-tech, l'artisanal et l'industriel s'assemblent au gré des opportunités. Cette considération l'amène à formuler le concept de technologie « créole », faite d'assemblages a priori irrationnels du point de vue d'une approche techno-centrée, mais très efficace du point de vue des usages et des conditions économiques. David Edgerton cite pour l'exemple le roman *Texaco*¹³ de Patrick Chamoiseau qui narre le bidonville de Fort-de-France pour montrer sa construction créole, faite de produits industriels récupérés ici et là, détournés de leur fonction initiale, et de maçonneries traditionnelles ou de charpente bricolées. A travers le récit qu'en fait le narrateur, jeune urbaniste français chargé d'en réduire l'insalubrité par l'application des principes de la rationalité technique, l'auteur fait apparaître peu à peu l'efficacité des modes constructifs, leur histoire et leur cohérence avec les structures sociales que le quartier Texaco organise. Bien entendu cette lecture de l'hybridation technologique à partir d'un bidonville est un peu caricaturale. Mais elle indique que les niveaux technologiques coexistent en fonction du hasard des opportunités et des nécessités fonctionnelles. Nous tenterons de soutenir l'idée que l'expérimentation technique en architecture se distingue de l'expérimentation dans les sciences de l'ingénieur parce qu'elle assemble sans cesse des dispositifs technologiquement non-homogènes. Elle présente donc des caractéristiques spécifiques liés à cette « créolité » technologique, qui ne peuvent pas être observés dans le laboratoire, mais se rencontrent pourtant sur la plupart des chantiers de construction bois.

Ces trois approches du matériau bois, à travers son histoire millénaire, ses paradoxes contemporains et ses modes technologiques nous ont permis de reformuler notre problématique et notre hypothèse de l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques dans des termes spécifiques à ce terrain. Il convient maintenant d'en constituer une connaissance fine sur la période considérée, à partir d'un recueil des connaissances bibliographiques existantes et de leur forme de capitalisation.

¹³ Chamoiseau Patrick, *Texaco*, Ed. Gallimard, Paris 1992

Recherche exploratoire : l'état des connaissances architecturales et techniques.

Les recueils des connaissances portant sur l'architecture de bois à l'ère industrielle prennent plusieurs formes. Une première est celle des monographies d'architectes et des articles de revues qui chroniquent ses évolutions. Une seconde forme est celle des travaux scientifiques propres à la recherche en architecture ; nous compléterons cette catégorie de quelques bons travaux universitaires de niveau master qui, s'ils souffrent d'une absence de problématisation, n'en demeurent pas moins de bonnes sources documentaires. Une troisième forme est celle des ouvrages recueillant les techniques de construction bois. Une quatrième forme est celle des publications scientifiques sur le matériau bois et son ingénierie. Nous avons aussi constitué une cinquième forme, spécifique à notre recherche, en réalisant une série d'entretiens avec les acteurs historiques du renouveau de l'architecture de bois en France.

Dans un souci de cohérence en première approche, nous restituerons cette enquête selon l'organisation des connaissances communément admise, avec d'un côté les ouvrages, revues, exposition ou articles qui sont des propos sur l'actualité, l'histoire ou la théorie de l'architecture, et de l'autre les publications qui relèvent des sciences et techniques, censées être des moyens instrumentaux pour l'architecture. Dans les deux cas, nous présenterons ces sources dans l'ordre chronologique de leurs publications.

Les publications qui traitent de l'architecture de bois

Les premiers articles de revues faisant état d'une architecture moderne en bois remonte à 1938 avec le n° 11 d'*Architecture d'Aujourd'hui*¹⁴ intitulé « Le bois et ses nouvelles applications dans la construction », suivi des numéros 7-8 et 9-10 de *Techniques et Architecture*¹⁵ de 1942. Les dossiers « bois » de ces trois numéros sont réalisés sous la direction J. Campredon qui dresse un état actualisé des connaissances

¹⁴ AA n°11 Novembre 1938 : Thématique « Le bois et ses nouvelles applications dans la construction » sous la direction de J. Campredon

¹⁵ T&A n°7-8 Juil-Août et 9-10 de Sept-Oct 1942, thématique « Le bois I et II » sous la direction de J. Campredon

scientifiques et techniques du matériau bois ainsi que leur normalisation. Il présente aussi les nouveaux assemblages métalliques et les bois transformés tels que le système Hetzer, breveté depuis 1906, mais qui ne s'appelle pas encore lamellé-collé. Un panel de réalisations de grande portée illustre ces innovations présentées selon une organisation par typologie de structure : poutres droites, poutres composées, charpentes triangulées, systèmes à triple articulation, portiques, arcs et voutes légères. Le numéro 9-10 de *Techniques et Architecture* s'attache à décrire les réalisations en ossature bois dans le domaine de l'habitation. Après un rappel des constructions traditionnelles à pan de bois, la revue présente les nouveaux panneaux de bois dont la nature isotrope révolutionne la construction. De nombreux exemples de maisons sont présentées, préfabriquées ou non, comme la *Packaged House* de Gropius et Wachsmann, la villa Maiera d'Alvar Aalto ou encore les maisons BCC de Pierre Jeanneret et Jean Prouvé. On trouve aussi une large présentation de baraquements militaires standardisés et démontables réalisés en bois, signe de l'industrialisation naissante de la filière soutenue par l'effort de guerre. Les deux principales revues françaises ne publieront plus de numéros thématiques sur l'architecture de bois avant la fin des années 1970, mais intégreront régulièrement les innovations architecturales au fil des publications. On citera par exemple la publication de grandes structures en bois dans le numéro 99 de *l'Architecture d'Aujourd'hui*¹⁶ de décembre 1961 intitulé « Architectes et ingénieurs ». Une seule double page est consacré au matériau bois qui reste donc marginal mais on y découvre tout de même une coupole à nervures en lamellé-collé réalisée à Valley City aux USA par Clark, Elken, Holman et Fargo ; un marché en voile mince de type paraboloid hyperbolique à Drayton en Grande Bretagne par Robert Townsend ; une église à Amphion, en France, dont la charpente conçue par Maurice Novarina et Serge Ketoff est une pyramide constituée par quatre nappes triangulaires de réseaux de poutres croisées. Ces premières structures spatiales, signes de l'émergence d'un art de l'ingénieur dans le domaine du bois apparaissent donc aux USA, en Grande Bretagne et en France, contrairement à une idée reçue qui voudrait que l'Europe germanophone soit l'unique berceau de la construction moderne en bois. En février 1968, la même revue présente dans son numéro 136 les travaux sur les premières

¹⁶ AA n°99 Déc 1961, thématique « Architectes et Ingénieurs »

maisons industrialisées de Jean-Pierre Watel¹⁷. Le numéro 321 de *Techniques et Architecture*¹⁸ d'Octobre 1978 intitulé « Architectures de bois » s'organise en deux parties. La première rédigée sous la direction de Robert Lourdin est consacrée aux grandes structures en bois et notamment aux structures spatiales pour lesquels textes, images et dessins sont tirés de la publication de l'Institut de Recherches Architecturales sur les Structures Spatiales (IRASS) datant de 1969 et sur laquelle nous reviendrons plus loin. Une seconde partie est consacrée aux habitations en ossature bois avec des exemples puisés en France (Watel, Lajus, Gimonet) en Allemagne (Schunk), en Norvège (Lund et Slaato), en Finlande (Gullischen et Pallasmaa) et en Grande-Bretagne (Echenique). Toutes ces maisons présentent le point commun d'être réalisées avec le mode constructif de l'ossature légère, lequel est illustré en introduction par des dessins de principe tirés de l'ouvrage canadien *La construction à ossature-bois*, édité par les Industries Forestières de Colombie Britannique. Le travail de Jean Pierre Watel y est présenté sous la forme d'un article de trois pages intitulé « l'ossature bois : deux décennies d'expérimentation » qui revient sur ses travaux depuis les premiers prototypes présentés en 1968 dans *l'Architecture d'Aujourd'hui*. Une double page est consacrée à la présentation de sa maison Leymonerie, rebaptisée pour l'occasion « le prototype de Linselles ».

Un jalon essentiel de cette renaissance de l'architecture de bois est l'exposition « Maisons de bois »¹⁹ qu'organisa le CCI Georges Pompidou en 1979, sous le commissariat de Roland Schweitzer. Cette manifestation fit découvrir au grand public la modernité de la production architecturale en bois. Les œuvres américaines telles que le Sea Ranch de Moore, Lyndon, Turnbull et Taker datant de 1965 y côtoyaient la maison préfabriquée Moduli 225 des finlandais Gullischen et Pallasmaa de 1969, ainsi que les œuvres françaises de Gimonet et sa maison Laudat de 1968, de Lajus avec sa maison de Mérignac en 1976, ou encore Watel avec la maison Leymonerie de 1978. L'exposition faisait aussi une place importante à la présentation des nouveaux systèmes constructifs industriels, notamment en retraçant le travail de Jean Prouvé depuis la maison des Jours Meilleurs de 1956 jusqu'au Club des Jeunes qu'il bâtit à Ermont en 1966.

¹⁷ AA n°136, Février-Mars 1968 pp XLV-XLVI

¹⁸ T&A n°321, Octobre 1978

¹⁹ Gauzit *op.cit.*

Cette première période de la renaissance de l'architecture de bois en France est bien documentée par le mémoire de master *L'architecture bois en France, de la décadence au renouveau*²⁰ rédigé en 2008 à l'ENSA de Nancy par Alexandra Lambert, sous la direction de Jean-Claude Bignon. Ce document retrace l'émergence d'une architecture moderne de bois, en France, à partir des années 1960 en suivant le parcours de cinq principaux acteurs : Christian Gimonet, Pierre Lajus, Roland Schweitzer et Jean-Pierre Watel, précédés par Jean Prouvé. Ce mémoire est intéressant pour la qualité de son enquête systématique et le nombre d'œuvres répertoriées.

Une seconde période du renouveau de l'architecture de bois en France s'ouvre avec le mouvement pour l'Industrialisation Ouverte. Les numéros 327 de Novembre 1979 et 328 de Janvier 1981 *Techniques et Architecture* accorderont une large part aux réflexions sur l'adaptation de l'architecture de bois à ce nouveau paradigme industriel, avec une analyse des projets expérimentaux de Pierre Lajus à la Villa Morton à Bordeaux, de Jean-Pierre Watel à Villeneuve d'Ascq et de Christian Gimonet à Oizons et Dampierre-en-Crot dans le Cher. Les expériences des deux derniers ont aussi été relatées dans *Le Moniteur*²¹ du 13 Mai 1983. Un article de Jean-Pierre Watel intitulé « La filière bois, perspectives pour la maison » dans n°338 de *Techniques et Architecture*²² daté d'octobre 1981 insiste sur les qualités de la filière bois comme « gisement de productivité » dans l'économie de la construction individuelle. A l'appui de cet article, l'architecte lillois présente la maison Delage et l'opération de la Borne de l'Espoir à Villeneuve d'Ascq, en cours de chantier.

Le numéro de *Techniques et architecture*²³ n°347 de Mai 1983 intitulé « Le bois dans l'habitat, tradition ou rupture » revient sur ces réalisations expérimentales désormais terminées, et tente d'en dresser un bilan en publiant une longue interview croisée des principaux architectes engagés dans cette action. Un article de Jean-Michel Hoyet présente les qualités et les avantages du chantier « bois », en filière sèche

²⁰ Lambert Alexandra, *L'architecture bois en France, de la décadence au renouveau*, Mémoire de Master sous la direction de J.C. Bignon, ENSTIB / ENSAS, Strasbourg 2008

²¹ Le Moniteur du 13 mai 1983 « Construire avec le bois, deux expériences d'architectes : Christian Gimonet à Bourges et Jean-Pierre Watel à Lille » pp.54-58

²² Watel Jean-Pierre « La filière bois, perspectives pour la maison » T&A n°338 Octobre 1981, pp. 93-96

²³ T&A n°347 Mai 1983, thématique « Le bois dans l'habitat, traditions ou ruptures ? »

comparativement à la filière de la maçonnerie. Un second article rédigé par Roland Schweitzer et intitulé « Le bois, un matériau structurant » souligne l'importance de la maîtrise de la construction dans la conception de l'architecture de bois, d'une part parce que la construction bois repose sur des systèmes à ossatures qui influencent directement la composition architecturale, et d'autre part parce que le bois est un matériau sensible qui doit être protégé. Le même numéro comporte aussi un article du suédois Bjorn Ericsson « la maison à ossature bois, un phénomène européen » qui analyse le renouveau de la maison à ossature bois à l'échelle du continent.

Nous disposons aussi de publications scientifiques sur cette période avec les recherches que mena le Plan Construction sur l'Industrialisation Ouverte entre 1971 et 1983. La filière bois était une des hypothèses de travail de cette action publique. Même s'il n'existe pas de contrat de recherche spécifique à la filière, nous pouvons lire un certain nombre d'analyses sur les réalisations expérimentales en bois construites dans ce cadre, par Pierre Lajus, Christian Gimonet et Jean Pierre Watel. Ces réflexions sont compilées dans l'ouvrage de Pierre Charon et Denis Grèzes *Industrialisation Ouverte : recherches et expérimentation 1971-1983*²⁴ qui synthétise douze années de contrats de recherche et de réalisations expérimentales sur ce sujet. Il permet de resituer le travail des « pionniers » de l'architecture de bois dans le contexte des réflexions technologiques de l'époque.

Sur le même sujet, Jean-Claude Bignon et François Lausecker, enseignants-chercheurs à l'École d'Architecture de Nancy ont publié en 1983 *La maison à ossature bois, fichier synoptique d'opérations*²⁵ qui compile une série d'analyses constructives très détaillées de réalisations contemporaines dont l'opération expérimentale de Jean-Pierre Watel à Villeneuve d'Ascq.

Il faut aussi citer le mémoire d'Histoire de l'Art *Les maisons à ossature bois, deux exemples en Aquitaine : la villa Morton et Villaboiss*²⁶ rédigé par Alix Crouzet à l'Université Montaigne à Bordeaux en 2004 sous la direction de Michel Saboya. Ce

²⁴ Charon Jean-Pierre et Grèzes Denis, *Industrialisation ouverte, recherche et expérimentation 1971-1983*, Plan Construction et Habitat, Paris 1983

²⁵ Bignon Jean-Claude, Lausecker François, *La maison à ossature bois, fichier synoptique d'opérations*, Ecole d'Architecture de Nancy, 1983

²⁶ Crouzet Alix *Les maisons à ossature bois, deux exemples en Aquitaine : la villa Morton et Villaboiss*, 3 tomes, Mémoire de maîtrise d'Histoire de l'Art sous la dir. de M. Saboya, Université Montaigne Bordeaux III, 2004

travail apporte une documentation exhaustive et très détaillée sur ces réalisations en bois de la période 1983-84.

La publication thématique « Architecture de bois » de *Techniques et Architecture*²⁷ n°365 d'Avril 1986 présente les œuvres de Roland Schweitzer depuis 1968 et dessine un panorama de l'actualité internationale de l'architecture résidentielle en bois sous l'influence stylistique de la postmodernité. Un article de Julius Natterer présente un bilan en demi-teinte d'une filière constructive désormais structurée, mais dont la faible taille ne lui a pas encore permis d'être concurrentielle.

La monographie *Habiter le bois*,²⁸ publiée par le Ministère de l'Équipement en 1986, montre une soixantaine de petits collectifs en bois financés avec le soutien de l'État après la période des réalisations expérimentales de l'Industrialisation Ouverte. Mais cette monographie est avant tout une publication promotionnelle des acteurs publics qui valorisent leurs investissements dans la filière bois. *De facto*, les analyses très positives qui y sont présentés sont sujettes à caution. L'ouvrage a au moins le mérite de témoigner d'une certaine banalisation de la construction bois dans le domaine du logement social et de montrer que l'époque est dominée par les styles architecturaux de la postmodernité.

Alors que les analyses des précédents numéros de *Techniques et Architecture* étaient basées sur des édifices d'habitation de taille modeste, son numéro 404 de Novembre 1992 présente un grand nombre d'équipements et de logements collectifs d'importance. Il dessine le panorama d'une production diversifiée en termes de programmes, d'échelles et de situations géographiques. Le propos insiste sur la banalisation de l'architecture de bois dans la production contemporaine et sa normalisation technique.

En 1994, le Pavillon de l'Arsenal organisa à Paris l'exposition « Le bois, essences et sens », sous l'autorité de Bernard Marrey. Son catalogue *Histoires de bois*²⁹ rédigé en collaboration avec Roland Schweitzer est jalonné d'œuvres d'exception et présente un panorama de la diversité de l'architecture de bois, à travers le monde et à travers le temps. Son approche est avant tout historique et culturelle.

²⁷ T&A n°365 Avril-Mai 1986, thématique « architectures de bois »

²⁸ Schweitzer Roland (sous la dir.), *Habiter le bois*, Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du territoire et des Transports, CSTB, 1986

²⁹ Marrey Bernard (Dir) Schweitzer Roland, *Histoire de bois*, catalogue de l'exposition *Le bois, essences et sens* organisée par le Pavillon de l'Arsenal, Ed. Picard, 1994

La même année, le CNDB (Comité National pour le Développement du Bois) lança la revue *Séquences Bois* revue bimensuelle spécialisée dans l'architecture de bois, en référence aux célèbres *Bauen mit Holz* allemande ou *Puu* finlandaise. Sa mission était de former les architectes à la bonne conception des ouvrages en bois, suite au grand nombre de malfaçons constatées lors de la vague de constructions du des années 1980. Le succès de cette publication a conduit l'organisme syndical de la filière bois à éditer à partir de 1995 et pendant quelques années *Détails bois*, pour approfondir la dimension technique de l'architecture de bois. L'objectif de *Séquences Bois* est de promouvoir l'architecture de bois auprès des architectes et des maîtres d'ouvrage. Après la disparition de *Techniques et Architecture*, *Séquences Bois* est désormais la seule revue française à accomplir ce travail de présentation des innovations techniques.

Toutefois, le numéro 347 de l'*Architecture d'aujourd'hui*³⁰ daté de juillet 2003 est dédié au matériau bois. Cette publication thématique est introduite par un article d'Axel Sowa qui saisit assez justement l'ambiguïté entre la revendication écologique du matériau et ses formes transformées qui en font un matériau *high tech*. La revue présente un dossier sur les innovations à haute valeur ajoutée, comme les matériaux composites, extrudés, moulés par injection etc. Les projets publiés illustrent le spectre des possibilités du matériau, depuis les charpentes frugales de Jacques Anglade jusqu'aux expressions de l'architecture paramétrique de Kuzmin et Savinkin à Moscou.

En 2015 paraît *Roland Schweitzer, un parcours d'architecte*³¹, monographie testamentaire et exhaustive de l'œuvre d'un pionnier du renouveau de l'architecture de bois, laquelle représente *in fine* moins de 5% de sa production. Seul Pierre Lajus avait avant lui fait l'objet d'un hors-série de la revue *Architecture à Vivre*³², « Pierre Lajus, itinéraire d'un pionnier » en décembre 2007, et qui rassemblait pour la première fois les divers projets d'habitation en bois de l'architecte bordelais. Notons qu'en septembre 2013, les *Cahiers de la Recherche Architecturale et Urbaine*³³ ont publié dans leur numéro 28 un article intitulé « Le front de l'industrialisation de la

³⁰ AA n°347 Juil-Août 2003 thématique « bois »

³¹ Schweitzer Roland, *Roland Schweitzer, un parcours d'architecte*, Ed. Arsign, Paris, 2014

³² Architecture à vivre Hors-Série Maisons Bois, Décembre 2007 « Pierre Lajus, parcours d'un pionnier »

³³ Guillerme, *op.cit.*

construction », sous la direction d'André Guillerme. Cette recherche découvre les prémisses d'une industrialisation de la construction en bois pour les baraquements militaires démontables au cours de la première guerre mondiale, nous obligeant à reculer d'une quinzaine d'années la datation des premières formes d'industrialisation du matériau.

La période contemporaine dispose désormais d'une offre pléthorique de monographies portant sur l'architecture de bois. Ces publications mettent régulièrement en évidence les deux aspects les plus actuels du matériau : son caractère écologique d'une part, et son aptitude à concrétiser les architectures dites paramétriques d'autre part. Nous ne retiendrons que deux d'entre elles qui font références, chacune dans leur domaine.

*L'architecture écologique du Vorarlberg*³⁴ de Dominique Gauzin-Müller est sans conteste l'ouvrage monographique de référence concernant l'architecture de bois à l'ère de l'écologie. Elle retrace la renaissance de la filière bois de ce land autrichien, depuis les premiers chocs pétroliers jusqu'à nos jours et met en évidence les arguments de la construction bois au regard des nouvelles exigences environnementales. Elle montre aussi comment cette filière s'est développée en cohérence avec son territoire, générant localement un savoir-faire à haute valeur ajoutée.

Le catalogue de l'exposition *Timber Project : nouvelles formes de l'architecture de bois*³⁵ organisée en 2010 sous la direction d'Yves Weinand, directeur de l'IBois de l'EPFL, explore le potentiel du bois pour la réalisation des architectures aux formes non standard, conçues et fabriquées numériquement. Ce travail de l'IBois entrepris depuis 2005 renouvelle les axes de recherches du laboratoire après le départ de son fondateur Julius Natterer, qui consacra sa carrière à transformer un matériau archaïque en un matériau moderne, grâce aux sciences de l'ingénieur.

Un cours sur l'architecture de bois

Nos recherches ont mis en évidence l'existence d'un cours sur l'architecture de bois, donné par Roland Schweitzer à l'École d'Architecture de Paris-Tolbiac depuis la fin

³⁴ Gauzin-Müller Dominique *L'architecture écologique du Vorarlberg*, Ed. du Moniteur, Paris 2009

³⁵ Weinand Yves *Timber Project*, PPUR, Lausanne, 2010

des années 1970, puis à l'EPFL dans le cadre des enseignements de l'IBois dirigé par Julius Natterer à partir de 1988 jusqu'à la fin des années 1990. Des fragments de ce cours sont publiés dans les ouvrages précédemment cités comme le catalogue de l'exposition *Maisons de bois*³⁶ en 1979, l'ouvrage *Habiter le bois*³⁷ en 1986, en introduction de la seconde édition de *Construire en bois*³⁸ de Julius Natterer en 1994, en introduction du catalogue de l'exposition *Le bois, essences et sens*³⁹ organisée en 1999 par le Pavillon de l'Arsenal à Paris, dans la monographie *Roland Schweitzer, un parcours d'architecte*⁴⁰ ou encore présentés plus récemment lors de la conférence qu'il a donnée en Septembre 2015 à Blois dans le cadre de la biennale *Nature et Paysage : l'arbre*. Ce cours est dans une large mesure une histoire mondiale de l'architecture de bois, avec une part importante accordée à l'étude de l'architecture traditionnelle japonaise et sa technologie poteau-poutre. La présentation des œuvres étudiées ne dissocie jamais la forme architecturale de ses technologies de construction indiquant en creux une idée de consubstantialité entre les deux catégories d'analyse dans une démarche assez proche de *l'Histoire de l'Architecture*⁴¹ d'Auguste Choisy.

Les publications qui traitent des sciences et techniques de la construction en bois

Le premier ouvrage de technologie de construction à l'ère industrielle est *Holzhausbau – technik und gestaltung*⁴² de Konrad Wachsmann, paru en 1930, dans lequel l'auteur décline les différents modes constructifs en bois, construction en bois massif, poteau-poutre, pan de bois et ossature légère, ainsi que les conditions industrielles de cette dernière. L'auteur présente de nombreux exemples détaillés de maisons préfabriquées, réalisées industriellement dans le cadre de son activité de *Chefarchitekt* au sein de l'*Holzbaufabrik Christoph & Unmarck AG* à Niesky, et

³⁶ Gauzit, *op. cit.*

³⁷ Habiter le bois, *op. cit.*

³⁸ Natterer Julius (dir) *Holzbaue Atlas* Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München 1978 traduit en français sous le titre *Construire en bois*, Presse Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne 1987

³⁹ Marrey, *op.cit.*

⁴⁰ Schweitzer *op. cit.*

⁴¹ Choisy, Auguste *Histoire de l'Architecture*, Ed. Gauthier-Villars, Paris 1899

⁴² Wachsmann, Konrad *Holzhausbau – technik und gestaltung*, Wasmuth Verlag AG, Berlin, 1930, réédité en langue allemande en 1980 par The Estate of Konrad Wachsmann et en 1995 en langue anglaise, Birkhäuser Verlag, Basel.

notamment celle de son ami Albert Einstein à Berlin. Cet ouvrage démontre que la technologie de l'ossature légère en bois et les conditions de son industrialisation sont acquises en Europe dès 1930. Il constitue aussi une présentation très intéressante de l'architecture moderne germanique de l'entre-deux guerres. Ce n'est donc pas un hasard si Wachsmann travaillera avec Walter Gropius après leur immigration aux USA suite à l'arrivée du nazisme en Allemagne. A partir de 1941, ils réalisèrent ensemble le projet la *Packaged House*, maison en bois entièrement industrialisée, produite par la *Général Panels Corporation*, créée par Wachsmann pour l'occasion. Le système constructif de cette maison ainsi que le process industriel de sa production en série seront détaillés dans *Wendepunkt im Bauen*⁴³ que Wachsmann publiera en 1959. Cet ouvrage présentera les avancées de l'industrialisation de la construction, toutes filières confondues.

Nous avons précédemment montré que ces technologies furent diffusées en France grâce aux revues *l'Architecture d'Aujourd'hui* et *Techniques et Architecture* respectivement en 1938 et 1942 sous la direction de J. Campredon. Ce dernier publia chez Dunod en 1948 *Le bois, matériau de la construction moderne*⁴⁴ qui synthétise les avancées scientifiques et technologiques de la première moitié du XX^{ème} siècle qui permettent l'emploi courant du bois dans la construction. La plupart des technologies industrielles que nous connaissons aujourd'hui y sont présentées, même si le lamellé-collé n'a pas encore rencontré les colles résorcines qui feront de lui le matériau dominant de la filière bois après 1958. Cet ouvrage de Campredon nous informe que l'élaboration d'un corpus de connaissances physico-mécaniques bénéficia de la curiosité des premiers savants de la Renaissance, de la recherche organisée de la connaissance des Encyclopédistes, jusqu'aux recherches scientifiques modernes. Il faut selon lui remonter à Galilée au XVI^{ème} siècle pour trouver les premières tentatives de fixer par des données numériques les caractéristiques d'emploi des bois, puis citer les ouvrages de Parent en 1707 : *Expériences sur la résistance des bois de chêne et de sapin* ; de Buffon en 1740 : *Expériences sur la force des bois quarrés* ; de Duhamel du Monceau, de la Marine Royale, en 1767 : *Du transport, de la conservation et de la force des bois* ; de Poncelet en 1777 : *Essais*

⁴³ Wachsmann Konrad. *Wedenpunkt im bauen*, Ed Verlag, Wiesbaden 1959

⁴⁴ Campredon J. *Le bois, matériau de la construction moderne*, Dunod, Paris 1948

sur le flambage des poteaux en bois ; ou encore l'ouvrage de Dupin de l'Ecole Polytechnique en 1815 : *Expérience sur la flexibilité, la force et l'élasticité des bois* . A partir de 1850 se créent les premiers véritables laboratoires d'essais de matériaux, d'abord avec celui de l'Ecole des Ponts et Chaussées, puis celui de la Ville de Paris en 1870 et la création en 1894 de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts de Nancy. Mais c'est durant l'entre-deux-guerres que va se constituer la connaissance moderne du matériau, avec en France M. Monnin qui crée dès 1918 le Laboratoire Aéronautique Militaire, dédié à la mise au point de matériaux bois pour l'aviation naissante, dont les méthodes d'essais physiques et mécaniques sont encore à la base des essais normalisés contemporains⁴⁵. C'est sans aucun doute les besoins liés à des domaines d'application nouveaux tels que l'aéronautique militaire qui accélèrent les recherches scientifiques, pour tenter de décrire et caractériser un matériau naturel anisotrope, hétérogène dans sa section, de l'aubier au cœur, et dont les défauts naturels sont nombreux : nœuds, anomalies de croissance, fibres torsées, fentes, décollement, gerces, blessures, biodégradabilité etc. De la même manière, les connaissances en matière de séchage accéléré des bois et de protection chimique contre les champignons lignivores et les insectes xylophages sont élaborés entre-deux-guerres ; les ouvrages cités par Campredon s'y rapportant sont datés à partir de 1921. Les premiers essais mécaniques sur les assemblages métalliques sont datés de 1925. En 1930 Campredon créa l'Ecole Forestière Nationale, qui deviendra l'Institut National du Bois puis le Centre Technique du Bois et enfin l'institut technologique FCBA que nous connaissons aujourd'hui. En 1942 sont éditées les premières normes AFNOR B 5-22 : *Propriétés physiques et mécaniques du bois*. Les développements scientifiques à l'étranger suivent sensiblement la même chronologie. On citera pour l'exemple les ouvrages de F. Kollmann « *Technologie des Holzes* » en 1936 ; A. Mac Elhannay : *Les bois du Canada et leurs propriétés, leurs usages* en 1940 ; L. Markwardt : *Wood as an engineering material* en 1943 ou encore F. Henderson : *Timber, its properties, pests and preservation* à Londres en 1945. En 1961, Robert Lourdin présenta sa thèse de fin d'étude du CNAM sous la direction de Jean Prouvé, intitulée *Construire de grands espaces à l'aide de structure en*

⁴⁵ Monnin M. « Essais physiques, statiques et mécaniques des bois » *Bulletin de la Section technique de l'aéronautique militaire*, fascicules 29 et 30, juin-juillet 1919

*bois*⁴⁶, fruit des recherches sur les techniques du lamellé-collé que lui avait confié J. Campredon alors directeur du Centre Technique du Bois (CTB). En 1969, le même Robert Lourdin coordonne un colloque de l'Institut de Recherche Architecturales sur les Structures Spatiales (IRASS) dirigé par Robert Le Ricolais. La restitution de cette rencontre publiée par les *Cahiers du Centre d'Etudes Architecturales de Bruxelles*⁴⁷ présente l'analyse d'une dizaine de réalisations de grande portée en bois dont la conception révolutionnaire témoigne de la naissance d'un art de l'ingénieur des structures bois. Notons ici que l'ouvrage d'Antoine Picon *L'art de l'ingénieur*⁴⁸, catalogue de l'exposition éponyme organisée par le Centre Pompidou en 1997 a fait l'impasse sur cette production comme sur le bois moderne en général.

En 1977 la Librairie des Compagnons du Devoir publia la somptueuse *Encyclopédie des métiers de la charpente et de la construction bois*⁴⁹ en 10 tomes et plusieurs milliers de pages qui retrace l'histoire des techniques de construction bois à travers les âges et recueille toutes les évolutions technologiques depuis les débuts de l'industrialisation de la filière : un tome est consacré aux ossatures légères industrialisables et un autre aux grandes structures, rédigé par Robert Lourdin. Il n'existe pas à notre connaissance d'ouvrages techniques plus complet et mieux documenté que celui-ci. La variété des études de cas à travers l'histoire en fait à lui seul une leçon d'architecture.

Julius Natterer, tout juste nommé professeur à l'EPFL publia en 1978 *Holzbau Atlas*⁵⁰ qui sera traduit en français en 1987 sous le titre *Construire en bois*, aux Presses Polytechniques Universitaires Romandes. L'ouvrage s'appuie essentiellement sur la production de la sphère germanique pour exposer les différentes technologies modernes pour les charpentes et la construction bois. Il n'apporte pas d'éléments nouveaux par rapport à *l'Encyclopédie des métiers de la charpente et de la construction bois*⁵¹ mais son format synthétique, son organisation proche du cours que l'auteur donnait à l'EPFL et son prix abordable en ont fait véritablement

⁴⁶ Lourdin, *Construire de grands espaces à l'aide de structures en bois*, op.cit.

⁴⁷ Lourdin, *Structures spatiales en bois*, op. cit.

⁴⁸ Picon Antoine, *L'art de l'ingénieur*, Ed centre Pompidou, Paris 1997, catalogue de l'exposition éponyme

⁴⁹ Coll. *Encyclopédie des métiers de la charpente et de la construction bois*, Lib. du Compagnonnage, Paris 1977

⁵⁰ Natterer, op. cit.

⁵¹ Coll. *Encyclopédie des métiers op. cit.*

l'ouvrage de référence par lequel toute une génération d'architectes a découvert la construction bois moderne.

Toutefois, les éditions du Moniteur avaient aussi publié en 1978 *Les systèmes constructifs en bois*⁵² traduction de l'ouvrage allemand *Holzbau system* de Rudolf Muller édité la même année à Cologne. Ce document reprend sous la forme d'un guide des bonnes pratiques constructives tous les acquis en matière d'ossature bois légère depuis Konrad Wachsmann en les actualisant.

Par comparaison, le guide *Construction de maisons à ossature bois*⁵³ publié en 1979 à Montréal n'apporte pas de modalités technologiques différentes des ouvrages européens que nous venons de citer. Nous pouvons considérer que la construction bois à ossature légère héritière du *balloon frame* américain s'est généralisée et banalisée dans le monde occidental.

Les recherches scientifiques fondamentales sur le matériau se poursuivent aujourd'hui avec par exemple les travaux sur la chimie du bois que mènent Béatrice Georges et Dominique Perrin au laboratoire d'études et de recherches sur le matériau bois (LERMAB) à l'Université de Lorraine ou ceux sur ses caractéristiques physico-mécaniques au laboratoire de génie des procédés et matériaux dirigé par Patrick Perré à l'Université de Paris-Saclay.

Dans le domaine des sciences appliquées, on citera par exemple la publication du *Guide pour la conception des ouvrages d'art en bois*⁵⁴, sous la direction de Robert Le Roy, édité en 2013 par l'Association Française de Génie Civil, qui dresse un état actualisé des connaissances de la matière elle-même, des règles de dimensionnement, des typologies d'assemblages et des typologies structurelles.

L'IBois de l'EPFL développe quant à lui de nouveaux types de structures bois, à géométries complexes, à l'interface de plusieurs disciplines, mathématiques, informatique, génie civil et architecture comme en témoignent les thèses soutenues depuis l'arrivée d'Yves Weinand à la tête de ce laboratoire en 2005.

⁵² Pracht Klaus, *Holzbau-systeme* Verlagsgesellschaft Rudolf Muller Köln 1978, traduit en français sous le titre *Les systèmes constructifs en bois*, Ed. du Moniteur Paris 1978

⁵³ Coll. *Construction de maison à ossature bois – Canada*, Société Canadienne d'Hypothèques et de Logement, 1979

⁵⁴ Le Roy Robert (dir) *Guide pour la conception des ouvrages d'art en bois*, Association Française de Génie Civil, Paris, 2013

Des cours de construction bois à destination des architectes

A la fin des années 1990, le Centre National pour le Développement du Bois (CNDB) a mis en œuvre une politique de formation des acteurs de la construction bois en France. D'abord avec le lancement des revues *Détails bois* et *Séquence Bois* dont nous avons parlé ci-avant, mais aussi par un dispositif de formation continue à destination des entreprises, des architectes, ingénieurs, maîtres d'ouvrages et pour ce qui nous concerne, des enseignants. Ces cours avaient pour but de pallier les lacunes des professionnels. Ces formations, toujours actives, procèdent par public pour cibler au mieux les connaissances nécessaires à chacun. Nous avons par exemple personnellement suivi en 2009 les cours organisés pour les enseignants des écoles d'architecture qui nous ont permis de diffuser ces connaissances techniques auprès des étudiants.

Cinq entretiens

Une série de cinq entretiens a été menée au début de cette recherche, avec les architectes identifiés comme les pionniers de la renaissance de l'architecture de bois : Christian Gimonet⁵⁵, Pierre Lajus⁵⁶, Roland Schweitzer⁵⁷, Jean-Pierre Watel⁵⁸, mais aussi avec Robert Lourdin⁵⁹, pionnier de l'ingénierie du matériau. Ces entretiens, joints en annexe, nous ont permis de croiser nos sources écrites avec des sources orales « de première main », et de les compléter. Nous avons principalement orienté nos entretiens sur a) les motivations personnelles qui les avaient conduit à s'engager dans l'architecture de bois et leurs sources d'inspiration, b) l'état des connaissances techniques sur lesquels ils avaient entrepris ce travail innovant, c) leur expérience des Réalisations Expérimentales lancées dans le cadre de l'Industrialisation Ouverte d) leur participation à Villabois, e) l'aide qu'ils pouvaient nous apporter pour reconstituer la traçabilité de la renaissance de l'architecture de bois. L'entretien avec Robert Lourdin architecte et ingénieur, maladroitement entrepris pour recueillir son témoignage sur les architectes ci-avant cités nous a fait découvrir cinquante ans d'aventure de l'ingénierie des structures en bois. Son apport au renouveau du

⁵⁵ Berthier S. *Entretien avec Christian Gimonet*, Bourges, le 2 mars 2011, cf annexes p. 438

⁵⁶ Berthier S. *Entretien avec Pierre Lajus*, Mérégnac, le 15 février 2011, cf annexes p. 419

⁵⁷ Berthier S. *Entretien avec Roland Schweitzer*, Paris, le 10 février 2011, cf annexes p. 412

⁵⁸ Berthier S. *Entretien avec Jean-Pierre Watel*, Villeneuve d'Ascq, le 28 février 2011, cf annexes p. 427

⁵⁹ Berthier S. *Entretien avec Robert Lourdin*, Paris, le 7 Juillet 2011, cf annexes p. 445

matériau, ses travaux sur les bois lamellé-collé menés pour le CTB, puis ses recherches sur les structures spatiales en collaboration avec Robert le Ricolais en font un pionnier de l'ingénierie du bois une décennie avant que Julius Natterer ne fit de même en Suisse. Malheureusement la diffusion de sa production est restée confidentielle, du moins du point de vue de la culture architecturale. Robert Lourdin est resté tout au long de notre recherche un consultant précieux, tant pour sa grande culture architecturale et technique du bois que pour la pertinence de ses analyses. Ces cinq entretiens sont annexés à cette thèse dans la mesure où ils sont des recueils de connaissances historiques originales, de première main, qui nous ont aidé à tracer la généalogie du renouveau de l'architecture de bois.

C'est donc sur ce terrain fertile, complexe et parfois paradoxal, mais circonscrit dans le temps et dans l'espace, que nous nous attacherons à démontrer que l'architecture est un milieu d'expérimentation des innovations techniques, bien plus qu'un simple domaine d'application. Notre enquête mettra en évidence l'existence d'un travail constant et régulier d'expérimentation technique en architecture qui fabrique la technique bien autant que cette dernière fabrique l'architecture. Nous nous attacherons à définir rétroactivement les hypothèses, les modalités, les modes d'évaluation et de capitalisation des connaissances de ces processus expérimentaux pour tenter de dessiner les contours de la notion d'expérimentation technique en architecture, dans le cas précis du matériau bois.

Nous viserons aussi à redéfinir la technique non plus comme un ensemble de moyens instrumentaux, neutres et objectifs inventés *ex-nihilo*, mais à la montrer comme le projet de nos manières d'agir sur le monde et de notre organisation du travail. Nous vérifierons cette hypothèse en observant, depuis la production architecturale, les principales situations d'innovations majeures identifiées ci-avant.

Plus précisément, nous observerons depuis la production architecturale pourquoi et comment s'est mise en place une production industrielle de matériaux transformés et d'édifices les mettant en œuvre. Nous tenterons de montrer que la renaissance de l'architecture de bois a nécessité l'industrialisation de la filière comme condition formulée *sine qua none*. En retour, nous détaillerons comment ses outils mécaniques ont généré un ensemble de semi-produits, de composants et de sous-systèmes

industrialisés qui sont peu à peu devenus les « matériaux » de cette renaissance dans la seconde partie du XX^{ème} siècle et ont changé profondément l'organisation sociale du travail comme la production architecturale. Nous nous attacherons aussi à étudier comment les nouveaux outils numériques amplifient d'abord mais transforment aussi, peut-être radicalement, la production industrielle parce qu'ils offrent l'occasion d'agir différemment, d'imaginer de nouvelles formes architecturales mais aussi d'autres organisations du travail. Enfin nous observerons les critiques que la conscience écologiste formule au paradigme industriel du XX^{ème} siècle et les alternatives techniques, architecturales et sociales qu'elle propose.

PARTIE III

METHODOLOGIE DE RECHERCHE

Comment aborder de manière organisée et méthodique la diversité des phénomènes de l'expérimentation technique en architecture, pour pouvoir la caractériser ?

Primo, d'un point de vue diachronique, notre terrain traverse des époques différentes, marquées par une évolution des outils de production, de l'artisanat à l'industrialisation et ses moyens mécaniques puis numériques. Il est aussi déterminé par l'évolution des doctrines architecturales de la modernité à la postmodernité, de la foi dans le progrès technologique à sa critique, d'abord sociale et culturelle, puis environnementale. Il témoigne enfin de changements majeurs dans l'organisation du travail, de la corporation artisanale des Compagnons du Devoir au salariat de l'industrie et interroge désormais les structures du travail à l'ère postindustrielle.

Secundo, de manière synchronique, notre terrain présente des réalisations à des échelles variées, des grandes structures d'équipements aux opérations d'habitation. Même au sein de ces dernières, quoi de comparables entre une maison individuelle en milieu rural et un immeuble de logement en ville ? Les modes de conception comme les outils de fabrication sont fonction de l'échelle des constructions.

Tertio, comme nous l'avons montré précédemment, chaque expérience architecturale porte sa part plus ou moins grande de singularités qui rend à priori difficile l'analyse d'un phénomène « à toutes choses égales par ailleurs ». D'autant que c'est

précisément sur le terrain de l'architecture que nous nous situons, et non sur le terrain des techniques, supposées préexister entièrement en amont, ce dont nous doutons. Nous savons aussi qu'en nous donnant l'objectif d'observer les phénomènes d'expérimentation technique depuis l'architecture, nous aurons sans cesse affaire à la complexité des œuvres architecturales qui tisse entre eux de nombreux phénomènes hétérogènes, matériels et immatériels, physiques et sociaux, naturels et culturels. Cette méthode est à rebours d'une démarche conventionnelle qui tendrait à partir d'une enquête systématique des innovations techniques pour ensuite observer leur incidence sur la création architecturale. Une telle démarche conventionnelle nous paraît inopérante au regard de notre hypothèse qui vise à démontrer que l'architecture n'est pas un domaine d'application mais un milieu essentiel à l'invention technique. C'est donc bien depuis l'architecture qu'il faut se situer pour ne pas renoncer à sa complexité.

Variations versus variété

Nous savons déjà que nous ne trouverons pas vraiment d'expression nette de l'expérimentation scientifique, avec ses outils, ses concepts et ses objectifs. Mais nous faisons l'hypothèse que nous pouvons décrire les formes de l'expérimentation pratique, en nous appuyant notamment sur les réflexions de Donald Schön. Mais aussi, inspirés par Gaston Bachelard, nous nous proposons de construire une méthode de recherche fondée sur *une démarche scientifique comme expérience progressive, moyen de classer les aspects du divers, de donner une mesure de la diversité, d'immobiliser pour les distinguer les variables du phénomène.*¹

Le phénomène en question, dans notre recherche est celui de l'expérimentation technique en architecture.

Le fait que l'expérimentation des innovations techniques en architecture ne suive pas un processus scientifique rigoureux, n'empêche pas de l'observer, pour la connaître et la comprendre, avec l'objectivité des méthodes scientifiques. A ce titre, nous développons ci-après une proposition d'approche méthodologique qui vise à démontrer l'hypothèse initiale selon laquelle l'architecture est un milieu d'expérimentation des innovations techniques. S'il s'agit bien d'un milieu nous

¹ Bachelard, *op. cit.* p.127

devons montrer qu'il existe une relation de co-fabrication entre l'architecture et la technique. S'il s'agit bien d'un processus expérimental, nous devons montrer qu'il repose sur des hypothèses même si elles sont parfois implicites ; qu'il s'invente des modalités opératoires même si elles ne sont pas nécessairement des constructions objectives ; qu'il se soumet à des formes d'évaluations même s'il les subit plus qu'il ne les génère ; qu'il capitalise des connaissances, positives ou non, organisées ou non.

Nous avons constaté que l'organisation épistémologique des connaissances bibliographiques dissocie presque systématiquement les informations entre celles qui relève de l'architecture d'une part et celles qui relève de la technique d'autre part. De manière critique nous essayerons d'en formuler une nouvelle lecture qui efface cette dualité arbitraire, afin d'identifier les principales situations d'innovations majeures où architecture et technique se confondent dans l'expérimentation. A la suite de quoi nous proposerons un corpus d'études de cas significatifs des différentes variations de notre objet de recherche. Notre objectif méthodologique est celui d'une enquête systématique sur les formes originales que l'expérimentation technique revêt dans les différents contextes où elle s'exprime.

C'est donc l'objectif d'un relevé de ses variations qui définira les critères de sélection des études de cas.

Critique épistémologique des modes de capitalisation des connaissances existantes

Nous avons pu observer dans notre chapitre consacré à l'état de l'art que les catégories de capitalisation de la connaissance organisent les savoirs entre d'une part la culture architecturale et d'autre part les sciences et techniques. Cette dichotomie nous a très vite semblé insatisfaisante pour dessiner les contours de l'objet de notre recherche. A l'instar de Reyner Banham, qui dans la seconde édition de *L'Architecture de l'environnement bien tempéré*², implorait les bibliothécaires ne de plus classer son livre au rayon des « technologies de construction » mais à celui de « théorie de l'architecture », nous nous sommes aperçu du caractère parfois arbitraire de l'organisation des connaissances telle qu'elle s'exprime au sein de notre *épistémé* contemporaine. Pour paraphraser Fernand Braudel, nous pourrions dire que la

² Banham Reyner, *L'architecture de l'environnement bien tempéré*, Hyx, Orléans 2011

technique colle au travail de l'architecte comme la terre colle à la bêche du paysan. En effet, les modes de classement actuels qui tentent de séparer ces connaissances sur deux rayons distincts n'y parviennent jamais qu'à moitié. Les ouvrages de Wachsmann parlent de technique mais sont des témoignages remarquables de l'architecture moderne germanique de l'entre-deux guerres, ainsi que de l'architecture nord-américaine des années 1950. De la même manière, que faire des articles de *Techniques et Architecture* ? De la revue *Séquence bois* ? De l'ouvrage de Dominique Gauzin-Müller sur le Vorarlberg qui est autant la présentation d'une filière de construction, de ses engagements écologiques et de ses implications sociétales, qu'un recueil monographique de la production architecturale qui en témoigne ? *HolzbauAtlas*³ de Julius Natterer n'est-il pas autant une monographie de l'art de l'ingénieur qu'un manuel de construction ? *L'Encyclopédie des métiers de la charpente et de la construction bois*⁴ vaut bien un cours d'histoire de l'architecture et pourquoi ne trouve-t-on les superbes structures spatiales de Robert Lourdin nulle part ailleurs que dans une petite publication intimiste⁵ cachée dans les archives de la bibliothèque du CNAM ? Symétriquement, Roland Schweitzer n'a jamais cessé de parler des techniques de construction à travers son propos culturaliste sur l'architecture de bois.

En réalité il nous semble que le couple « Architecture et Techniques » est aussi récursif et coalescent que le couple « Sciences et Techniques ». Nous proposons donc d'aborder notre recherche en mettant entre parenthèses les catégories d'analyse habituelles qui rangent d'un côté les connaissances scientifiques et techniques et de l'autre les connaissances architecturales. Cette reformulation de l'organisation des connaissances donne une autre lecture du réel qui confirme en première approche notre hypothèse de coalescence entre l'invention technique et l'invention architecturale. Nous devons donc tenter de travailler sans cette coupure épistémologique initiale, avec la difficulté qu'elle structure pourtant nos modes de pensée.

³ Natterer, *op. cit.*

⁴ Coll. *Encyclopédie des métiers op. cit.*

⁵ Lourdin, *Structures spatiales en bois op. cit.*

Mise en évidence de sept situations d'innovations majeures

Cette première phase de recherche exploratoire met en évidence plusieurs situations d'innovations majeures que nous avons énoncées en première approximation dans l'introduction du chapitre consacré à la présentation du terrain de recherche. Pour les énoncer, nous avons alors dissocié les innovations qui relèvent des progrès des sciences et techniques de celles qui relèvent de la création architecturale. Nous tentons ici de les reformuler sans coupure épistémologique, de la manière suivante :

Une première situation d'innovations majeure a lieu à la rencontre entre l'émergence de procédés de fabrication industrielle dans la construction bois et le courant architectural de la première modernité convaincu que le progrès scientifique et technique améliorerait l'existence humaine. Dans le cadre de notre étude, Konrad Wachsmann et Jean Prouvé sont les deux principaux témoins de cette situation. Elle a engagé une production architecturale qui expérimente ces nouvelles conditions de fabrication. Cette production tend à remplacer l'œuvre unique de l'artisan par le produit standardisé de l'industrie et crée une architecture inspirée par les possibilités de la machine, typique du mouvement moderne.

La seconde situation est celle de l'appropriation du matériau bois par les sciences de l'ingénieur. Elle réunit les connaissances scientifiques constituées sur le matériau, les outils industriels de transformation et de fabrication ainsi que les sciences de l'ingénieur élaborées antérieurement dans les domaines de la construction en acier et en béton armé. Elle a produit un corpus d'édifices en bois de grande échelle et de grande portée que nous nommons par une habitude récente 'art de l'ingénieur', indiquant en creux qu'il ne serait pas tout à fait de l'architecture même s'il lui fournit certaines de ses plus remarquables icônes.

Une troisième situation d'innovation majeure est celle du transfert depuis l'Amérique du Nord, du mode constructif artisanal de l'ossature bois légère vers l'Europe, qui va tenter d'en industrialiser la production faute de savoir-faire artisanaux. Ce mode constructif héritier du *balloon frame* américain présente une certaine facilité d'industrialisation parce qu'il est réalisé avec un nombre limité de sections de bois

standardisées et assemblées par simple clouage ou vissage. Ce mode constructif était à la base de nombreuses architectures nord-américaines d'après-guerre comme certaines *case studies houses* et constituaient un imaginaire de référence pour de nombreux jeunes architectes français des années 1960. Ce mode constructif se développe en France au milieu des années 1960 et rencontre le contexte architectural de la modernité critique, puis de la postmodernité. Cette situation réinterroge les conditions d'industrialisation qui prévalaient durant la première moitié du XX^{ème} siècle de même qu'elle remet en question la production architecturale moderne et critique son caractère déterritorialisé et standardisé. C'est dans ce contexte architectural et technique que l'architecture de bois européenne va se reconstituer, d'abord dans le domaine de l'habitation et des petits équipements.

Une quatrième situation d'innovations majeure réinterroge cette nouvelle architecture de bois à travers le prisme de la crise environnementale. Elle met en exergue les qualités écologiques du bois, scientifiquement légitimé comme alternative vertueuse aux filières conventionnelles de l'acier et du béton armé, réputées énergivores et non renouvelables. Cependant cette production architecturale continue d'intégrer les innovations des bois transformés et des modes constructifs industriels. Elle témoigne de l'*aggionamento* environnemental du secteur de la construction, mais avec les mêmes moyens industriels que ceux développés depuis cinquante ans. Elle cherche simplement à les rendre plus sobres, à en diminuer l'empreinte écologique, tant en termes de ressources matérielles qu'en termes de consommation énergétique. Elle reprend les arguments habituels des avocats de la « croissance verte », convaincus que le paradigme technico-scientifique du XX^{ème} siècle n'est pas le problème mais la solution, à condition de le réformer de manière toujours plus sophistiquée. Cette situation d'innovation produit des œuvres architecturales qui accordent une place importante aux matériaux renouvelables en général, ainsi qu'aux enveloppes expressives qui affirment leur objectif de maîtrise thermique. L'architecture devient une machine climatique passive.

Une cinquième situation d'innovations majeure trouve au contraire dans la crise environnementale une nouvelle occasion de critiquer le paradigme technico-scientifique du XX^{ème} siècle et ses conditions de production industrielles ; une nouvelle occasion dans la mesure où la critique écologique rejoint et renforce la

critique sociale précédemment élaborée, dont les théories d'Ivan Illich donnent une bonne synthèse et alimentent encore les réflexions contemporaines sur la « décroissance ». Les œuvres architecturales qui en résultent font la part belle aux constructions frugales en bois massif, ainsi qu'aux savoir-faire de l'artisan charpentier. Elles visent à démontrer que la fabrication de notre cadre de vie n'a pas besoin de la sophistication de l'industrie, laquelle est même écologiquement risquée et socialement aliénante.

Une sixième situation d'innovations majeure construit une autre forme de critique du XX^{ème} siècle. Elle s'appuie sur la démocratisation des outils numériques de conception et de fabrication pour contester l'industrie des biens de consommation qui fait de nous des consommateurs passifs et captifs. De nombreux mouvements revendiquent aujourd'hui la réappropriation de la fabrication des objets de notre quotidien pour nous libérer de notre dépendance à l'égard d'une société de consommation jugée aliénante. Qu'ils s'agissent des mouvements *Do It Yourself*, *makers*, ou autres *hakers*, que leurs nouveaux lieux de fabrication se trouvent dans des *fablabs*, des espaces de *coworking*, des ateliers de quartiers ou dans leurs garages, ces communautés revendiquent toutes une réappropriation de l'acte de fabriquer et une nouvelle organisation sociale du travail. Ces mutations sont rendues possibles par les plateformes numériques d'échange des savoirs et des savoir-faire et par la banalisation des outils de fabrication assistée par ordinateur. L'architecture produite par ces mouvements porte la marque de l'auto-construction comme une signature. Elle est souvent réalisée en bois, parce que le matériau est plus disponible, mais aussi plus facile à travailler que les autres et qu'il s'inscrit dans une tradition du bricolage, fût-il désormais numérique.

Une septième situation d'innovations majeure opère quant à elle à partir des nouveaux outils numériques afin de poursuivre l'aventure de l'art de l'ingénieur. Ces outils donnent la possibilité de concevoir et de réaliser des formes d'architecture non-standard, aux géométries quelconques grâce à la capacité de calcul des ordinateurs quand les premières expressions de l'art de l'ingénieur restaient basées sur des géométries certes complexes mais régulières, ou disons, sur des figures particulières qui pouvaient être décrites et réalisées « à la main » comme les voutes, dômes, conoïdes ou autres paraboloides hyperboliques. Ces recherches donnent lieu à de

nombreuses inventions architecturales et techniques. Elles reposent toutes sur les bois transformés et standardisés issus des progrès de l'industrie de transformation. Ces sept situations d'innovations majeures font se rencontrer les principaux progrès technologiques et les différentes périodes architecturales que l'époque traverse, de la modernité héroïque de Wachsmann et Prouvé, jusqu'à ses premières critiques formulées par les œuvres de l'exposition « Maisons de bois » en 1979. G. Rivière qualifiait notamment ces nouveaux édifices en bois : « d'architecture rurale moderniste inspirée des données géologiques, biologiques et climatiques du milieu »⁶, commentaire qu'il conviendrait de rapprocher du concept postérieur de régionalisme critique de Kenneth Frampton. Un peu plus tard, les réflexions de l'Industrialisation Ouverte furent motivées par la volonté de retrouver la « diversité » architecturale en cohérence avec les attentes esthétiques de la postmodernité qui n'acceptait plus que les outils de production industriels déterminent seuls le langage de l'architecture. Aujourd'hui les liens entre l'architecture écologique et le renouvellement de nos manières d'agir pour limiter notre empreinte écologique sont plus immédiats, tout comme les liens entre architecture paramétrique et outils numériques. Ils montrent une nouvelle fois la coalescence entre architecture et technique.

A chaque fois, ces situations d'innovations renouvellent les moyens et les dispositifs par lesquels nous agissons sur le monde, la nature des relations que nous entretenons avec notre milieu en même temps qu'elles interrogent nos habitudes culturelles et nos organisations sociales. Ces situations d'innovations engagent des séquences d'expérimentation technique à l'échelle de l'architecture que nous nous donnons pour objectif de décrire et d'analyser.

⁶ Gauzit, *op.cit.* p. 6

Définition d'un corpus de sept études de cas

Nous cherchons à identifier les modalités de l'expérimentation technique en architecture dans ses différentes variations à partir d'un corpus d'études de cas représentatif des situations d'innovations majeures ci-avant énoncées.

Nous cherchons à rendre lisible le processus d'expérimentation, d'abord en mettant en évidence les objectifs des architectes, ensuite en observant leurs hypothèses-tests ou *what if?* et les séquences itératives de ce processus expérimental. Nous devons être attentifs à leurs façons de s'approprier les enjeux techniques, d'en faire un sujet d'architecture, mais aussi à leurs manières d'envisager le rôle de l'architecte au sein du jeu d'acteurs de l'innovation. Enfin nous essayons d'identifier les modalités d'évaluation de ces expérimentations ainsi que les formes de capitalisation des connaissances élaborées.

Au sein de chacune des sept situations d'innovations majeures, les principaux critères de sélection des études de cas sont :

- a) Une œuvre cohérente, c'est à dire les projets d'architecture en bois d'un architecte ou d'un groupe d'architectes, limitée dans le temps et dans l'espace, d'échelles comparables.
- b) Une œuvre reconnue par la critique architecturale, c'est-à-dire qui présente un apport à la théorie de l'architecture par la construction d'un discours.
- c) Une œuvre qui présente une présomption de « première fois » dans l'apparition d'une innovation technique ou architecturale, à la manière du « patient zéro » des épidémiologistes. On peut aussi faire référence à la notion de « cas index » des généticiens, à partir desquels ces derniers étudient les origines d'une mutation, remontent ou redescendent la généalogie d'une lignée.

- d) Ces œuvres devront être suffisamment documentées du point de vue de la théorie de l'architecture comme du point de vue technique pour qu'il soit possible d'en croiser les analyses.

Les outils à notre disposition sont ceux de l'analyse architecturale, de l'analyse de contenu des discours sur l'architecture et de l'analyse constructive. Nous procéderons pour chaque étude de cas à une enquête systématique sur nos objets d'études pour repérer comment en parle la critique architecturale, comment en parle l'histoire de l'architecture, comment en parlent les architectes eux-mêmes, hier et aujourd'hui. En face de ces discours, les analyses architecturales et constructives des projets observés seront notre ancrage dans les faits pour étudier les modes de composition et les dispositifs techniques employés, pour tenter d'apprécier leurs motivations, leurs difficultés et leur originalité réelle au-delà des discours promotionnels. Nous tenterons aussi de tracer la généalogie des innovations expérimentées. Notre objectif est de parvenir à étudier les modes d'expérimentation des techniques innovantes sans les délier des relations qu'elles tissent au sein du projet comme milieu, dans les sept études de cas suivantes :

Situation n°1 : Le matériau bois dans l'œuvre architecturale de Jean Prouvé

Selon notre recherche exploratoire, Jean Prouvé est certainement le premier concepteur français reconnu par la critique architecturale à avoir entrepris une réflexion sur les matériaux bois à l'époque industrielle. Ses travaux débutent en 1939 avec une commande de l'armée française, puis avec des constructions précaires pour les réfugiés. Il continua de travailler régulièrement avec le matériau bois dans les diverses maisons qu'il conçut dont la plus célèbre est la maison des Jours Meilleurs. Mais il employa aussi le bois sous forme de panneaux industriels dans les toitures d'équipements tel que les écoles nomades, la buvette d'Evian ou encore le Centre des Jeunes d'Ermont.

Nous entreprendrons donc une enquête systématique de l'usage du bois dans les bâtiments conçus par Jean Prouvé pour essayer de comprendre l'usage qu'il en fit dans une démarche marquée par sa culture de la construction métallique et ses convictions en faveur de l'industrialisation. Loin de se désintéresser d'un matériau

qu'il aurait pu considérer comme archaïque, il s'investit comme directeur d'étude du diplôme de Roland Schweitzer et dans la thèse d'ingénieur du CNAM de Robert Lourdin. L'entretien recueilli dans le catalogue de l'exposition *Maisons de Bois*⁷ montre que Jean Prouvé considérait l'industrialisation de la filière bois comme la condition *sine qua none* de son renouveau. Nous tenterons aussi de comparer son travail avec celui de de l'allemand Konrad Wachsmann, autre grand militant de l'industrialisation de la construction bois, de quelques années son prédécesseur en la matière.

D'un point de vue pratique, l'œuvre de Jean Prouvé est extrêmement bien documentée et *a minima* synthétisée dans *Jean Prouvé, Œuvres Complètes* de Peter Sulzer de telle sorte que l'enquête documentaire en est facilitée et que nous disposons de nombreux détails constructifs de ses édifices. Les réalisations que nous observerons pour mener à bien cette première étude de cas seront :

- a) Les baraquements militaires démontables de 1939.
- b) Le pavillon F 8x8 BCC à Bédarieux dans l'Hérault conçu avec Pierre Jeanneret architecte en 1941.
- c) Les maisons pour les réfugiés de guerre à Nancy en 1945.
- d) La maison Prouvé à Nancy en 1954.
- e) Le prototype de la maison des Jours Meilleurs pour l'Abbé Pierre construit à Paris en 1956.
- f) La colonie de vacances du personnel d'Air France à Arbonne dans les Pyrénées-Atlantiques en 1956.
- g) L'école nomade de Villejuif en 1956.
- h) La buvette de la source Cachat à Evian conçue en collaboration avec Maurice Novarina architecte, en 1956.
- i) La maison Seynave à Beauvallon dans le Var, conçue en collaboration avec Neil Hutchison en 1960.
- j) Le prototype de Club des Jeunes construit à Ermont en 1966.

L'hypothèse que nous tenterons de vérifier est que Jean Prouvé inventait des dispositifs constructifs mixtes dans lesquels les bois utilisés sont des bois issus de l'industrie de transformation, notamment avec les panneaux Rousseau, ancêtres des

⁷ Gauzit *op. cit.*

Cross Laminated Timber d'aujourd'hui. Ces produits étaient utilisés pour leurs caractéristiques physico-mécaniques particulières lorsqu'elles s'avéraient plus pertinentes que celles des éléments de construction métallique. Nous montrerons aussi que la logique technique avec laquelle Jean Prouvé abordait la construction avec le bois est une logique de la construction métallique proche du *meccano* et non de la charpenterie. Son approche de la construction en bois était différente de celle de Konrad Wachsmann, qui quant à lui, réinterprétait les savoirs de la menuiserie avec les méthodes de l'industrie.

Situation n°2 : Naissance de l'art de l'ingénieur en structure bois

Les grandes structures de Robert Lourdin, et notamment ses structures spatiales sont des œuvres pionnières d'un art de l'ingénieur dans le domaine de la construction en bois. Nous devons nous interroger sur les origines de cette nouvelle science des structures en bois, sur les matériaux et les conditions de production qui l'ont rendue possible et sur l'originalité de ses formes architecturales. Nous nous intéresserons aussi aux bouleversements des mentalités qu'ils impliquent, en déplaçant la conception des charpentes des traditions des Compagnons du Devoir vers les sciences de l'ingénieur.

Son œuvre méconnue n'est certes pas identifiée clairement par la critique architecturale mais elle est en filiation directe avec les recherches théoriques de Robert Le Ricolais sur les structures spatiales. Nous pouvons aussi la comparer avec l'œuvre similaire mais plus tardive de Julius Natterer en Suisse, lequel bénéficia des importants moyens de diffusion des connaissances de l'EPFL pour valoriser ses travaux.

Ces réalisations sont assez bien documentées, notamment grâce à la publication du Centre d'Etudes Architecturales de Bruxelles⁸ de 1969 et au Tome VI de *l'Encyclopédie des métiers de la charpente et de la construction bois*⁹. En revanche, aucune d'entre elles ne figurent dans *HolzbauAtlas*¹⁰ de Natterer parce que l'élaboration de la connaissance rencontre parfois la petite histoire des hommes¹¹.

⁸ Lourdin, *Structures spatiales en bois, op.cit.*

⁹ Coll. *l'Encyclopédie des métiers de la charpente op. cit.*

¹⁰ Natterer, *op. cit.*

¹¹ Berthier S. *Entretien avec Robert Lourdin*, Paris, le 7 Juillet 2011 : « Monsieur Natterer a réinventé bien après moi un certain nombre de constructions qui étaient déjà faites en France sans en parler et je n'ai pas apprécié la

Nous avons pu aussi bénéficier de la disponibilité de Robert Lourdin pour répondre à nos demandes de précisions. En revanche l'état de ses archives ne nous a pas permis de les exploiter efficacement même si de très nombreuses photographies des réalisations et de leurs chantiers ont apporté de précieuses informations sur les modes constructifs.

Le corpus de réalisations observées pour mener à bien cette seconde étude cas comprend :

- a) Le préau de l'école élémentaire de Gonesse, conçue en collaboration avec M. Chapelin architecte et M. Brochard ingénieur, en 1960.
- b) La charpente de la cafétéria de l'hôpital d'Allonnes dans la Sarthe, conçue en collaboration avec M. Chapelin architecte et réalisée par l'entreprise Rousseau en 1964.
- c) La patinoire de Grenoble, conçue en collaboration avec M. Guichard architecte et réalisée par l'entreprise Bermaho de 1964.
- d) l'usine PEM à Siaugues-Sainte-Marie conçue, en collaboration avec M. Queudreux architecte en 1965
- e) L'auditorium de Bourg St Maurice en Savoie, conçue en collaboration avec M. Fauchaux, architecte, et réalisée par l'entreprise Rousseau en 1966.
- f) L'école Gretillat à Vitry-sur-Seine en 1967, réalisée par Les Charpentiers d'Ile-de-France.
- g) L'église St Guen de Vannes en 1966, conçue en collaboration avec les architectes Maisonneuve et Kasper et réalisée par l'entreprise Ledunc & Berré
- h) L'église de Viroflay dans les Yvelines, conçue en collaboration avec TLL-Saintsaulieu architectes, en 1967.
- i) L'église nouvelle de Chatenay-Malabry dans les Hauts-de-Seine, conçue en collaboration avec M. Gillet architecte et réalisée par l'entreprise Rousseau en 1968.
- j) L'église Saint Joseph d'Avignon, conçue en collaboration avec M. Gillet architecte et réalisée par l'entreprise Rousseau en 1968.
- k) La piscine Coursailles à Aulnay-sous-bois, conçue en collaboration avec Verdoia & Berthelotet architectes et réalisée par l'entreprise Bermaho en 1968.

manière dont il a chapeauté un bâtiment que nous avons fait avec Roland Schweitzer en plancher béton-bois, la manière dont il s'est attribué la couverture d'un truc qu'il n'avait pas fait, donc Monsieur Natterer est bien en Suisse, et je suis bien en France. Monsieur Natterer n'a pas eu toute la courtoisie nécessaire. » cf annexes p.445

Nous développerons l'hypothèse selon laquelle ces grandes architectures de bois opèrent par transfert des sciences de l'ingénieur constituées précédemment dans le domaine de la construction en acier pour les systèmes à ossatures et dans le domaine du béton armé pour les voiles minces. Ce transfert marque un changement conceptuel majeur, de l'art du trait du compagnon aux calculs analytiques de l'ingénieur, des savoir-faire d'équarrissage, de taille et de levage du charpentier, aux bois transformés, assemblés par des connecteurs métalliques et mis en œuvre par des moyens mécaniques. Ce corpus expérimente le passage de l'art du charpentier à celui de l'art de l'ingénieur. En réalisant en bois des modèles architecturaux inventés initialement dans les domaines de l'acier ou du béton armé, il interroge la réciprocité entre forme et matériau.

Situation n°3 : Le travail d'appropriation de l'ossature légère nord-américaine de Jean-Pierre Watel

L'analyse de l'œuvre de Jean-Pierre Watel nous permettra d'étudier notre troisième situation d'innovation majeure qui témoigne du transfert en France de la technologie à ossature bois légère importée d'Amérique du Nord. Parmi les différents architectes français identifiés comme pionniers de l'architecture de bois en France, nous avons fait le choix d'étudier l'œuvre de Jean-Pierre Watel pour trois raisons. La première est que son œuvre est très bien documentée d'un point de vue technique, plus que les autres. La seconde est que Watel s'est engagé très tôt, dès le début des années 1960 dans la réflexion sur l'industrialisation de la construction bois pour l'habitation, et que la constance de son engagement dans le mouvement de l'Industrialisation Ouverte lui a permis d'élaborer un discours continu, cohérent et explicite. La troisième est que l'œuvre de Watel repose quasi exclusivement sur le mode constructif de l'ossature bois légère et qu'en cela elle témoigne d'un mouvement général observable par ailleurs. Il est évident que Roland Schweitzer a eu un rôle plus important que lui dans la diffusion de la culture de l'architecture de bois, par ses cours, conférences et ouvrages mais aussi par la plus large publication de ses œuvres. Cependant sa participation aux réalisations expérimentales (REX) est incomplète, peu documentée et absente des bilans du Plan Construction. En outre, Roland

Schweitzer a beaucoup travaillé à partir de la technologie « poteau-poutre », laquelle reste relativement marginale dans la production de l'époque.

Notre travail sur l'œuvre de Watel consistera donc en une étude systématique, diachronique de son travail d'appropriation par l'expérimentation d'une technologie inexistante dans la culture traditionnelle des charpentiers français. Il fut un acteur de l'industrialisation de ce mode constructif, en même temps que son œuvre, d'abord d'inspiration moderniste, témoigne à partir des années 1980 de l'influence de la postmodernité. Les édifices observés pour décrire cette troisième étude de cas seront :

a) La maison modèle de la foire de Lille réalisée en 1964 en collaboration avec l'entreprise ELCOHA et ses variantes de Bondues, Halluin et Linselles.

b) La maison Leymonerie à Linselles, construite en 1978, en collaboration de l'entreprise Cambrai Charpente.

c) la maison Delage construite en 1979, en collaboration de l'entreprise Cambrai Charpente.

d) l'opération Rex « la borne de l'espoir » dans le quartier du Triolo à Villeneuve d'Ascq livrée en 1983, réalisée en collaboration avec l'entreprise Coquart et Robert Lourdin, ingénieur consultant.

e) l'opération Villaboix construite à Bordeaux en 1984, en collaboration avec l'entreprise générale Pavisol.

L'hypothèse que nous vérifierons est celle d'un travail expérimental d'adaptation d'un mode constructif artisanal nord-américain à un mode industriel en France, d'une part faute de compétences artisanales disponibles et d'autre part dans le but de répondre aux enjeux (et aux commandes) de l'Industrialisation Ouverte. L'implication de Jean-Pierre Watel dans cette action publique montre que ses créations architecturales et l'invention d'une nouvelle technologie industrielle s'informent mutuellement, de manière réflexive.

Situation n°4 : L'architecture de bois contemporaine de Lipsky et Rollet

L'œuvre en bois de l'agence Lipsky et Rollet est représentative de notre quatrième situation d'innovation. D'une certaine manière Lipsky et Rollet poursuivent les réflexions sur l'industrialisation de la filière menées par notamment par Jean Prouvé puis Jean-Pierre Watel en l'actualisant à l'aune des enjeux écologiques. Leur travail

continue le développement technologique de la filière industrielle en intégrant les questions d’empreinte écologique, de bilan carbone et de performance thermique. Plus que chez les autres architectes de leur génération, la démarche expérimentale est consciente et affirmée dans un discours qui considère cette compétence comme porteuse d’avenir pour le métier d’architecte. L’agence se positionne stratégiquement sur le terrain de l’innovation, en réalisant le premier immeuble en panneaux de CLT (*Cross Laminated Timber*) en France avec les logements étudiants du Campus de Troyes, puis le premier immeuble de 7 étages en bois, principalement réalisé en bois lamellé-collé avec la maison de l’Inde à la Cité Universitaire de Paris. Lipsky et Rollet ont aussi conçu un projet prototype novateur « Habitat Positif » pour le concours organisé en 2009 dans le cadre de l’exposition « Habiter écologique : quelle architecture pour une ville durable ? » qui se tenait à la Cité de l’Architecture, à Paris. Les sources à notre disposition sont celles des publications des projets, souvent nourries de nombreux détails, notamment dans Séquence Bois. Nous avons aussi longuement consulté le dossier technique du projet « Habitat Positif » à la Cité de l’Architecture. Enfin, Olivier Gaujard, ingénieur en structure bois et partenaire de l’agence sur ces projets nous a apporté de précieux renseignements lors de notre entrevue à Nancy en 2015.

Nous observerons donc en détail ces trois projets :

- a) La résidence étudiante du campus universitaire de Troyes, construite en 2009 en collaboration avec l’ingénieur Olivier Gaujard.
- b) La Maison de l’Inde de la Cité Universitaire de Paris, construite en 2013 en collaboration avec l’ingénieur Olivier Gaujard.
- c) Le projet « Habitat Positif » conçu en 2009 pour le concours « Quelle architecture pour une ville durable ? » lancé dans le cadre de l’exposition *Habiter écologique*, organisée par la Cité de l’Architecture à Paris sous le commissariat de Dominique Gauzin-Müller.

Nous vérifierons l’hypothèse selon laquelle leur travail est une recherche d’un troisième type, après la recherche fondamentale et la recherche appliquée, qui vise à « finaliser » selon le terme de Pascal Rollet, les innovations techniques en les éprouvant en situation complexe, dans des synergies élargies à l’ensemble des contraintes physiques et économiques d’un édifice. Cette démarche affirme

l'architecte comme un acteur du processus de R&D. D'un point de vue théorique, la production de l'agence Lipsky et Rollet s'inscrit dans l'*aggiornamento* écologique du secteur de la construction, sans remettre en question sa nature industrielle.

Situation n°5 : Les charpentes de Jacques Anglade

Les charpentes de Jacques Anglade, élève de Julius Natterer et Roland Schweitzer, témoignent d'une critique des conditions industrielles de la renaissance du matériau bois au XX^{ème} siècle. Il questionne l'aliénation des savoirs et savoir-faire du métier de charpentier dans cette production industrielle ainsi que la pertinence de l'usage des bois transformés à l'ère de la crise environnementale. Il est en tout cas, dès les années 1990, l'un des premiers à interroger l'évidence des conditions industrielles du renouveau de la filière. Son œuvre assez bien publiée et commentée par la critique architecturale témoigne d'un désir de redécouvrir la culture du charpentier et le goût du bois massif, sans renoncer pour autant aux innovations du XX^{ème} siècle, mais en en faisant un usage raisonné et dégagé de toute forme de fascination technophile. Son travail est représentatif de notre cinquième situation d'innovation, celle de la crise environnementale et de sa critique de l'industrialisation du XX^{ème} siècle.

Nous disposons d'un corpus d'œuvres très bien documentées, en général au niveau de précision du plan d'exécution. Jacques Anglade s'est aussi montré très disponible pour échanger avec nous au fil de cette étude et nous a régulièrement apporté les précisions et éclaircissements techniques que nous lui demandions.

Pour mener à bien cette étude de cas nous observerons les projets suivants :

- a) La passerelle sur l'Auzène à Ajoux dans l'Ardèche, construite en 1999.
- b) le monastère Nalanda à Lavaur dans le Tarn, construit en 1999, en collaboration avec J. Colzani architecte
- c) le gymnase de Meylan dans l'Isère, réalisé en 2000, en collaboration avec R2K architectes.
- d) la salle polyvalente de Celles-sur-Plaine dans les Vosges, construite en 2002, en collaboration avec les architectes Cartignies et Canonica.
- e) le réfectoire du collège de Chatte dans l'Isère, construit en 2004, en collaboration avec R2K architectes.

f) le préau de l'école Corneille à Versailles, construit en 2006, en collaboration avec les architectes Dumont & Legrand.

L'hypothèse que nous vérifions au travers de cette étude de cas est que l'œuvre d'Anglade constitue une critique sociale, culturelle et technique de la modernité industrielle. Ses charpentes renouent avec les typologies traditionnelles du métier de charpentier en les revisitant et font la part belle au bois massif, mais pas seulement. Elles développent un *art du trait* contemporain, réinterprété à l'heure des outils numériques et ne se prive d'aucun des apports des sciences de l'ingénieur. Ces charpentes présentent des dispositifs constructifs singuliers et « sur mesure », indissociables de leurs ambitions architecturales. Elles nous donnent l'occasion de redécouvrir la richesse de l'art des charpentes. Loin d'être une simple réaction passéiste ou sectaire, le travail d'Anglade renouvelle l'art du charpentier, de manière moderne et écologique, soucieux d'expérimenter des alternatives aux conditions de production industrielles qu'il juge aliénantes. Son œuvre fait se rejoindre les critiques sociales et écologistes du paradigme industriel dans lequel nous vivons.

Situation n°6 : Le projet WikiHouse

Le projet WikiHouse a été créé à Londres en 2011 par l'agence 00_architecture. C'est un projet collaboratif fondé sur le *crowdsourcing* grâce aux réseaux sociaux de l'Internet. Il s'inscrit dans le mouvement *Do It Yourself* et offre la possibilité de télécharger les fichiers numériques des modèles de maisons entièrement réalisables en contreplaqué de 18mm. Ces fichiers se présentent sous la forme de panneaux à découper sur une fraiseuse numérique puis à monter soi-même grâce à un jeu astucieux d'assemblages clavetés. Il constitue une sorte de *cluster* qui assemble les innovations des logiciels libres, les plateformes d'échanges sur internet, les outils de prototypage rapide et les fablabs. Ces modèles *open source* peuvent être modifiés et améliorés par les membres de la communauté avant d'être remis en ligne. Le caractère libre de droit de ces conceptions est protégé par les licences *Creatives Commons* qui permettent d'utiliser ces modèles à des fins commerciales ou non commerciales, de les transformer et de les échanger sous des conditions précises, afin que nul ne puisse s'approprier ce qui est considéré comme un bien commun. La plateforme d'échange de WikiHouse comptait en janvier 2016 près de 500 projets ouverts mais seulement

une dizaine de prototypes réalisés, dont 3 présentés en France, que nous observerons dans cette sixième étude de cas :

- a) Le prototype de Corée du Sud, construit en 2011 par 00_architecture dans le cadre de la biennale de design de Gwanju.
- b) Le prototype de Milan, construit en 2012 par 00_architecture dans le cadre du *Hacked Event* organisé à La *Rinascence* puis exposé au Pavillon de l’Arsenal à Paris en 2013.
- c) Le prototype de Paris, construit en 2013 par Justyna Swat dans le cadre du festival *OuiShare*.
- d) Le prototype de New-York, construit en 2013 par 00_architecture dans le cadre de la *MakerFaire*.
- e) Le prototype d’Auckland, construit en 2013 par WikiHouse_NZ.
- f) Le prototype de Londres, construit en 2014 par 00_architecture dans le cadre du *London Design Festival*.
- g) Le prototype d’Ecosse, construit en 2014 par 00_architecture pour une maîtrise d’ouvrage privée.
- h) Le prototype de Millemont, en Ile de France construit en 2015 par Justyna Swat dans le cadre de l’évènement POC 21,
- i) Le prototype de Sheffield, construit en 2015 par 00_architecture pour une maîtrise d’ouvrage privée.

Nous avons aussi eu l’opportunité d’échanger avec Justyna Swat, membre de WikiHouse lors de son intervention à l’ENSA de Versailles en décembre 2015.

Notre hypothèse est que WikiHouse inaugure un mode d’expérimentation collaboratif fondé sur le *crowdsourcing* en rupture avec les organisations séquentielles que nous connaissons mais aussi en rupture avec le droit de la propriété intellectuelle. Ce projet doit être rapproché du concept de *Collaboratives Commons* élaboré par Jeremy Rifkin. Son analyse offre la possibilité d’étudier l’expérimentation d’un mode constructif innovant, autant par ses outils que par les nouvelles formes d’organisations collaboratives qu’il engage. La maîtrise technologique y est incrémentée de prototype en prototype dont l’enchaînement rapide permet de suivre les évolutions positives mais aussi, et malheureusement toujours en creux, les difficultés et les verrous organisationnels, techniques et

juridiques qu'une communication positive de type *start-up* escamote systématiquement.

Situation n°7 : L'art de l'ingénieur à l'ère numérique : Yves Weinand à l'EPFL

Cette dernière étude de cas s'intéresse à la capacité des nouveaux outils numériques de poursuivre 'l'art de l'ingénieur' sous d'autres formes et par d'autres moyens. On objectera ici qu'il s'agit d'une étude de cas suisse, en dérogation des limites de terrain que nous nous étions fixées sur le territoire français. Toutefois il nous a paru important d'étudier les travaux récents de l'EPFL dans le cadre de notre recherche car nous n'avions pas encore trouvé d'équivalent en France lors de la définition de notre corpus courant 2014. Cependant les derniers travaux du laboratoire MAP-CRAI de l'ENSA de Nancy s'en approchent désormais et pourraient être choisis comme supports d'étude de cas.

Les travaux de l'IBois de l'EPFL sont particulièrement innovants et explorent les registres morphologiques et constructifs de l'architecture paramétrique et d'autre part, ces recherches sont menées dans un cadre universitaire alors que nous n'avions jusqu'à présent étudiée seulement des expérimentations en situation de maîtrise d'œuvre. Il nous a semblé important d'étudier la manière dont une université polytechnique aborde cette activité en faisant l'hypothèse que ses méthodes seraient sans doute beaucoup plus proches des canons scientifiques. Depuis 2005 et la prise de fonction d'Yves Weinand, successeur de Julius Natterer à la tête de l'IBois, ce laboratoire a orienté ses recherches en direction de la fabrication des architectures paramétriques. Son objectif ne semble plus être, comme au XX^{ème} siècle, la conquête de la performance dimensionnelle avec ses édifices de grande hauteur ou de grande portée. D'une certaine manière cet objectif est désormais acquis. L'IBois s'intéresse plutôt à la performance morphologique des formes produites par les outils numériques et recherche les modalités techniques de la constructibilité de ce type d'architecture, d'une part en élaborant des méthodes géométriques de discrétisation de ces formes complexes, d'autre part en mettant au point les outils de fabrication numérique permettant de les construire. La production initiale du laboratoire fut une première fois diffusée par l'exposition *Timber Project* en 2010 qui réunissait cinq années de travaux d'étudiants en architecture. Ces maquettes de projets exploraient

à grande échelle les possibilités morphologiques et constructives des tressages, tissages et structures plissées à la manière des origamis japonais.

Parallèlement ces modes constructifs innovants ont été développés sous forme de recherches de doctorats.

Nous observerons donc les projets et réalisations suivants :

a) Les principaux projets d'étudiants exposés en 2009 : *Tress Arc, Continuity Tridimensionality, Tour à Facettes, V Panel Structure, Discrete Architectural Geometry et Building Fabric Look Out Tower.*

b) La chapelle temporaire Saint Loup, construite en 2008 à Pompaples dans le Jura Suisse par Local Architecture et le bureau d'études SHEL (Y. Weinand & H. Buri).

c) Le pavillon temporaire exposé à l'école d'architecture de Mendrisio en 2013, conçu par le laboratoire de l'Ibois.

En relation avec les thèses de doctorat suivantes :

d) *Interativ geometric design for architecture* d'Ivo Stotz, sous la direction d'Y. Weinand, soutenue en 2009.

e) *Modélisation itérative sous contrainte* de Gilles Couaty, sous la codirection d'Y. Weinand et E. Tosan, soutenue en 2010.

f) *Origami – folded plate structures* d'Hani Buri, sous la direction d'Y. Weinand, soutenue en 2010.

g) *Integral mechanical attachment for timber folded plate structures* de Christopher Robeller, sous la direction d'Y. Weinand, soutenue en 2010.

h) *Timberfabric: Applying Textile Assembly Principles for Wood Construction in Architecture* de Markus Hudert, sous la direction d'Y. Weinand, soutenue en 2013.

i) *Mechanical form-finding of timber fabric structures* de Sina Nabaei, sous la codirection d'Y. Weinand et O. Bavarel, soutenue en 2015.

Nous tenterons de démontrer l'hypothèse selon laquelle l'Ibois invente dans ses recherches les modalités scientifiques et techniques de constructibilité des formes de l'architecture non standard en organisant un contexte de recherches pluridisciplinaires entre les départements d'architecture, de génie civil, de mathématiques et d'informatique. La production qui en résulte est assez éloigné des premières formes abstraites de la *blob* architecture et invente un langage original fondé sur la discrétisation des formes complexes décomposées en éléments simples.

Dans cette démarche les imaginations plastiques et les inventions constructives s'informent mutuellement sans que les unes soient simplement assujetties aux autres. Ces architectures poursuivent l'aventure des structures spatiales en bois initiée dans les années 1960, en complexifiant leurs formes. Elles démontrent le potentiel *high tech* du bois, lequel est systématiquement un matériau transformé sous forme de panneaux d'industrie. Toutefois, au terme d'une décennie de recherches, il faut s'interroger sur l'absence de réalisations au-delà de deux petits pavillons temporaires. Cette minuscule production au regard des moyens engagés doit être comparée à la période d'invention des structures spatiales en bois dans les années 1960 et la grande richesse des œuvres produites en moins de dix ans, sans les moyens numériques dont nous disposons aujourd'hui.

Rédaction des études de cas sous forme d'articles scientifiques : motivations, objectifs et précautions méthodologiques.

Les sept études de cas qui constituent le corps de cette recherche ont été rédigées sous la forme d'articles scientifiques indépendants, soumis à publications, pour trois raisons :

La première concerne la possibilité de valorisation des travaux de recherche durant l'élaboration de la thèse, sous la forme la plus adaptée à la publication. Ces parutions régulières sont aussi un mode d'évaluation continue de notre travail qui lui a donné une dynamique particulière, par séquences, compatible avec notre activité d'enseignant des écoles d'architecture et d'architecte praticien.

La seconde raison est que le caractère littéraire de l'article permet de décrire l'expérimentation technique dans l'entrelacement des problématiques architecturales que constitue le projet.

La troisième raison tient à la non-linéarité de la pensée mal à l'aise dans les schémas méthodologiques trop figés. Ainsi il nous a paru difficile de nous limiter à une grille d'analyse *a priori*, qui s'étendrait par systématisme à l'ensemble des études de cas. L'autonomie des articles n'est pas que rédactionnelle, elle est aussi intellectuelle et méthodologique même si *in fine* tous convergent à éclairer une même problématique. L'idée d'une grille d'analyse n'a d'abord fonctionné que comme garde-fou ou comme cadre souple défini en première approximation. De manière récursive, les recherches exploratoires autour de chaque article ont nourri notre problématique tout au long de notre travail, laquelle ne fut définitivement formulée et rédigée qu'au terme de nos enquêtes. « Ce que je fais m'apprend ce que je cherche » disait Pierre Soulages. Cette souplesse a laissé une place à l'expression de la sérendipité dans nos recherches. L'exemple le plus clair de cette démarche est l'enquête menée sur les pionniers de la renaissance de l'architecture de bois en France, commencée avec l'étude de l'œuvre de Roland Schweitzer parce que la plus visible, puis élargie à celles de Christian Gimonet, Pierre Lajus et Jean-Pierre Watel. Cette recherche exploratoire a fini par dessiner une carte heuristique de ce mouvement de renaissance de l'architecture de bois qui a fait apparaître le travail de Watel comme le plus

pertinent pour informer notre problématique, à mesure que celle-ci s'élaborait. Dès lors, ce qui était en première approche une recherche élargie sur l'élaboration de la culture constructive de ces quatre architectes nous a conduit à écrire un article sur l'appropriation de la technologie à ossature bois légère dans le cadre de l'œuvre expérimentale de Jean-Pierre Watel.

Modes de valorisation et types de publications

La principale difficulté que nous avons rencontrée pour la valorisation de nos travaux tient à la faiblesse du nombre de revues scientifiques de rang A orientées vers notre sujet à dominante technique. Lorsque nous avons interrogé Antoine Picon sur cette question, ce dernier nous avait répondu que nous n'avions alors le choix qu'entre peut-être *Les Cahiers de la Recherche Architecturale et Urbaine* et surtout le *Journal of Construction History Society* si nous écrivions en anglais. Nous avons pu nouer un contact assez rapidement avec cette revue qui a publié notre article « Timber in the building of Jean Prouvé, an industrial material » (étude de cas n°1) et à laquelle nous avons récemment soumis, à sa demande, « From the carpenter's art to the engineer's art » (étude de cas n°2), provisoirement accepté sous réserve de compléments de recherche.

La revue *FabricA*, qui est une revue d'histoire culturelle de l'architecture, a publié notre article sur le travail expérimental de Jean-Pierre Watel dans son intégralité (étude de cas n°3). Sur le même sujet, nous avons été invités par l'Ecole Nationale des Chartes de la Sorbonne à écrire un article sur l'Industrialisation Ouverte dans la revue *Les Livraisons d'Histoire de l'Architecture* à paraître en novembre 2017.

Les articles recherche du troisième type : le matériau bois dans l'architecture de l'agence Lipsky+Rollet » et « L'art de l'ingénieur à l'ère numérique : « Yves Weinand à l'EPFL » ont été soumis à la revue *Les cahiers de la recherche architecturale, urbaine et paysagère* dans le cadre de son appel à articles « Innover ? ».

Ces revues scientifiques, majoritairement orientées vers la recherche en histoire de l'architecture, nous interrogent sur les faibles possibilités de publications de notre travail hors de ce champ.

Deux de nos quatre études de cas contemporains ont été accueillies favorablement par la revue *Criticat* identifiée comme une revue de critique architecturale. Toutefois son attachement au travail méthodologique d'enquête qu'elle définit comme « un moyen d'investiguer la réalité au plus près et donc de mieux l'appréhender, en contournant la communication qui tend de plus en plus à la remplacer »¹² est cohérent avec notre travail de chercheur. L'article « Les charpentes de Jacques Anglade : une contre-culture constructive » (étude de cas n°5) a été publié dans le numéro 17 du printemps 2016 et l'article « WikiHouse : la troisième révolution industrielle à l'épreuve du réel » (étude de cas n°6) est paru dans le numéro 18 d'Octobre 2016. En dehors du champ scientifique, nos travaux nous ont aussi donné l'occasion d'écrire dans la revue d'actualités Séquence Bois pour présenter nos recherches sur le passage de l'art du charpentier à l'art de l'ingénieur (étude de cas n°2) et sur WikiHouse (étude de cas n°6), puis de devenir membre de son comité de rédaction depuis Septembre 2016. La recherche sur le passage de l'art du charpentier à l'art de l'ingénieur (étude de cas n°2) a aussi été présentée sous forme de conférence à la biennale « Nature et Paysage : l'Arbre » organisée à Blois les 18 et 19 mars 2016 par le CAUE du Loir et Cher et la Maison de l'Architecture du Centre. Ces interventions sont des formes de valorisation hors du champ de la recherche scientifique. D'une manière générale l'hétérogénéité des ces valorisations nous interroge sur les contours épistémologiques de la recherche en architecture.

Précautions méthodologiques pour l'analyse des résultats

Les articles ont été écrits pour être autonomes et publiables indépendamment du raisonnement général de la thèse. Cette autonomie impose de revenir à chaque fois sur la problématique principale et de soutenir la thèse de l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques dans chaque article. Cette condition est nécessaire pour la cohérence des articles qui peuvent être lus séparément mais aussi pour nous-mêmes, comme un moyen de garder notre questionnement vivant en le reformulant de manière singulière dans chaque étude de cas. Disons que notre problématique a été élaborée par sept itérations successives.

¹² Parole à l'architecture, conférence « Criticat, l'Enquête » mercredi 2 Novembre 2016 Centre Pompidou, Paris

Au terme des sept études de cas, un chapitre « résultats croisés » vient formuler les conclusions de manière synthétique et comparée, à partir d'une grille d'analyse désormais finalisée, entendue comme forme de vérification des hypothèses.

Ce chapitre donnera une relecture des articles pour essayer d'énoncer les différentes variations de l'expérimentation technique en architecture et d'en dégager si possible des formes de régularité.

Les clés de relecture systématique sont les suivantes :

1- *Quelles sont les hypothèses que l'expérimentation des innovations techniques vise à vérifier ?*

Nous démontrerons que, bien qu'éloigné des canons méthodologiques des sciences expérimentales, l'expérimentation en architecture ne saurait se limiter à sa définition générique de « faire l'expérience de » mais qu'elle est un processus incrémental rarement formulé explicitement. Nous pouvons dire que cette démarche repose toujours sur des hypothèses initiales qu'elle vise à vérifier. La formulation de ces hypothèses est semblable aux notions d'hypothèse-test ou de *what if* que formulaient Donald Schön, lesquelles s'affinent et se précisent au fur et à mesure des itérations entre l'expérimentation et ses *feed-back*. Ces hypothèses sont d'une part d'ordre pratique et portent sur les modalités constructives, les assemblages, la nature des matériaux et leur compatibilité, leur dimensionnement, en cohérence avec la composition architecturale. Mais nous montrerons aussi que l'expérimentation porte des hypothèses théoriques ou doctrinales sur nos manières d'agir et indique que la technique est en projet dans l'architecture. Nous entendons par là que si la science est objective, la technique est projective. En effet, elle répond à des intentions, ses artefacts sont constitués en fonction d'un usage, d'une performance à atteindre. Nous soutenons qu'en matière de construction, ces intentions, ces usages, ces performances, même s'ils tendent à l'universalité, sont toujours expérimentés dans le projet d'architecture entendu comme processus réflexif.

2- *Quelles sont les champs d'action et les objets de l'expérimentation des innovations techniques à l'échelle de l'architecture ?*

Nous rechercherons dans ce second questionnement sur quoi l'expérimentation opère. Nous ferons l'hypothèse qu'elle dépasse largement l'artefact concret que constitue l'édifice, avec ses modes constructifs et ses produits qui le compose. Elle interroge aussi les savoirs, les méthodes de conception et les procédés de fabrication. Cette ouverture démontre que l'architecture n'est pas seulement un domaine d'application de technologies inventées par ailleurs en amont, mais bien un milieu nécessaire à leur élaboration. Cette élaboration technique interroge en retour les caractéristiques architecturales des édifices qu'elles soient morphologiques, compositionnelles ou esthétiques. Elle questionne aussi que les modalités d'exercice du métier d'architecte en redéfinissant le cadre de ses actions.

3-Quelles sont les modalités d'action, c'est-à-dire les outils, les organisations collaboratives et les lieux de l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

Nous montrerons qu'à défaut de protocoles d'expérience établis a priori, l'expérimentation technique à l'échelle de l'architecture dispose de modalités d'action récurrentes bien qu'elles varient selon les contextes et s'adaptent *ad hoc*. Ces modalités intègrent des outils de conception, de prototypage et de fabrication, des organisations séquentielles ou collaboratives entre les partenaires architectes, ingénieurs, industriels, entrepreneurs et maître d'ouvrage. Elles concernent aussi les lieux de l'expérimentation, de l'agence d'architecture au chantier en passant par l'atelier des prototypes, fabriquant des contextes très différents du laboratoire scientifique et de ses instruments de métrologie.

4-Quelles sont les temporalités de l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

Nous nous intéresserons à la double temporalité de l'expérimentation, entre le temps court de chaque projet et le temps long d'une œuvre qui se constitue de manière séquentielle et fractionnée projet après projet. Si le temps court du projet permet d'apprécier en détail les modalités d'élaboration ad hoc d'expérimentation, c'est le temps long qui indique les hypothèses théoriques que la plupart des architectes poursuivent avec constance, malgré la non-reproductibilité de l'expérience sur des

projets, à chaque fois différents dans leur programme, leur contexte physique et dans ses organisations d'acteurs. Cette constance de réflexion permet de suivre l'évolution de la réflexion sur les techniques en relation avec l'évolution de la plateforme doctrinale des architectes au cours de période étudiée. Notre corpus rencontre en effet la modernité optimiste de l'immédiat après-guerre puis ses formes critiques dès les années 1960 et qui conduiront à l'élaboration de la doctrine de la postmodernité dans les années 1980, jusqu'à l'architecture écologique contemporaine. Les réflexions sur la technique ne sont jamais étrangères à la formation de ces doctrines architecturales. Nous montrons qu'elles en sont même un levier essentiel.

5-Quelles sont les conditions économiques de l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

Nous devons essayer d'identifier les conditions économiques de l'expérimentation dans la mesure où elle n'est pas explicitement prévue dans les missions de maîtrise d'œuvre et constitue donc avant tout un investissement, à valoir sur un avenir qui ne garantit pas la reproductibilité des acquis. Il conviendra donc de tenter de vérifier si la temporalité longue de l'expérimentation offre le retour sur investissement attendu et dégage les marges bénéficiaires nécessaires à la poursuite des recherches. Nous nous attacherons aussi à identifier les formes d'intéressement possibles qui partagent le coût de l'expérimentation - entendu comme une forme de recherche et développement (R&D) - entre tous les acteurs engagés dans le processus.

6-Quelles sont les modalités d'évaluation de l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

Dans la mesure où il ne saurait y avoir de processus d'expérimentation crédible sans protocole d'évaluation des résultats, puisque cette absence rompt le processus d'amélioration incrémental, nous tenterons de distinguer quelles sont ses formes en architecture, au-delà du simple constat de réussite ou d'échec sur le marché. Cette « sanction des marchés » ne nous dit en effet rien des raisons des réussites et des échecs. Au-delà de l'auto-évaluation du praticien dont parlait Donald Schön et qui conduit bien souvent en architecture à des discours d'auto-promotion, nous pouvons nous demander s'il existe une évaluation indépendante et objective ? Quels sont les

rôles du CSTB et des différents organismes de la filière bois ? La critique architecturale joue-t-elle un rôle ?

7-Quelles sont les formes de capitalisation et de diffusion des connaissances acquises par l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

Dans le domaine scientifique, la dernière étape de l'expérimentation après son évaluation est la capitalisation des connaissances acquises, majoritairement sous forme de publications scientifiques. Nous avons constaté dans notre chapitre sur l'état des connaissances que l'hybridation des disciplines engagées dans l'architecture rendait difficile la capitalisation des acquis de l'expérience sous forme de connaissances positives. Ces acquis ne fabriquent pas des connaissances objectives et factuelles du monde tel qu'il est, mais renseignent ses processus de création et transformation. Nous nous attacherons donc à identifier les formes de capitalisation de ces connaissances non positives que les objets expérimentés génèrent, ainsi que leurs modes de diffusion.

Ces sept questions transversales en forme de relecture systématique des différentes études de cas nous permettront d'identifier les hypothèses de l'expérimentation, ses modalités, ses méthodes, ses évaluations et ses formes de capitalisation des connaissances. Elles seront notre moyen, progressif et opiniâtre, *de classer les aspects du divers, de donner une mesure de la diversité, d'immobiliser pour les distinguer les variables du phénomène*¹³.

¹³ Bachelard *op. cit.* p.127

PARTIE IV

ARTICLES

- Article n°1 : Le bois dans l'œuvre architecturale de Jean Prouvé : un matériau industriel**
- Article paru sous le titre « Timber in the buildings of Jean Prouvé, an industrial material » in *Journal of Construction History Society*, Vol. 30-2, Oct. 2015 pp87-106
- Article n°2 : De l'art du charpentier à l'art de l'ingénieur : les structures spatiales de Robert Lourdin**
- Article soumis à la revue *Journal of Construction History Society* sous le titre « From carpenter's art to engineer's art » provisoirement accepté par la revue, sous réserve de compléments de recherche.
 - Article paru sous une forme réduite, à titre de vulgarisation dans la revue *Séquence Bois* n°104 en avril 2015, pp.4-7
 - Article présenté lors de la conférence donnée lors de la biennale Nature & Paysage : l'Arbre » organisée à Blois le 19 mars 2016 par le CAUE 41 et la Maison de l'Architecture du Centre.
- Article n°3 : L'appropriation de la technologie à ossature bois légère : l'œuvre expérimentale de Jean-Pierre Watel, 1964-84**
- Article paru dans la revue *fabricA n°10*, année 2016, pp12-55
 - Article accepté, à paraître sous une forme transformée « Le renouveau de l'architecture de bois en France 1965-85 : une expérimentation industrielle » dans la revue *Les Livraisons d'Histoire de l'Architecture* co-édité par Ecole Nationale des Chartes / La Sorbonne, Novembre 2017
- Article n°4 : Recherche du troisième type, le matériau bois dans l'architecture de l'agence Lipsky+Rollet**
- Article accepté par la revue *Les Cahiers de la recherche architecturale, urbaine et paysagère* dans le cadre de l'appel à articles « Innover ? » à paraître fin 2017
- Article n°5 : Les charpentes de Jacques Anglade, une contre-culture constructive**
- Article paru dans la revue *Criticat* n°17, printemps 2016 pp. 68-87
- Article n°6 : WikiHouse, la troisième révolution industrielle à l'épreuve du réel**
- Article paru dans la revue *Criticat* n°18, Automne 2016 pp. 65-87
 - Article paru sous une forme réduite, à titre de vulgarisation, dans la revue *Séquences Bois* n°113, Septembre 2017, pp. 4-5
- Article n°7 : L'art de l'ingénieur à l'ère numérique, Yves Weinand à l'EPFL**
- Article paru sous une forme transformée dans le cadre du dossier « Le Nouvel Age du Numérique : éléments simples, formes complexes » dans la revue *D'Architectures* n°256, Septembre 2017, pp. 44-71



Le bois dans l'œuvre architecturale de Jean Prouvé
Un matériau industriel

Résumé

Le travail architectural de Jean Prouvé avec le bois reste peu connu, dans l'ombre de son travail avec le métal. Pourtant il fit très souvent usage du bois dans ses constructions, non pas sous les formes traditionnelles de la charpenterie mais en expérimentant les nouveaux matériaux bois transformés par l'industrie, notamment les panneaux de contreplaqué et de contrecollé.

Ses travaux commencèrent pendant la seconde guerre mondiale en raison de la pénurie d'acier, puis se poursuivirent régulièrement tout au long de son œuvre ultérieure, sous deux formes principales : les panneaux de façades préfabriqués modulaires et les dalles de toitures en panneaux de bois contrecollés. Ce travail avec le bois est très différent des pratiques habituelles des architectes français de la même période car il procède par transfert des méthodes et des objectifs de la construction industrielle. Il doit être rapproché de celui de Konrad Wachsmann avec lequel il présente de grandes similitudes, les deux hommes étant de fervents partisans de l'industrialisation de la construction.

L'analyse diachronique d'une douzaine d'édifices met en évidence la constance avec laquelle il poursuivait le développement expérimental de ces dispositifs constructifs, par améliorations successives au fil des innovations industrielles et des projets qui se présentaient à lui. Cette observation nous permet de montrer que sa force créative et son inventivité technique lui ont permis d'introduire les matériaux bois industriels comme des innovations au service de la construction moderne. Le bois n'est jamais utilisé seul mais dans des ensembles constructifs mixtes, pour ses propriétés physico-mécaniques, au service d'une performance globale. Ces innovations techniques ont aussi permis d'explorer de nouveaux registres de formes architecturales et produit une esthétique originale. On peut voir le travail de Jean Prouvé comme une forme de 'développement expérimental' en architecture, vitale pour l'innovation et renouvellement des savoirs constructifs, au service des exigences programmatiques de son époque, dont nous n'avons sans doute pas encore tiré tous les enseignements.

L'œuvre architecturale de Jean Prouvé, largement dominée par le métal, compte néanmoins un grand nombre de constructions dans lesquelles le matériau bois occupe une place significative. Si l'usage du bois chez Jean Prouvé *designer* est bien connu, il l'est nettement moins chez Jean Prouvé *constructeur* mais mérite pourtant qu'on s'y arrête.

En effet, nous disposons d'un corpus de constructions¹ qui illustre de manière originale la tentative d'un renouveau du matériau depuis l'immédiat après-guerre jusqu'au milieu des années 1960, au travers des œuvres d'un concepteur iconoclaste et inclassable, reconnu pour sa curiosité et son inventivité en marge des modèles architecturaux préconçus. Il se situe historiquement très nettement en amont de ceux qu'il est convenu d'appeler les 'pionniers de l'architecture de bois en France' : Christian Gimonet, Pierre Lajus, Roland Schweitzer et Jean-Pierre Watel, lesquels ne débiteront leur œuvre avec ce matériau qu'après 1965.

A la différence de ces derniers qui développeront une architecture 'tout en bois', faisant la part belle au bois massif et renouvèleront l'art du charpentier en important en France des modèles architecturaux et leurs technologies associées, nous montrerons que Jean Prouvé n'avait de cesse d'imaginer le bois comme un matériau industriel, c'est-à-dire comme un produit transformé, à haute valeur ajoutée, utilisé pour ses propriétés physico-mécaniques plus que pour sa charge symbolique ou sensorielle. Sa mise en œuvre est pensée dans des logiques de construction industrielle qui imaginent l'acte de bâtir comme un processus d'assemblage à sec d'éléments composites préfabriqués et produits en série. D'autre part nous

¹ Sulzer, P. *Jean prouvé, Œuvre Complète / Complete Works*, 4 volumes, Ed. Wasmuth, Berlin 1995

montrons que sa démarche de conception s'inscrit dans la durée et opère par améliorations successives, travaux après travaux, des modes constructifs avec lesquels il opère. Sa méthode est celle de l'expérimentation, dans le secteur de la construction, d'innovations observées préalablement dans les domaines industriels comme ceux de l'automobile ou de l'aéronautique.

On peut considérer sa démarche comme une forme prototypique de ce que l'on nomme aujourd'hui 'Recherche & Développement' comme le montre le grand nombre de brevets qu'il déposa au cours de sa carrière. Nous tenterons d'en esquisser ici les principaux traits et d'en identifier les qualités.

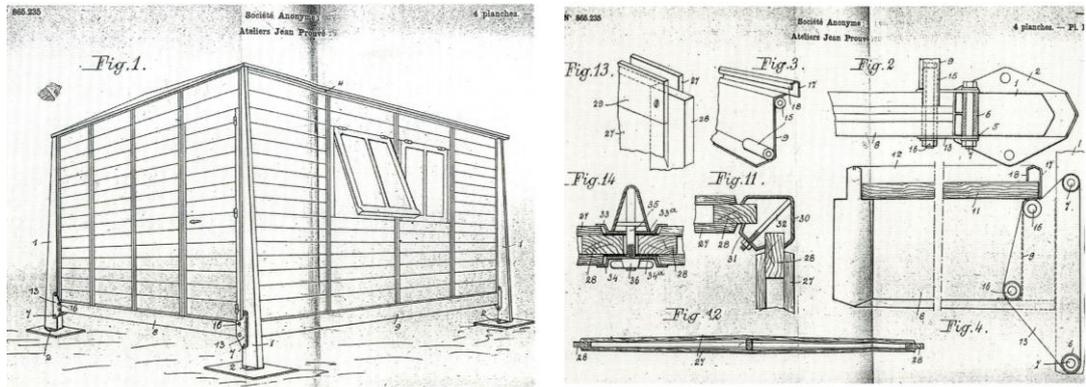
En cela son travail avec le bois ne diffère pas de son engagement plus général à imaginer la révolution industrielle du secteur du bâtiment, s'inscrivant ainsi pleinement dans le récit de la modernité (sans doute plus que d'autres qui pourtant le revendiquaient plus fort). Ses édifices questionnent l'œuvre unique au profit de la série industrielle, de la performance et de l'économie. Ce glissement des arts libéraux vers les arts mécanistes tel que le décrit Antoine Picon dans son ouvrage *l'art de l'ingénieur*² marque la prééminence nouvelle des questions de bien-être, d'efficacité et de performance sur les questions symboliques ou spirituelles auxquelles répondent traditionnellement les arts libéraux. Ce déplacement du centre de gravité de l'architecture, de l'œuvre artistique symbolique vers l'objet technique idéal était une démarche innovante qui cherchait à adapter l'architecture à de nouvelles méthodes de production, une nouvelle organisation du travail, issues du monde de l'industrie dont l'époque admirait les réalisations. Avec Prouvé, le bâtiment était d'abord pensé comme objet technique à part entière³.

Porter / Fermer : les constructions en panneaux préfabriqués

Le travail de Jean Prouvé avec le bois a débuté en 1939 avec une commande de baraquements démontables qui lui fut confiée par l'armée française (*fig. 1*). L'engagement consistait à réaliser 275 modules démontables d'environ 3m x 3m, en un mois. La rareté de l'acier durant cette période le conduisit à réserver ce matériau pour la structure et à penser l'enveloppe en panneaux modulaires en bois massif,

² Picon, *L'art de l'ingénieur*, *op. cit.*

intégrant portes et fenêtres, préfabriqués en atelier puis assemblés *in situ*. La seconde guerre mondiale offre donc à Prouvé l'occasion d'expérimenter ses idées sur l'industrialisation du bâtiment. Mais à la différence des précédents travaux sur les baraques militaires, notamment ceux de la première guerre mondiale qui jetèrent les bases de l'industrialisation de la construction bois et rationalisant et simplifiant les savoir-faire de la charpente traditionnelle⁴,



Figs. 1, 2 Baraquements militaires, perspectives et détails constructifs

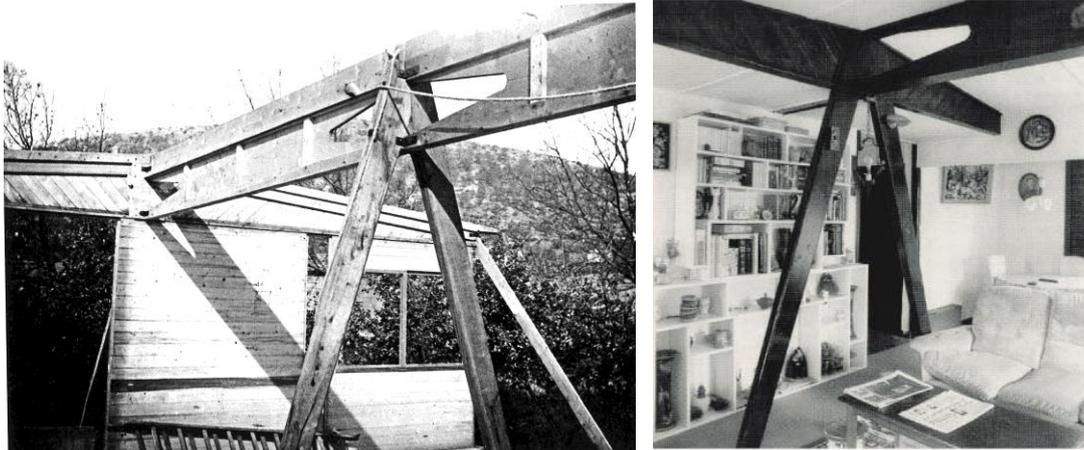
Jean Prouvé conçut ces baraques par transfert des méthodes et techniques de la construction métallique vers le domaine de la construction en bois. On remarquera dans cette construction à l'apparence sommaire, des panneaux de bois dessinés avec un profil bombé qui évoque ses panneaux métalliques de la maison du Peuple de Clichy (1936). Ces profils bombés de Clichy permettaient d'éviter les déformations de planéité des minces tôles d'aluminium grâce à la présence de ressorts à matelas à l'intérieur du panneau qui contraignaient la tôle pour la stabiliser dans la forme désirée. Les panneaux de bois bombés des baraquements permettent quant à eux d'avoir une épaisseur moindre au droit des assemblages – et donc une économie de matière – tout en conférant une inertie satisfaisante au panneau dans sa partie axiale. L'inertie au droit des assemblages entre les panneaux est donnée par les profils serreurs métalliques. Ce système constructif innovant fit l'objet d'un brevet déposé en août 1939⁵. Cette solution originale et pour le moins étonnante de panneaux bois

⁴ Guillerme *op. cit.*

⁵ Brevet d'invention n°849.762 « construction à ossature métallique démontable » du 21 Août 1939, in Sulzer P, *op. cit.*

bombés confirme qu'il y a chez Jean Prouvé une cohérence entre désir de forme et principe constructif sans que nous puissions déceler lequel des deux surdétermine l'autre.

Après cette expérience, Jean Prouvé travailla avec Pierre Jeanneret en 1941-1942 à la réalisation des *pavillons F 8x8 et F 8x12* sur commande du Bureau Central de la Construction (BCC) (fig. 2). Ces logements familiaux sont entièrement réalisés en bois compte tenu de la pénurie d'acier durant la guerre. Il s'agit tout d'abord de constructions préfabriquées en panneaux de bois, assemblés *in situ* sur un sous-bassement maçonné qui règle l'interface avec les spécificités des différents sols d'accueil. Le système structurel est celui du portique axial, mis au point en acier deux ans auparavant pour le *pavillon du Club SCAL* à Issoire et dont Prouvé réalise ici une variante en bois. Comme le note Christian Sumi⁶ : « *Prouvé s'oppose ainsi aux tenants d'une condition de réciprocité entre le choix du matériau et celui de la construction et se livre à des expérimentations sur la notion de transfert de principe constructifs d'un matériau à l'autre* ». Nous pourrions ajouter que le dessin de la poutre faitière évidée au droit de sa liaison sur le portique en Y est typiquement un dessin de construction métallique, destiné à alléger élégamment la pièce sur le principe d'égalité de résistance cher à Prouvé. Ce même évidement de matière sur une poutre en bois est techniquement difficile à justifier (fig.3).



Figs 2, 3 pavillon BCC, charpente en bois

⁶Sumi Christian, « l'utilisation du bois et la maison BCC » in *Jean Prouvé, la poésie de l'objet technique*, Collectif, Vitra design Muséum, 2004, pp. 194-196

Tout ce passe comme si, époque oblige, le bois était ici employé comme un *ersatz* de l'acier dont il conserverait malgré tout l'esthétique, affirmant déjà un « style Jean Prouvé ». Dès la guerre terminée, Jean Prouvé repris souvent le système constructif de portique axial acier associé à des enveloppes en panneaux porteurs mixtes fait d'ossature bois (*pavillons pour les sinistrés de Lorraine* 1945, (fig. 4) ou métalliques (*usine Ferembal*, Nancy 1947, *maisons expérimentales de Meudon* 1950-52) et de parements en bois, d'abord constitué banalement de deux faces de planches intérieures et extérieures, fixées sur une ossature centrale en tasseaux, qui devinrent peu à peu des panneaux sandwichs plus complexes fait de plaques de bois contrecollé, isolées et habillées d'une peau extérieure d'aluminium, comme pour la *colonie d'Air France* à Arbonne en 1954-55 (fig. 5). Bien que Prouvé ait aussi réalisé de nombreux panneaux à double parements métalliques, le principe de parements bois intérieurs est récurrent dans le domaine de l'habitation. D'autre part le bois offre l'avantage de résoudre le problème de la forte conductivité thermique du métal, source de

condensation intérieure. Il trouve donc naturellement sa place dans le travail de Prouvé qui tend à élaborer des dispositifs constructifs composites répondant, au-delà de leur stabilité, aux exigences de confort acoustique, thermique et d'éclairage comme à la difficile équation coût/bénéfices.

Ces expérimentations successives sur les panneaux de façades, élaborées depuis 1939 l'amène à déposer en 1955 un ambitieux brevet *d'éléments de construction d'immeubles et immeubles les mettant en œuvre*⁷ qui reprend le principe des panneaux mixtes composés d'une âme de bois contrecollé ou contreplaqué, d'une mince couche d'isolant et d'un revêtement extérieur métallique inoxydable. Ce brevet décrit en détail les panneaux eux-mêmes et leurs modes d'assemblages, l'immeuble apparaissant alors comme le résultat d'un meccano industriel. Les additions successives à ce brevet, jusqu'en 1957 perfectionneront les dispositifs techniques pour augmenter l'épaisseur de l'isolant par interposition de mousse de polystyrène expansé entre le panneau de contreplaqué et le revêtement métallique extérieur.

⁷ Brevet d'invention n°1 138 751 « *éléments de construction d'immeubles et immeubles les mettant en œuvre* » du 18 Juin 1955, in Sulzer P, *op. cit.*

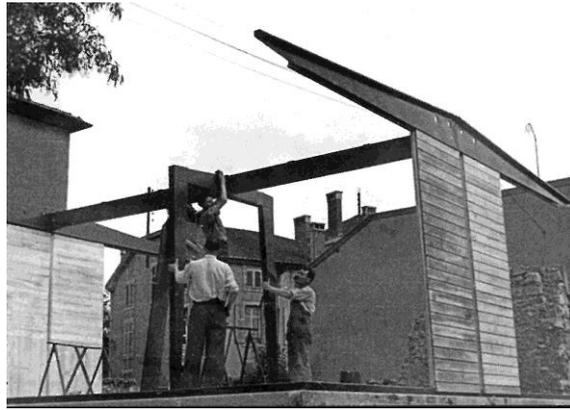


Fig. 4 Pavillons pour les sinistrés de Lorraine

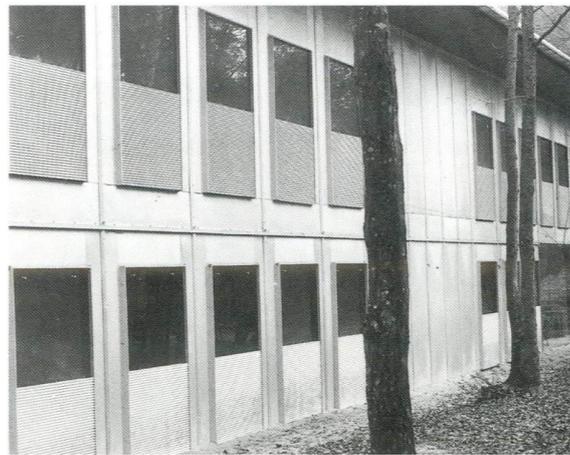


Fig. 5 Colonie d'Air France à Arbonne

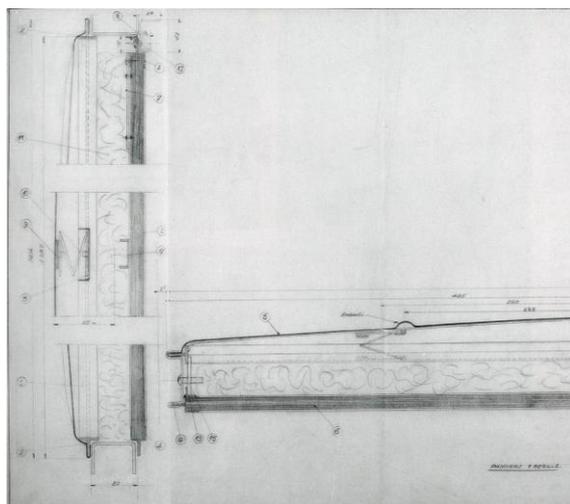


Fig.6 détails du panneau de façade des maisons Métropole

Cette progression du dispositif technique qu'on peut qualifier d'hypothèse-test⁸, depuis les assemblages artisanaux de bois massif des baraquements pour les sinistrés, remplacé par une âme en bois contrecollé revêtue d'aluminium jusqu'au panneau sandwich contreplaqué-isolation-aluminium sur ossature métallique légère de la *Maison Métropole*⁹ de 1953 (fig. 6) tend à alléger de plus en plus un panneau composite, dont les couches de matières successives se combinent pour améliorer sans cesse les qualités de solidité, d'étanchéité, de thermique et d'acoustique. Ces panneaux de façade sont pensés à la fois comme un objet technique optimisé en soi et un module de base de multiples combinaisons architecturales possibles.

Il faut ici rapprocher les travaux de Jean Prouvé sur la construction par panneaux industrialisés de ceux menés par Konrad Wachsmann, dont la trajectoire professionnelle est comparable. Tous deux nés en 1901 et morts en 1980 pour Wachsmann et 1984 pour Prouvé, ils ont traversé le XX^{ème} siècle et pris une part active à l'aventure de la modernité. Ils partageaient la conviction que le secteur de la construction, essentiellement artisanal, était inadapté aux exigences de la modernité, car incapable de répondre aux exigences de coût, quantité et qualité que l'époque demandait.

Jean Prouvé avait une formation initiale de ferronnier, Konrad Wachsmann de menuisier. Autodidactes, ils n'avaient ni diplôme d'ingénieur ni diplôme d'architecte mais ils se passionnaient pour l'industrialisation du bâtiment, au travers de la construction métallique pour Prouvé, et de la construction bois pour Wachsmann, qui peu à peu ouvrit le champ de sa réflexion à l'ensemble des filières de la construction. Les deux hommes furent des entrepreneurs qui connurent l'infortune avant de devenir des figures universitaires marquantes, engagées pour l'industrialisation de la construction, au Conservatoire National des Arts & Métiers à Paris ou au Chicago Institute of Design.

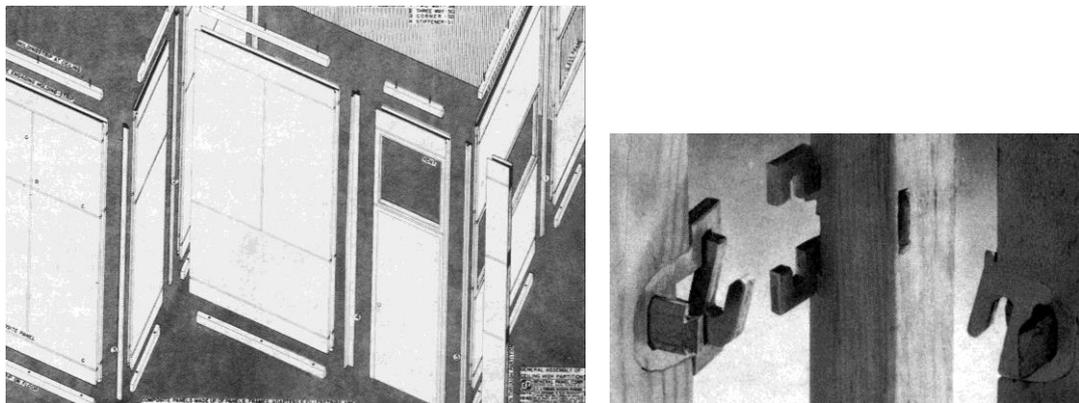
Wachsmann le « menuisier », réfléchissait à l'industrialisation des savoir-faire de la menuiserie traditionnelle comme le montre ses réflexions, d'abord parues dans *Holzhausbau – technik und gestaltung*¹⁰ en 1930 puis développées dans *Wedenpunkt*

⁸ Schön *op. cit.*

⁹ Avec Henri Prouvé architecte

¹⁰ Wachsmann *Holzhausbau – technik und gestaltung, op. cit.*

*im bauen*¹¹ en 1959 (fig. 7). Son travail portait essentiellement sur l'industrialisation de la filière bois et proposait des maisons « tout en bois » préfabriquées industriellement à partir de panneaux à montage rapide. Il développa un système de construction bois par panneaux préfabriqués qu'il expérimenta notamment avec le *Packaged House System* mis au point avec Walter Gropius en 1942. Il s'agit d'un produit fabriqué par la *Général Panels Corporation*, société industrielle créée pour l'occasion. Ce système permet la réalisation en kit de maisons entièrement préfabriquées dont un unique fabricant assure l'ensemble de la production et règle tous les aspects de la construction. Il autorise de nombreuses variations typologiques en plan dans la limite des dimensions standardisées des panneaux de façade et des portées de toiture. Le bois utilisé pour l'ossature des panneaux et des poutres de charpente sont réalisés en bois massif, probablement par souci d'économie, les plaques de bois industrielles n'étant utilisées que pour le contreventement et la fermeture des éléments préfabriqués. Wachsmann s'attacha à régler les détails d'assemblages entre panneaux avec d'élégants systèmes géométriques d'emboîtement bois-bois bloqués par clavetage métallique (fig. 8), ce qui offrait des gains de temps de montage évidents par rapport à des assemblages vissés ou boulonnés. Ces systèmes d'assemblages sont manifestement issus des savoir-faire de la menuiserie, mis à l'échelle du bâtiment.



Figs. 7, 8 Packaged House System, et assemblages clavetés, W. Gropius and K. Wachsmann

Jean Prouvé, le « ferronnier » adaptait le bois industriel aux savoir-faire des métiers de la construction métallique lorsque le matériau s'avérait une alternative pertinente

¹¹ Wachsmann, *Wedenpunkt im Bauen*, op. cit.

aux solutions métalliques. En élaborant des systèmes mixtes dans des logiques constructives qui ne sont pas celles de la menuiserie, il emmena le matériau vers d'autres possibilités qui étaient inconnues au sein des traditions des métiers du bois. Jean Prouvé su développer des assemblages de panneaux en bois par profils serreurs en métal à partir de ceux imaginés pour les baraquements militaires de 1939 (*fig. 1 ; fig. 9*) similaires à ceux qu'il développait pour ses murs-rideaux. Ces profils serreurs présentent un avantage manifeste en termes d'étanchéité sur le système d'assemblage par clavetage de Wachsmann car ils permettent d'écraser des joints souples sur toute la continuité de la liaison.

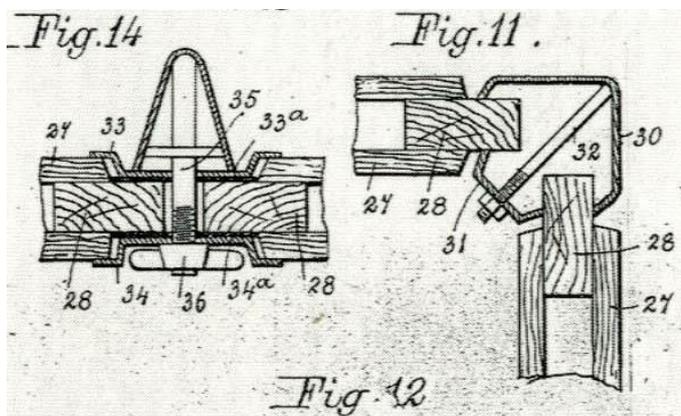


Fig. 9 Assemblages des panneaux des baraquements militaires de 1940

Ce système de construction par panneaux posa aux deux concepteurs la question de l'angle : Comment raccorder deux panneaux perpendiculaires tout en assurant correctement la continuité de l'étanchéité et de l'isolation ? Si Wachsmann opta pour des solutions de panneaux emboîtés dans des profils d'angles, Jean Prouvé se montra insatisfait par ce type de mise en œuvre expérimenté dans les premières constructions, jusqu'à sa *maison à Nancy* en 1954. Il trouva une alternative convaincante avec la *maison des Jours Meilleurs* construite pour l'abbé Pierre en 1956. Des éléments cintrés, d'un rayon d'environ 30cm, de même nature que les panneaux, ici en bois bakéliné, assurent le retournement de la façade et la continuité de l'enveloppe (*figs 10, 11*). En même temps, cette solution d'angle arrondis et continus présente une esthétique issue des productions industrielles de l'automobile et de l'aviation sans nul doute désirée par Jean Prouvé.

Leurs réflexions sur la préfabrication et l'industrialisation les conduisent à l'élaboration de logiques constructives sensiblement distinctes, imaginées *ad hoc*, projet après projet par Prouvé, ou théorisées sous forme de système complet par Wachsmann (1959). Le système constructif de la *Packaged House System* de Wachsmann présente un modèle constructif '*all inclusive*', déclinable en plusieurs typologies de plans, dans des logiques d'industrialisation fermée¹² ou de systèmes propriétaires. Il fait tendre l'architecture vers la notion de produit. Par opposition les logiques d'assemblages de sous-systèmes qui caractérisent l'œuvre de J. Prouvé permettent à des éléments constructifs d'origines variées de s'assembler sous des cohérences architecturales singulières. Dans ces modes constructifs la conception architecturale continue d'être pensée comme un « service », même si elle n'assemble plus des matériaux bruts par des savoir-faire artisanaux mais des sous-systèmes industrialisés dans une logique de *meccano*.

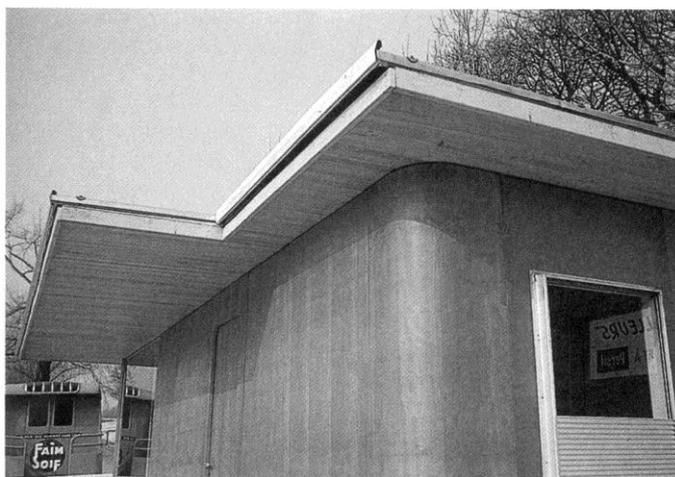


Fig. 10 Panneau d'angle courbe de la Maison des Jours Meilleurs

Ce procédé technique de construction par panneaux modulaires préfabriqués qui intègrent les portes et fenêtres mises en place en usine pour un gain de temps et de qualité fera l'objet d'un chapitre de son cours du CNAM¹³ entre 1957 et 1970 dans lequel il n'aura de cesse de développer des analogies entre la manière dont sont fabriqués tous les objets de l'époque et la manière dont devraient être fabriqués les

¹²Par opposition au concept d'*industrialisation ouverte* décrit par D. Grèzes, *op. cit.*

¹³Archieri et Alii, Prouvé, Cours du CNAM 1957-1970, Mardaga, Sprimont 1990

bâtiments, sans jamais dissocier l'objet de ses conditions de production (matières, outils, machines, processus).

Il réalisa la plupart de ses maisons à partir de ce dispositif de panneaux, avec nombre de variations sur les revêtements de surfaces, aussi souvent en bois qu'en métal. Lui-même dira : « *je trouvais sympathique de faire vivre les gens dans du bois, c'est un matériau qui s'entretient facilement, on peut le gratter, le remettre à neuf, il sent bon, il respire*¹⁴ ». Ainsi, Prouvé, l'homme du métal et de l'industrie a pleine conscience de la question de l'acceptabilité des matériaux et de leur dimension sensorielle. A titre d'exemple on peut identifier au moins sept maisons réalisées à partir de panneaux préfabriqués en revêtement bois et dont les toitures sont constituées de panneaux en bois contrecollé sur lesquels nous reviendrons plus en détail au chapitre « *franchir / couvrir* ».

Dès 1954, pour sa propre maison à Nancy, Jean Prouvé constitua une enveloppe porteuse faite de panneaux modulaires hétérogènes récupérés dans ses ateliers de Maxéville juste avant son départ. Dans l'esprit du *bricoleur* de Lévi-Strauss¹⁵ il opéra à partir d'un nombre réduit éléments disponibles et les adapta ou les détourna dans des dispositifs nouveaux (par opposition à l'esprit de l'*ingénieur* qui conceptualise entièrement son objet avant de fabriquer les éléments nécessaires à son élaboration). Ainsi, on trouve dans sa maison des panneaux à revêtement de bardage bois modèle « *usine Ferembal* » assemblés avec des panneaux en aluminium perforés d'oculi modèle « *maison tropicale* », associés, pour la première fois à des panneaux de bois contrecollé industriels détournés de leur fonction première de panneaux de silo agricoles pour assurer la structure porteuse à l'arrière de la maison ainsi que la couverture. Le travail de conception est alors d'inventer les compatibilités possibles entre ces sous-systèmes industrialisés¹⁶ préexistants dans une logique de développement expérimental.

En 1956 la *maison des Jours meilleurs* introduit les angles courbes en contreplaqué thermoformé qui relie des façades constituées de panneaux en bois, constitués d'un

¹⁴Extrait de l'entretien de Jean Prouvé issu de : Gauzit N., Jean P., Pigeat J.P., Schweitzer R. *Maisons de bois*, catalogue de l'exposition éponyme, Centre Georges Pompidou/CCI, 1979, pp. 57-59

¹⁵ Lévi-Strauss C. *La pensée sauvage*, Ed Plon, Paris 1962

¹⁶Prouvé expérimentait déjà un système constructif à partir de composants compatibles, lequel système sera théorisé 20 ans plus tard dans les réflexions sur l'industrialisation ouverte et sa « politique des composants », Charon, Grèzes, *op. cit.*

cadre revêtu de deux faces de contreplaqué bakélinisé collé sur une âme en bois aggloméré. A nouveau ces panneaux intègrent dès l'usine les éléments de portes et de fenêtres, réduisant le chantier à un lieu de montage.

Par la suite il systématisera cette solution de panneaux de façade raccordés par des angles courbes dans toutes ses maisons comme une sorte de solution industrielle optimale en même temps qu'une solution esthétique idéale. Seule la constitution des panneaux évoluera et les natures des parements varieront, en aluminium à *Epfig*¹⁷ en 1958, à *Saint Dié*¹⁸ en 1961 (*fig. 11*), en acajou à *Beauvallon*¹⁹ en 1960 (*fig. 12*), en bardage bois à *Cordon*²⁰ en 1962.

Après l'emploi du bois massif dans les premières constructions pour l'armée ou pour les sinistrés de la guerre, Jean Prouvé fit progresser ses dispositifs techniques en intégrant des bois transformés, produits par l'industrie, sous forme de contreplaqués ou de contrecollés. La dimension de ces produits industriels permet de les intégrer à la taille de ses panneaux de façades sans assemblages intermédiaires. Leur nature isotrope (les fils des panneaux contrecollés ou contreplaqués sont croisés) leur permet de travailler à égale résistance dans les deux directions du plan et de contreventer idéalement ces panneaux de façades.

¹⁷Avec Claude Prouvé architecte

¹⁸Avec H. Baumann et E Remondino architectes

¹⁹Avec N. Hutchinson architecte

²⁰Avec Claude Prouvé architecte

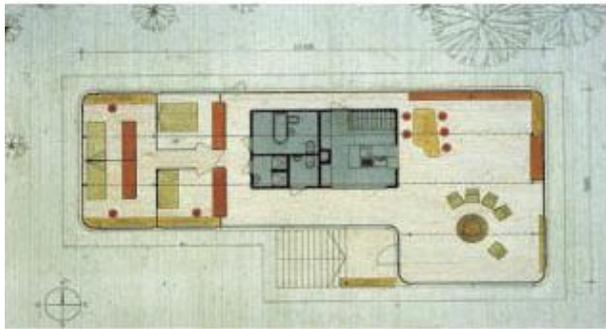


Fig. 11 Maison Dr Gauthier à Saint Dié

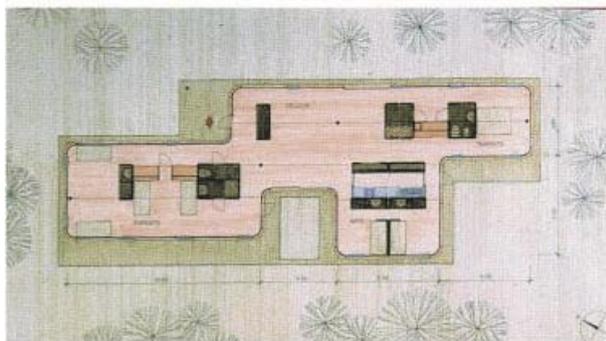


Fig. 12 Maison Seynave à Beauvallon

Franchir / couvrir

A partir de 1954, avec la réalisation de sa propre maison à Nancy, Jean Prouvé développa l'usage des panneaux de bois contrecollé dans la conception des toitures de ses bâtiments. Ces panneaux *Rousseau* du nom de leur fabricant étaient initialement produits pour la réalisation de silos agricoles. Composés de 3 lits croisés de planches collés par pression à chaud et d'une épaisseur totale de 40mm. Ils sont en quelque sorte l'ancêtre des *Cross Laminated Timber (CLT)* que nous connaissons aujourd'hui. Ces panneaux de bois contrecollés ont été mis au point et développés au début des années 50 grâce aux recherches sur les bois collés que menaient P. Gauthier, ingénieur qui apporta ses connaissances scientifiques à l'entrepreneur. Le collage des lames de bois croisées était à l'époque réalisé avec une colle urée-formol qui, bien que très résistante mécaniquement, ne garantissait pas encore la bonne tenue des assemblages à l'humidité et à la chaleur. Ce n'est qu'à partir de 1958 lorsque les colles résorcines américaines furent distribuées en France par la *Borden Chemical* que les bois collés (lamellé-collé et contrecollé) prirent leur essor, grâce à des assemblages devenus inertes mais aussi plus résistants que le bois lui-même.

Jean Prouvé détournera ces panneaux *Rousseau* de leur destination première en les employant non pas comme cloisons verticales mais en leur faisant assurer le franchissement de ses constructions. L'excellente résistance mécanique du panneau permettait de s'affranchir d'éléments de structure secondaires de type chevronnage et de porter directement sur une ou quelques pannes et sur les rives de façades constituées de panneaux porteurs. D'autre part ils formaient une surface mince qui constituait un diaphragme de contreventement dans le plan de la toiture. Un autre avantage de ces panneaux contrecollés résidait dans leur sous-face jugée assez propre et uniforme pour constituer le plafond de la maison, sans doublage. Ils offraient donc un triple gain de hauteur habitable, de matière et de temps de chantier. Toutes les maisons citées plus haut ont une toiture formée de ces panneaux *Rousseau*, reposant sur des panneaux modulaires²¹ de façade. Dès lors le dispositif expérimenté initialement avec la maison des jours meilleurs, qui comprend une toiture en

²¹ Il est intéressant de constater que le système sophistiqué de panneaux de la *Packaged House System* de Wachsmann (1942) proposait une solution de franchissement faite des fermettes recevant panneaux de couverture et faux-plafond, encore très banale par comparaison avec la solution des panneaux *Rousseau* que Prouvé utilise à partir de 1954.

panneaux de bois contrecollé dont les charges sont réparties sur un noyau central formant pièce d'eau d'une part et sur des panneaux de façade d'autre part sera reproduit de manière quasi-systématique sur l'ensemble de ses maisons, avec toutes les variations exigées par les contingences des sites, des programmes et des désirs des clients. La diversité de ces maisons apporte la preuve que cette conception par assemblage de sous-systèmes industrialisés n'est pas un frein à l'imagination et n'impose pas nécessairement une standardisation des propositions architecturales.

Enfin, ces panneaux de toitures en bois contrecollé de grandes dimensions (jusqu'à 13 mètres linéaires) présentaient une souplesse qui permettait de former des toitures courbes, voiles minces concaves ou convexes, dont la ligne parabolique est donnée par la flexion de la matière. Ces courbures, au-delà de constituer une pente d'écoulement de l'eau, ouvrent pour Jean Prouvé un nouveau registre de correspondance forme / structure.

A commencer par la propre maison du concepteur, à Nancy qui fut l'occasion d'expérimenter pour la première fois la flexion de ces éléments sur de grandes portées, en 1954 (*fig. 13*).

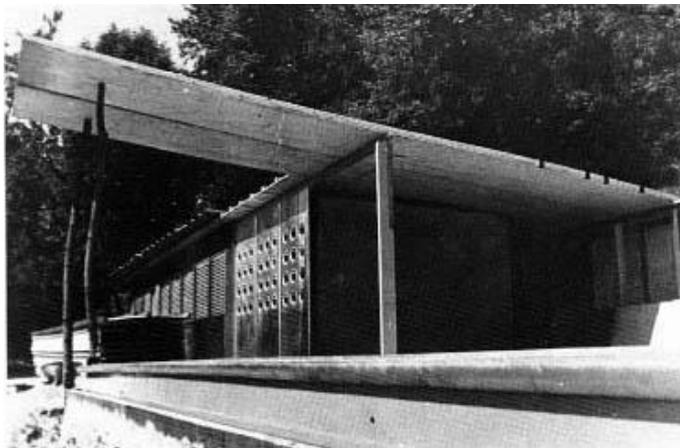
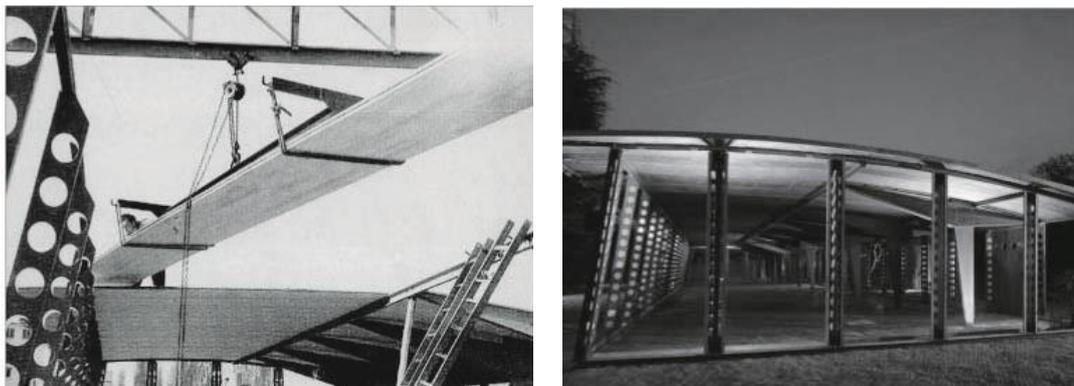


Fig. 13 Chantier de la Maison Prouvé à Nancy

Le toit de cette maison repose à l'arrière, coté talus, sur une sorte de grand meuble-mur dont les caissons sont eux aussi réalisés en panneaux *Rousseau* et à l'avant, coté vue, sur une façade constituée de panneaux modulaires de diverses natures. Entre ces deux extrémités distantes de 13 mètres, une panne métallique intermédiaire donne le point d'inflexion de la double courbure en S. Ces panneaux contrecollés de 40mm

d'épaisseur étaient ensuite habillés sur leur face extérieure d'une couche d'isolant et d'un bac aluminium assurant l'étanchéité à l'eau.

Deux autres projets de toiture courbes en panneaux contrecollés virent le jour en 1956. Tout d'abord *l'école nomade de Villejuif*²² dont la structure est constituée d'un alignement de béquilles métalliques en Y désaxées par rapport à l'axe longitudinal et supportant deux pannes intermédiaires (figs 14, 15).



Figs 14, 15 Ecole nomade de Villejuif, chantier et vue extérieure

Les panneaux de contrecollés assurent la couverture, portent en continu de façade à façade et décrivent une courbure réglée par les différents niveaux d'appuis intermédiaires, sur une portée de 8m75. Ces panneaux contrecollés sont ensuite, comme pour ses maisons, simplement recouverts d'isolant et de bacs métalliques (figs 16, 17). A l'intérieur, ils forment la sous-face visible des volumes habités. De la même manière suivront les projets des *églises nomades* et de la *colonie d'Air France* à Arbonne.

²²Avec J. Masson et R. Guidissi architectes

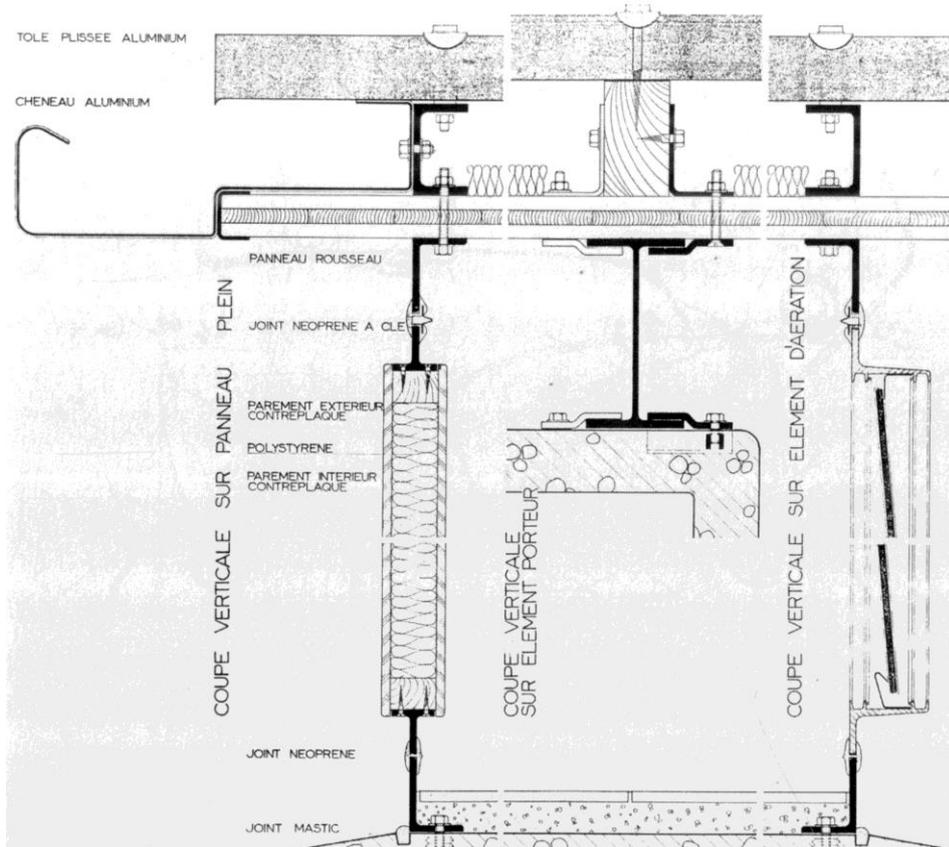


Fig. 16 détail de rive de toiture en panneaux Rousseau, Maison Seynave, Beauvallon

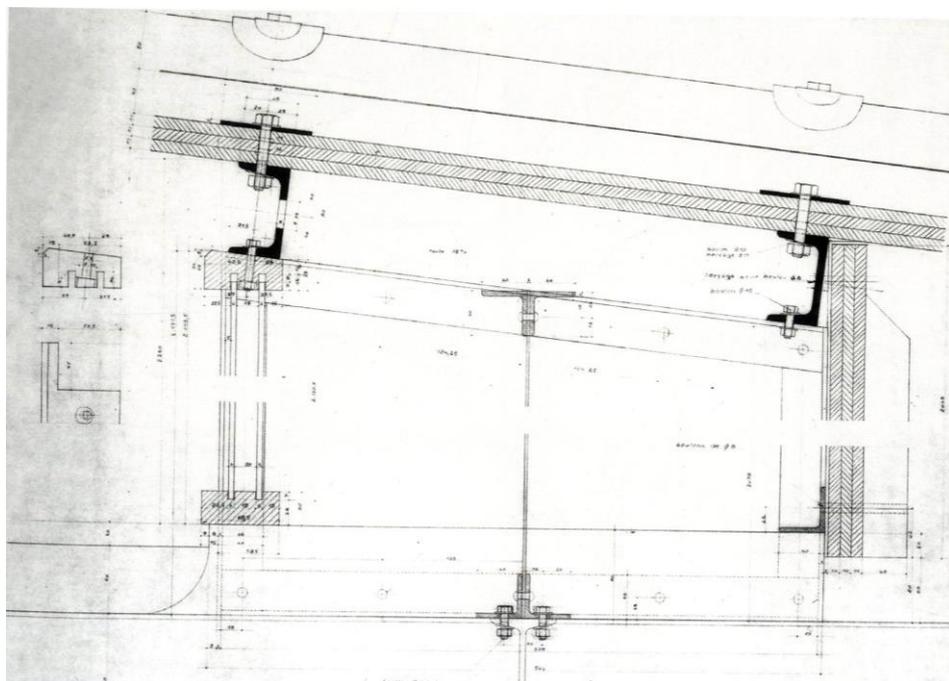


Fig. 17 détail de toiture en panneaux Rousseau, Maison Prouvé, Nancy

D'une conception similaire mais d'une tout autre échelle, la *buvette de la source Cachat* à Evian est elle aussi constituée d'une toiture courbe en appui sur des béquilles en Y (*fig. 18*). Ici la courbure de la toiture est inversée, l'appui sur la façade se situant plus haut que l'appui sur la béquille (contrairement à *l'école nomade* de Villejuif).



Fig. 18, Buvette d'Evian, vue intérieure, sous face des panneaux Rousseau

Toutefois le changement d'échelle a imposé une structure plus complexe, les panneaux bois contrecollés d'un seul tenant sur toute la largeur de l'édifice sont renforcés par des poutres en bois avec un profil en I courbé lors de la préfabrication. Ces dernières reçoivent à leur tour un chevronnage support du bac métallique de couverture. Néanmoins les photographies de chantier indiquent que la courbure de la buvette est bien celle de la flexion « naturelle » des panneaux contrecollés selon leurs appuis (*fig. 19*), les poutres courbes sont installées seulement après le lit de panneaux, pour rigidifier la construction (*figs 20, 21*). Ces poutres courbes permettent aussi de redresser la légère contre-courbure des panneaux en porte à faux au-delà du dernier appui et redonnent une lecture continue à la ligne de la toiture. Ici encore les panneaux contrecollés définissent la sous-face visible de la toiture. Prouvé fit preuve avec ces panneaux Rousseau d'une grande créativité en s'appropriant une innovation technique faite pour d'autres usages (des parois de silos), et la détourna vers de nouvelles fonctions faisant ainsi du projet d'architecture un foyer d'expérimentation des innovations techniques, nécessaire à leur développement.

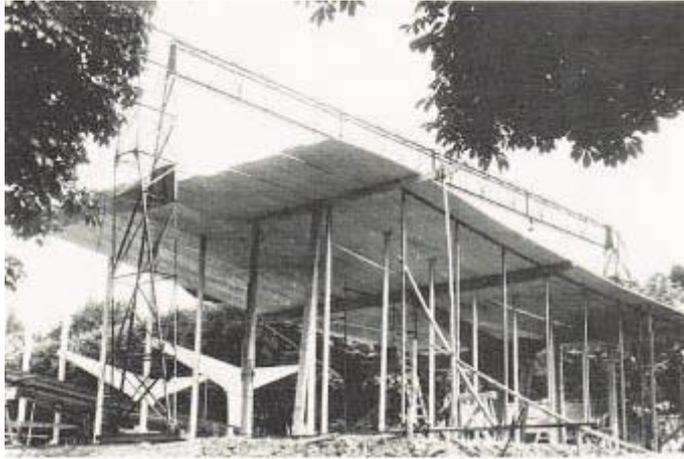


Fig. 19 Chantier de la Buvette d'Evian



Fig 20 Poutres courbes de la toiture

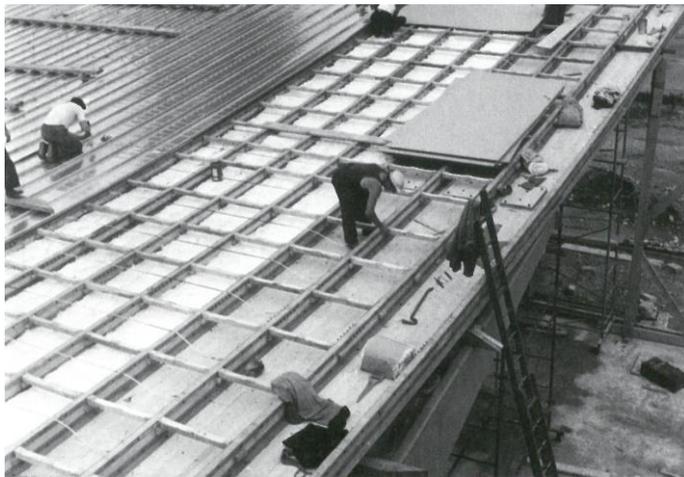


Fig. 21 Poutres courbes sur panneaux Rousseau

Jean Prouvé a d'autre part expérimenté la possibilité de réaliser des panneaux sandwich de toiture, légers, courbes et rigides, composés d'une face extérieure en aluminium, d'une face intérieure en contreplaqué et d'une âme en polyuréthane, avec le *club des Jeunes* à Ermont en 1966 (figs 22, 23). Ce dernier projet est constitué exclusivement d'une succession de travées de voûte de plein-cintre, d'une largeur d'environ 1m, simplement boulonnées entre elles, l'étanchéité étant assurée par un joint néoprène à lèvres mis en place lors du montage. Les rives de ces panneaux sont des planches en bois, découpées selon la courbure recherchée. Elles referment l'âme isolante et servent de surface d'appui aux jonctions boulonnées.



Fig. 22 Club des Jeunes à Ermont



Fig. 23 Panneau sandwich courbe du Club des Jeunes

Jean Prouvé justifiera le choix de l'aluminium extérieur pour sa résistance aux intempéries tandis que le contreplaqué, assez souple lui aussi pour suivre la courbure présente une bonne résistance aux coups et chocs liés aux usages intérieurs de ce club des Jeunes. La très grande simplicité constructive permettait aux associations de monter elles-mêmes ces édifices, sans main d'œuvre qualifiée, toute l'intelligence de la construction étant contenue dans le panneau préfabriqué lui-même, à la fois enveloppe, structure et quasi-unique élément de l'édifice.

Le bois comme matériau industriel : un discours

Cette utilisation du bois pour ses propriétés physiques et mécaniques, assemblé à d'autres matériaux dans des logiques de complémentarité que nous venons de décrire est rendue explicite par l'entretien qu'accorda Jean Prouvé lors de l'exposition « Maisons de Bois » au centre Georges Pompidou –CCI en 1979²³. Prouvé y déclare : « *je n'emploie pas le bois de manière traditionnelle. Je l'emploie en cherchant des éléments industrialisables qui le façonnent non pas comme le faisait autrefois les charpentiers mais par la machine...en bois ce qui compte c'est d'avoir un matériau fibreux. On reconstitue en disposant les fibres beaucoup mieux, cela permet d'avoir des portées énormes* »

Mais aussi, pavé dans la mare des architectes du renouveau de l'architecture de bois présentés dans cette exposition : « *Ces systèmes à ossature sont abominables, c'est inintéressant à notre époque de se servir du bois de cette façon-là, il y a des moyens modernes de façonnage qui permettent de tirer un autre parti du bois. Si l'on doit se mettre à construire des maisons en bois comme les américains, ça n'a aucun intérêt quant à ce qu'on pourrait tirer d'un matériau comme celui-là. Il y a là une grande indigence de certains.* ».

Sa démarche innovante s'appuyait sur des inventions techniques (notamment les matériaux bois transformés), des transferts de technologie issus de la métallurgie et des nouvelles formes d'organisation (l'industrialisation du bâtiment). Elle se prétendait dégagée de tout présumé esthétique et revendiquait de poser le problème avant d'y répondre. Dans la pensée de Jean Prouvé, les matériaux se combinent, avec pragmatisme, en fonction des performances à atteindre. Cette façon

²³Extrait de l'entretien de Jean Prouvé issu de : Gauzit N. et alii. *Maisons de bois*, op. cit. pp.57-59

de faire est très éloignée de celle, fréquente chez les architectes, de l'emploi d'un matériau exclusif au nom de la radicalité esthétique : « tout en bois », « tout en acier » ou « tout en béton ». Prouvé construit *avec* le bois plutôt qu'*en* bois. Et si une esthétique s'en dégage - car il y a bien un style Jean Prouvé - elle représente d'abord la modernité, fascinée par ses objets techniques, ses voitures, ses avions, autant que par ses nouveaux moyens de production dans une attitude de conception où les choses et les signes ne sont pas dissociés. Nous pourrions dire que le travail de Jean Prouvé mobilise d'abord la nature telle qu'elle est (ici la résistance mécanique du bois, sa nature fibreuse, sa souplesse, sa légèreté ou sa conductivité thermique) et secondairement comme représentation symbolique (ici ce que le bois peut évoquer de sain, d'écologique et de chaleureux).

Il est intéressant de noter que dans les années 70', l'Etat français s'inspirera de la démarche de Jean Prouvé pour tenter, selon sa culture interventionniste, de transformer le secteur de construction dominée par l'industrie lourde du béton en finançant des recherches et des réalisations expérimentales en faveur d'une industrialisation du secteur dite « industrialisation ouverte » régit par des règles de coordination dimensionnelle et de compatibilité d'assemblage entre tous les composants produits par les diverses filières industrielles de la construction. L'objectif était double : d'une part rompre le monopole qu'avait acquis la filière du béton depuis l'après-guerre en ouvrant les marchés de construction de logements à d'autres acteurs, notamment les filières bois et acier et d'autre part favoriser la diversité architecturale après le traumatisme des grands ensembles, sans perdre les avantages de l'industrie. Cette « industrialisation ouverte » était imaginée comme une sorte de grand *meccano* puisant dans les catalogues des produits industriels tous compatibles entre eux car fédérés par des normes dimensionnelles communes. Dans les différents rapports de recherche menés à ce sujet, Jean Prouvé est souvent cité comme précurseur, comme un modèle à suivre. Mais ce concept d'Industrialisation Ouverte ou « politique des composants » n'a pas connu de réussite au-delà des quelques réalisations expérimentales subventionnées.

De même, les travaux révolutionnaires de Jean Prouvé préfigurant l'industrialisation et la production en série sont restés à l'état de prototypes uniques (ou de minuscules séries), réalisés de manière artisanale ou proto-industrielle et n'ont pas permis

d'initier l'industrialisation du bâtiment qu'ils imaginaient, mais simplement de nous donner un aperçu de ce à quoi elle aurait pu ressembler. L'objet technique reproductible qui devait remplacer l'œuvre unique se découvre être une œuvre à part entière. L'ironie de l'Histoire place désormais les prototypes de Prouvé dans des galeries d'art et le monde de l'architecture l'accueille bras ouverts dans son Panthéon. Il n'en demeure pas moins que Jean Prouvé reste en France l'artisan d'une tentative remarquable de refonte de la pensée technique en architecture, en cohérence avec les moyens industriels de son époque qui s'illustre particulièrement bien au travers de l'usage qu'il fit du matériau bois, dépassant la culture artisanale du charpentier pour découvrir un matériau moderne aux ressources bien plus performantes. Il y a fort à parier que les exigences environnementales contemporaines qui imposent désormais à l'architecture des performances élevées, notamment en matière de comportement thermique des enveloppes, de physique des matériaux, de qualité constructive et d'économie de matière ne nous permettent plus de nous satisfaire d'une écologie symbolique ou *greenwashing* et nous amènent à réviser une nouvelle fois la leçon de Jean Prouvé.

Conclusion

Plus largement l'étude de ce travail d'expérimentation constructive permet de mettre en évidence quatre qualités essentielles de l'œuvre de Jean Prouvé :

La première est d'inscrire le bois dans la modernité en expérimentant ses formes innovantes de matériau industriel. Le bois participe alors à l'élaboration de sous-systèmes constructifs, au bénéfice des propriétés physico-mécaniques nouvelles des bois transformés. Jean Prouvé rompt ainsi avec les traditions séculaires de la charpenterie bois et offre de nouveaux débouchés à la filière.

La seconde est d'avoir su aborder les enjeux techniques de la construction de manière créative au sens où l'entendait Gilbert Simondon²⁴, c'est-à-dire par aptitude à faire jouer un rôle instrumental à des objets ou des matériaux inhabituels, d'en extraire des propriétés non explicites, pour résoudre des problèmes de façon rapide, originale et efficace, tels que nous avons pu le voir avec les panneaux Rousseau. Il montre que sous le régime industriel l'architecture devient le lieu d'expérimentation et

²⁴ Simondon Gilbert, *Imagination et invention 1965-66*, Ed. La Transparence, Chatou, 2008 p.329

d'adaptation d'inventions techniques extérieures au projet, aux conditions particulières d'un lieu ou d'un programme spécifique. La capacité de ces inventions à devenir des innovations dépend alors de la capacité des concepteurs à les accueillir et à leur faire passer l'épreuve de la création architecturale, de l'expérimentation en situation complexe. Nous pouvons néanmoins nous interroger pour savoir si le contexte français actuel saturé de normes, de règlements et de certifications permettent encore la liberté d'expérimenter dont Prouvé bénéficia ?

La troisième qualité est d'avoir développé ses sous-systèmes constructifs comme des objets techniques industriels en travaillant peu à peu à l'élévation de leur degré de cohérence interne, à l'auto-corrélation entre tous leurs constituants afin d'en élever la performance en élaborant des synergies fonctionnelles, comme le montre très bien l'évolution de ses panneaux de façades, des premières baraques pour l'armée en 1939 jusqu'à la solution de panneaux courbes développés pour le Club des Jeunes à Ermont en 1966. De même, à l'échelle des édifices eux-mêmes, les réflexions sur l'assemblage architectural de ses sous-systèmes industriels présentent une continuité de développement remarquable. Jean Prouvé, comme un industriel, poursuivait un but vers la solution optimale, plutôt qu'il n'accumulait des œuvres. Cette démarche que nous qualifierions aujourd'hui de R&D est particulièrement observable dans l'évolution de ses maisons, depuis sa propre maison en 1954 jusqu'à la maison à Cordon en 1962. Cette évolution du type vers sa solution technique optimale n'a par ailleurs pas imposé la standardisation ni l'appauvrissement architectural redoutée par beaucoup d'architectes.

La quatrième qualité est d'avoir été un précurseur de la transition de la construction bois de l'art du charpentier vers l'art de l'ingénieur²⁵, en réalisant avec la buvette d'Evian le premier voile mince en bois de grande échelle. Et ce n'est pas un hasard si Robert Lourdin, pionnier français de l'ingénierie de la construction bois entre 1960 et 1980 et qui réalisa de nombreuses structures spatiales aussi innovantes techniquement que remarquables architecturalement fut l'élève de Jean Prouvé au CNAM.

Son approche de l'architecture est rare en France. Elle correspond bien à la définition de l'innovation formulée en 1911 par Joseph Schumpeter comme « l'exécution de

²⁵ Berthier, S, « De l'art du charpentier à l'art de l'ingénieur » in *Séquence bois* n°104, Avril 2015. pp. 4-7

nouvelles combinaisons de production », ici à partir des matériaux bois issus de la transformation industrielle, des modes constructifs par préfabrication, et des sciences de l'ingénieur, qui convergent et se combinent pour la réalisation de programmes contemporains. Ce travail de développement technique expérimental vital à l'innovation, n'est que rarement énoncée de manière explicite dans le monde de l'architecture française qui considère la technique comme instrumentale et la relègue régulièrement au second plan derrière les enjeux d'usage, d'espace et de narration. Pourtant il définit le rôle de l'architecte comme un acteur de l'innovation constructive qui participe à sa manière, avec ses outils et ses méthodes, à l'évolution des techniques et fait du projet d'architecture un outil de connaissance à part entière.

--

Toutes illustrations issues du fonds Jean Prouvé conservé à la bibliothèque Kandinsky du Centre Georges Pompidou



De l'art du charpentier à l'art de l'ingénieur
Les structures spatiales de Robert Lourdin

Résumé

L'article retrace le développement en France, au tournant des années 1960, d'un « art de l'ingénieur » des structures en bois. A la croisée des sciences de l'ingénieur, de l'émergence des bois transformés et des nouveaux outils de construction, des édifices en bois innovants vont apparaître, radicalement différents de ceux issus de la charpenterie traditionnelle.

L'œuvre de Robert Lourdin, architecte-ingénieur, élève de Jean Prouvé au CNAM et disciple de Robert Le Ricolais, explore les possibilités techniques et architecturales des structures spatiales en bois. Tandis que la charpenterie traditionnelle est un système de report de charges ponctuelles au travers d'éléments successivement porteurs puis portés, Robert Lourdin va expérimenter la réalisation de structures spatiales, caractérisées par des surfaces continues dont la géométrie définit une portance multidirectionnelle répartissant les déformations grâce à une meilleure solidarité structurelle. Cette évolution de la conception a permis au bois d'investir les registres architectoniques des nappes, grilles, structures plissées et autres voiles minces, dont les principes géométriques et statiques sont encore à la base de l'architecture dite paramétrique que nous connaissons aujourd'hui.

Au tournant des années 60 la filière bois connaît en France un développement en rupture avec la tradition de la charpente telle que portée par les compagnons du devoir. Les développements scientifiques et les outils industriels permettent de produire de manière courante, dans le domaine de la construction, de nouveaux types de matériaux issus de la transformation du bois tels que les panneaux de contreplaqués et de particules, les bois lamellé-collé et contrecollés. Même si ces différents produits ont été inventés antérieurement, c'est à cette époque qu'un certain nombre d'innovations industrielles permet leur production régulière, normalisée et sécurisée, grâce aux développements de l'ingénierie. De surcroît, les assemblages bois-bois traditionnellement au cœur du métier de charpentier cèdent la place aux assemblages métalliques, plus sûrs et plus performants. A la rencontre d'innovations scientifiques et techniques, la construction en bois va pouvoir changer d'échelle et concurrencer les performances dimensionnelles des matériaux modernes tels que l'acier et le béton armé. Le bois, sous ses formes transformées, devient à son tour un matériau moderne.

De nombreuses œuvres architecturales de cette époque sont l'expression lyrique de ces innovations. Elles explorent les possibilités de changement d'échelle des constructions et partent à la conquête de la grande portée en structure bois.

Afin d'instruire le plus rigoureusement possible cette rupture, il est nécessaire dans un premier temps de définir ce que l'on entend par « l'art de l'ingénieur » et ce qui le distingue de « l'art du charpentier », en analysant notamment la nature des

connaissances qu'ils sollicitent. Il convient ensuite d'observer les conditions scientifiques et industrielles et les foyers d'inventions qui, sous forme de *grappes d'innovations*¹, ont permis la création de matériaux nouveaux dérivés d'une matière première commune, ainsi que les freins culturels qui s'y sont opposés. Enfin, nous développerons les caractéristiques de cet art de l'ingénieur en France au travers de l'œuvre pionnière de Robert Lourdin, architecte-ingénieur, élève de Jean Prouvé au CNAM, qui a consacré sa carrière au développement des structures spatiales en bois à partir de 1960, dans la lignée des recherches théoriques de Robert Le Ricolais.

L'art de l'ingénieur : une catégorie de l'architecture

Nous identifierons les œuvres architecturales appartenant à la catégorie de 'l'art de l'ingénieur' en référence à la définition qu'en donne Antoine Picon², pour qui il s'agit d'un art des structures servi par une pensée technique armée de la connaissance scientifique, dans le but de tirer de la matière une performance maximale. L'art de l'ingénieur opère une transformation qui fait basculer l'architecture des arts libéraux vers les arts mécanistes, dégagés du recours aux symboles culturels caractéristiques de la création architecturale. Cet art est bien une catégorie de l'architecture, pour autant que l'on considère que c'est l'œuvre qui fait l'architecte et non le diplôme. Cet art exploite les possibilités de matériaux neufs, sans la surcharge des traditions constructives accumulées sur les matériaux traditionnels et relayée par les artisans ou les architectes. Il n'en est pas pour autant une production scientifique neutre et objective ; il porte bien des choix formels délibérés recherchant le lyrisme de la structure, de la performance et de l'économie de matière. Pour Antoine Picon, la pensée technique est une forme hybride qui associe le mode de pensée intuitif des artistes et la pensée analytique scientifique³. Sa beauté est celle, universelle et abstraite, de la mécanique des formes : *forms follows gravity*.

A la différence des autres matériaux de la modernité, dont les registres architecturaux sont contemporains de leur émergence, la construction bois est riche d'une très longue tradition artisanale dont elle doit se départir pour entrer dans l'ère de l'industrialisation. Le poids de cette antériorité et l'acculturation qu'elle impose

¹ Schumpeter *op. cit.*

² Picon A. *L'art de l'ingénieur, op. cit.*

³ *Ibidem*

expliquent en partie le retard de développement industriel de la filière bois comparativement aux matériaux modernes. L'art du charpentier est avant tout un art de l'assemblage, limité dans ses échelles par les dimensions maximales des éléments extraits de l'arbre et par la valeur mécanique relativement faible des liaisons bois-bois qui entraînent généralement un surdimensionnement des pièces. Les bois transformés, dont les dimensions ne sont plus limitées par l'arbre mais par les moyens de production, ainsi que les assemblages métalliques qui réduisent les sections de transfert des efforts dans les éléments en bois vont changer la nature de la construction bois et engager une rupture avec les habitudes et les modèles qui se sont constituées à partir du bois massif assemblé.

Il faut préciser ici que l'art de l'ingénieur n'est pas la poursuite de l'art du charpentier par d'autres moyens et à d'autres échelles, mais marque un changement d'*épistémè*, c'est-à-dire le passage d'un état de la pensée ordonnée, stable et unitaire des connaissances à un autre.⁴ Ce changement d'état s'exprime dans le passage de la pensée artisanale des savoir-faire des compagnons charpentiers vers la pensée industrielle, servie par les connaissances scientifiques et techniques. Gilbert Simondon⁵ définit l'artisanat comme un *savoir technique implicite et coutumier dont les manières d'agir et les procédés se conservent et se transmettent à travers le temps sans apprendre ni oublier*. L'objet créé reste dépendant des moyens concrets de sa réalisation ; les inventions ne se manifestent pas en dehors de l'opérateur, qui peut les répéter à l'occasion de tâches analogues mais non les formaliser comme un absolu. Par opposition, Simondon décrit l'ingénieur et ses objets industriels comme un mode explicite dont le savoir technique est réfléchi avec les moyens rationnels de la connaissance élaborée par les sciences. Le manuel est celui qui produit d'après un schématisme intuitif au niveau des choses matérielles tandis que le scientifique conceptualise les qualités sensibles, avant de les réinvestir dans l'invention.⁶ L'histoire française de ce mode de connaissance trouve sa source chez les encyclopédistes du XVIII^{ème} siècle ; polytechnique par nature, il assure la mise en commun des connaissances techniques en les libérant de leurs carcans corporatistes. Dès lors ce n'est pas chaque invention, chaque innovation qu'il convient d'observer

⁴ Foucault Michel, *Le jeu de Michel Foucault (1977), Dits et écrits, T. II*, Gallimard, Paris 1994.

⁵ Simondon Gilbert, *L'invention dans les techniques, op. cit.*

⁶ *Ibidem.*

indépendamment les unes des autres, mais le réseau qu'elles tissent, les médiations qu'elles opèrent entre elles et qui élargissent le champ des possibles. La formule lapidaire de Niels Bohr⁷ selon laquelle *ce n'est pas en essayant d'améliorer la bougie qu'on a pu inventer l'électricité* résume bien la situation : c'est la somme des découvertes et des inventions reliées en matière de connaissances scientifiques, de production d'énergie électrique, de réseau de transport, d'interface de modulation du courant et de terminaux comme l'ampoule à incandescence qui permet l'innovation de l'éclairage électrique. De manière similaire, la mise en relation des connaissances physiques et mécaniques du matériau, des outils modernes de production et de la conceptualisation de la mécanique des formes, va permettre au bois de devenir moderne.

Diffusion de la connaissance

La diffusion de la connaissance est un bon marqueur de ce changement d'épistémè. Cet art des grandes structures en bois est principalement connu dans le champ de l'architecture en France grâce à Julius Natterer, ingénieur allemand diplômé en 1965 et enseignant à l'EPFL à partir de 1978. Il publiera *Holzbau Atlas*⁸ la même année, monographie qui regroupe et ordonne 20 ans de production de grandes structures en bois. L'ouvrage sera traduit en français sous le titre *Construire en bois*⁹ en 1987 et réédité régulièrement depuis par les Presses Universitaires Romandes. Destiné à vulgariser la construction moderne en bois auprès des architectes, il est constitué comme un cours de construction, débutant par une présentation des caractéristiques physico-mécaniques du matériau, des matériaux transformés et des principes généraux de la construction en bois, ainsi qu'un exposé sur les systèmes statiques universels, de la poutre simple sur appuis jusqu'aux structures spatiales tenant leur rigidité de leur forme. La seconde partie de l'ouvrage donne un aperçu détaillé de réalisations (166) classées par systèmes statiques, principalement construites entre 1965 et 1977, rarement avant, et jamais avant 1960, hormis une référence américaine de coupole réticulée datée de 1957. Un grand nombre de ces références avaient préalablement été publiées individuellement dans les revues allemandes *Detail* et

⁷ Bohr Niels, citation apocryphe

⁸ Natterer *Holzbau Atlas op. cit.*

⁹ Natterer *Construire en bois, op. cit.*

Bauen mit Holz, aussi nous pouvons penser que les architectes germanophones ont bénéficiés d'un accès précoce à cette connaissance. Ces œuvres sont au service de programmes de grande échelle de la modernité : halles, gares, salles de sports, salles de concert, églises des villes nouvelles etc. constituant un corpus international avec une forte représentation allemande et suisse. Cette densité géographique, sans doute légitime au regard des quantités produites, pourrait faire penser que ces deux pays sont les berceaux de la construction moderne en bois. Mais les innovations en la matière s'avèrent en réalité plus diffuses et plus internationales. Elles sont liées, pour une part importante, aux découvertes nord-américaines de colles résorcine qui lèvent un verrou technologique permettant la réalisation pérenne des grandes structures en bois lamellé-collé ; grâce aux progrès de la chimie, le joint de collage n'est plus le maillon faible du procédé.

D'autre part ces innovations tiennent aussi aux recherches scientifiques sur le matériau que les deux guerres mondiales accélèrent, aux développements des outils de production d'après-guerre et aux progrès de l'ingénierie de conception hérités des grandes structures en acier et en béton armé de la première moitié du XX^{ème} siècle. La construction moderne en bois ne naît pas d'une évolution endogène des connaissances qui fondaient le métier traditionnel de charpentier mais se nourrit du transfert des connaissances acquises par l'ingénierie générale.

En France, l'*encyclopédie des métiers de la charpente et de la construction en bois*¹⁰ éditée en 1977, par la Librairie des Compagnons du Devoir dresse un état complet des savoirs en la matière de la tradition des charpentiers jusqu'aux constructions modernes, avec un niveau de précision et d'exhaustivité extraordinaire. L'ouvrage alerte aussi à de nombreuses reprises sur le constat de désintérêt du corps des compagnons du devoir pour les formes de production moderne et en analyse assez bien le risque pour la corporation. Malheureusement cette magnifique encyclopédie en dix volumes grand format, constituée de feuillets imprimés sur papier vélin et vendue à un prix exorbitant n'a pas connu une diffusion aussi large que celle de la monographie allemande *Holzbau Atlas*¹¹ sortie un an plus tard. Néanmoins elle permet de faire le lien, ou plutôt de noter la rupture entre la tradition de la charpente

¹⁰ Collectif. *Encyclopédie des métiers, op. cit.*

¹¹ Natterer *op. cit.*

et les modes de conception et de construction modernes. D'un point de vue sémantique les termes architectoniques de *combles droits*, à *pan coupé*, *en étoiles*, à *base polygonales*, *impériaux*, à *bulbes* etc. cèdent la place aux *grilles*, *structures plissées*, *coques* et autres *structures spatiales*. Les *fermes* deviennent des *portiques*, *arcs à deux ou trois articulations*. Les éléments de constructions comme les *arbalétrier*, *entrait*, *poinçon*, *blochet*, *contrefiche* etc. s'appellent désormais *membrure*, *barre*, *panneau*, *caisson ou voile*. Les assemblages connus sous les noms *d'enture*, *d'embrèvement*, *tenon-mortaise*, *moisement*, *cheville ou clavette* deviennent des *boulon*, *broche*, *crampon*, *anneau*, *boitier*, *éclisse ou étrier*. Nous pourrions poursuivre encore longtemps l'illustration de ces changements sémantiques qui donnent à lire la mutation qui s'est opérée, mais l'important est de montrer en quoi ils sont les signes d'un changement d'*épistémè* qui voit le savoir du charpentier remplacé par le savoir de l'ingénieur, lequel n'est plus lié spécifiquement au matériau considéré, mais de nature universelle.

Conditions scientifiques et techniques de l'émergence de la construction en bois moderne

Les grandes structures en bois peuvent apparaître quand sont réunies les conditions scientifiques et techniques permettant une utilisation régulée et sécurisée des bois transformés. Ces conditions, qui ne sont pas nécessairement simultanées dans le temps, ni dans l'espace, font suffisamment masse après la seconde guerre mondiale pour constituer des grappes d'innovations qui entrent en synergie et transforment la filière de la construction bois. Elles concernent l'élaboration des connaissances physico-mécaniques de la matière, la mise au point des bois transformés, des assemblages métalliques et des moyens industriels de production et d'exécution (transport et levage).

Selon J. Campredon¹², l'élaboration d'un corpus de connaissances physico-mécaniques s'inscrit dans la longueur de l'histoire et bénéficie de la curiosité des premiers savants de la Renaissance, de la recherche organisée de la connaissance des Encyclopédistes, jusqu'aux recherches scientifiques modernes. Il faut remonter à Galilée au XVI^{ème} siècle pour trouver les premières tentatives pour fixer par des

¹² Campredon *op. cit.*

données numériques les caractéristiques d'emploi des bois, puis citer les ouvrages de Parent en 1707 : « *Expériences sur la résistance des bois de chêne et de sapin* » ; de Buffon en 1740 : « *Expériences sur la force des bois quarrés* » ; de Duhamel du Monceau, de la Marine Royale, en 1767 : « *Du transport, de la conservation et de la force des bois* » ; de Poncelet en 1777 : « *Essais sur le flambage des poteaux en bois* » ; ou encore l'ouvrage de Dupin de l'Ecole Polytechnique en 1815 : « *Expériences sur la flexibilité, la force et l'élasticité des bois* ». A partir de 1850 se créent les premiers véritables laboratoires d'essais de matériaux, d'abord avec celui de l'Ecole des Ponts et Chaussées, puis celui de la Ville de Paris en 1870 et la création en 1894 de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts de Nancy.

En France, c'est toutefois durant l'entre-deux-guerres que va se constituer la connaissance moderne du matériau, avec M. Monnin qui crée dès 1918 le Laboratoire Aéronautique Militaire, dédié à la mise au point de matériaux bois pour l'aviation naissante dont les méthodes d'essais physiques et mécaniques sont encore à la base des essais normalisés contemporains¹³. Aux Etats-Unis, les premières colles résistantes à l'eau sont testées par l'armée en 1937 dans le but de créer un dragueur de mines en bois lamellé-collé dont la coque ne déclencherait pas les détonateurs magnétiques¹⁴. C'est sans aucun doute les besoins liés à des domaines d'application nouveaux tels que l'aéronautique militaire qui accélèrent les recherches scientifiques, pour tenter de décrire et caractériser un matériau naturel anisotrope, hétérogène dans sa section, de l'aubier au cœur, et dont les défauts naturels sont nombreux : nœuds, anomalies de croissance, fibres torsées, fentes, décollement, gerces, blessures, biodégradabilité etc.

En 1930 J. Campredon crée l'Ecole Forestière Nationale, qui deviendra l'Institut National du Bois puis le Centre Technique du Bois et enfin l'institut technologique FCBA que nous connaissons aujourd'hui. En 1942 sont éditées les premières normes AFNOR B 5-22 « *Propriétés physiques et mécaniques du bois* » et en 1948 J. Campredon publie « *Le bois, matériau de la construction moderne* ». ¹⁵

¹³ Monnin *op. cit.*

¹⁴ Berthier S. Entretien avec Robert Lourdin *op. cit.*

¹⁵ Campredon *op. cit.*

Les développements scientifiques à l'étranger semblent suivre sensiblement la même chronologie. On citera pour l'exemple les ouvrages de F. Kollmann « *Technologie des Holzes* » en 1936 ; A. Mac Elhannay « *Les bois du Canada et leurs propriétés, leurs usages* » en 1940 ; L. Markwardt « *Wood as an engineering material* » en 1943 ou encore F. Henderson « *Timber, its properties, pests and preservation* » à Londres en 1945.

De la même manière, les connaissances en matière de séchage accéléré des bois et de protection chimique contre les champignons lignivores et les insectes xylophages, ainsi que les tentatives d'ignifugation sont élaborés entre-deux-guerres ; les ouvrages cités par J. Campredon s'y rapportant sont datés à partir de 1921. Les premiers essais mécaniques sur les assemblages métalliques cités sont datés de 1925.

Cette élaboration de la connaissance scientifique, initiée de longue date, s'accélère donc entre-deux-guerres car les nouveaux domaines d'application comme les nouvelles échelles de construction ne se contentent plus des savoir-faire empiriques des charpentiers qui sécurisaient les faiblesses du matériau en surdimensionnant les éléments. Ni l'aviation ni les grandes portées ne tolèrent l'excès de surcharge et l'incertitude dans la transmission des efforts. Il convient donc de se donner les moyens d'optimiser la matière et de contrôler ses comportements, objectifs principaux de l'ingénierie.

Le bois comme matériau transformé

Ces avancées des connaissances scientifiques et techniques vont permettre de développer les matériaux transformés dérivés du bois en vue d'en améliorer les propriétés et de les produire à grande échelle et à moindre coût. Les premières inventions de ces matériaux remontent à la fin du XIX^{ème} siècle, début du XX^{ème}. Ces matériaux transformés permettent d'utiliser les parties de l'arbre traditionnellement non exploitées comme pièces maîtresses de bois d'œuvre et donc bon marché, lesquelles sont décomposées et reconstituées par collage en disposant artificiellement les fibres selon les performances souhaitées. Ces dispositions permettent aussi de répartir le risque statistique des défauts naturels du bois sur un grand nombre de petites pièces, augmentant ainsi la fiabilité des produits reconstitués. Ces procédés permettent d'obtenir avec le bois lamellé-collé (BLC), des

pièces de bois de formes variables mais dont les fibres du bois suivent toujours la ligne de contrainte, ou d'obtenir des matériaux isotropes (contreplaqué, contrecollé, particules) à partir d'une matière première anisotrope. La littérature technologique désormais abondante sur ces matériaux nous permet de faire ici l'impasse sur de trop longues descriptions, nous nous bornerons à resituer historiquement les principaux jalons des produits les plus couramment utilisés dans la construction.

Les premiers essais concluants de BLC sont réalisés à la fin du XIX^{ème} siècle par Otto Hetzer, charpentier allemand qui déposera un brevet en 1906. Le matériau, réalisé avec des colles caséine sera présenté à l'exposition universelle de Bruxelles en 1909 sous le nom de « système Hetzer »¹⁶. Dès 1912 on rapporte la construction d'une halle de 20m de portée construite à Karlsruhe, mais l'insuffisante tenue dans le temps des colles freine le développement du BLC. Ce procédé évoluera ensuite aux Etats-Unis dans les années 30 grâce à l'immigration des descendants de Hetzer¹⁷, et le matériau y bénéficiera des progrès de la chimie des adhésifs. Il fera son retour en Europe après la seconde guerre mondiale, amélioré par des colles de plus en plus performantes jusqu'à l'importation à la fin des années 50 des colles résorcines de la société *Borden Chemical* grâce auxquelles le collage devient plus résistant et plus pérenne que le bois lui-même.¹⁸ Les architectes et le grand public découvrent le matériau désormais maîtrisé lors de l'exposition universelle de Bruxelles en 1958, notamment grâce au pavillon de la Finlande dessiné par R. Pietilä. De même le pavillon du bois de cette exposition est une coupole constituée d'arcs en lamellé-collé conçue par W. de Tserclaes.

Les panneaux de bois contrecollés commercialisés aujourd'hui par les firmes allemandes KLH ou Lignotrend et qui permettent désormais d'envisager les constructions de grande hauteur en bois sont le fruit de travaux scientifiques¹⁹ réalisés par M. Gauthier, ingénieur des Arts & Métiers, collaborant avec l'entreprise de charpente Rousseau, domiciliée dans la Nièvre. Il s'agissait de panneaux de 40mm d'épaisseur, constitué de deux frises de planches parallèles et d'une âme croisée collées à la colle urée-formol, constituant un matériau isotrope destiné à construire

¹⁶ Campredon *op. cit.*

¹⁷ Berthier S. Entretien avec Robert Lourdin du 2 juin 2014

¹⁸ Berthier S. Entretien avec Robert Lourdin *op. cit.*

¹⁹ Gauthier *op. cit.*

les parois verticales de silos agricoles. Jean Prouvé ne tardera pas à utiliser ce produit et à le détourner de sa fonction première pour concevoir la toiture de sa maison à Nancy en 1954, celle de la maison des Jours Meilleurs en 1956, jusqu'au grand voile mince de la buvette d'Evian avec Jacques Novarina en 1958.²⁰

Le bois contreplaqué, quant à lui inventé en Angleterre par M. Witkowsky en 1884 est développé aux USA avec une première industrialisation en 1917²¹. Ce matériau isotrope dont les feuillets de bois issus du déroulage étaient collés à fils croisés, offre une résistance égale dans les deux directions de son plan. Ses développements les plus importants ont lieu lors de la première guerre mondiale, notamment dans le domaine émergent de l'aviation naissante. Les techniques de cintrage, de moulage et de traitement hydrofuge permettront de réaliser des fuselages d'avions très légers avant le développement de l'aluminium. Il a aussi régulièrement bénéficié des progrès des colles et des traitements chimiques qui ont amélioré ses résistances mécaniques, sa pérennité et ont permis son emploi en extérieur, jusqu'aux développements plus récents des grands panneaux structurels multiplis commercialisés notamment par Mestsäwood sous la marque *Kerto*. Ces panneaux sont collés à fils croisés ou parallèles selon les performances mécaniques recherchées pour fabriquer des éléments d'ossature.

Industrialisation de la filière bois

Ces matériaux font apparaître « l'industrie de transformation » comme un maillon supplémentaire de la filière bois, entre la scierie et l'entreprise de charpente. Ils nécessitent des dispositifs industriels complexes, tant pour leur transformation que pour les procédés additifs de séchage et de traitement chimique. Ces industries livrent des produits finis ou semi-finis qui offrent des performances exceptionnelles par rapport au bois brut, mais imposent des spécialisations et des standardisations nécessaires à l'amortissement de l'outil de production.

Durant l'entre-deux-guerres, les connaissances acquises et les moyens industriels mis en place permettent d'élaborer des charpentes industrielles en bois, sur le modèle des charpentes métalliques. Les charpentes triangulées en bois dont toutes les membrures

²⁰ Berthier S. « Timber in the building of Jean Prouvé » *op.cit.*

²¹ Campredon J. *op.cit.*

et treillis sont dans le même plan, seront assemblées en atelier soit par des plaques de contreplaquées clouées, soit à l'aide de connecteurs métalliques. De la même manière seront développées des poutres à âmes pleines, constituées d'échelles à membrure de bois massif associées à des panneaux de contreplaqué formant diaphragme. Mais ces deux types de charpente, développés dans l'entre-deux-guerres, vont quasiment disparaître à la fin des années 1950, concurrencées par l'essor du BLC, plus sûr depuis l'apparition des colles résorcines mais aussi plus économique. En effet si les charpentes triangulées restent un idéal d'économie de matière, la quantité de main d'œuvre nécessaire devient rédhibitoire à une époque où les proportions s'inversent entre coût de la matière et coût de la main d'œuvre. Ne reste aujourd'hui de ce type de charpentes triangulées que les charpentes légères industrialisées assemblées par crampons métalliques (fermettes) standardisées à l'extrême, principalement pour le marché de l'habitation. En revanche un grand nombre d'industriels alimente régulièrement le marché de poutres composites, en I, en T, mixte bois-métal, etc. Ces produits de catalogue sont destinés aux portées intermédiaires pour lesquelles le bois massif devient trop onéreux et le BLC n'est pas encore rentable. Ces charpentes industrielles ou ces composants préfabriqués constituent alors un maillon supplémentaire qui organise la filière selon une chaîne exploitation – transformation – préfabrication – montage. Le métier de charpentier s'en trouve radicalement modifié et consistera désormais assembler à l'aide de connecteurs métalliques des éléments industriels dérivés du bois et à les monter grâce aux puissants moyens de levage modernes, dans une logique de kit. On notera que le développement récent des outils de Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO) renforce encore cette tendance à faire du chantier un simple lieu d'assemblage.

On comprend bien que le corps professionnel des compagnons du devoir, qui a construit sa position dans le monde sur des savoir-faire complexes et durement acquis, soit réticent à abandonner la situation de quasi-monopole que sa formation lui conférait. Il devait pour cela accepter de renoncer à sa culture de transformation de la matière brute au profit de produits de l'industrie, renoncer à son « art du trait », renoncer à la statique graphique pour investir le calcul algébrique plus abstrait et difficile à manipuler sans compétences mathématiques, renoncer à sa science du

levage des charpentes. Dès lors seul un très petit nombre d'entre eux a franchi le pas en constituant au début des années 60 les premières entreprises de charpente industrielle pour être compétitifs sur les commandes de la modernité.

Art de l'ingénieur et structures spatiales en bois

Ces innovations constructives fabriquent de nouvelles professions comme celle de l'ingénieur en structure bois. Nous nous attacherons ici à présenter l'œuvre de Robert Lourdin qui fut parmi les premiers ingénieurs français à investir le domaine de la construction en bois moderne. Après une formation d'architecte en Allemagne, il est chargé en 1957 par le Centre Technique du Bois (CTB) de suivre les développements du BLC, dont il dressera un état complet des connaissances en 1961 dans le cadre de son mémoire d'ingénieur du Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM)²², sous la direction de Jean Prouvé. Après quoi, il travaillera au sein de son propre bureau d'études sur un nombre important de grandes structures en bois présentées de manière synthétique les 30 et 31 mai 1969 lors d'un colloque à l'IRASS consacré aux structures spatiales en bois, organisé par Robert Le Ricolais.²³ Ce document témoigne du changement d'*épistémè* qui fait passer le monde de la construction bois de l'art du charpentier à l'art de l'ingénieur. Dans son introduction Robert Lourdin définit la charpente traditionnelle comme un système de report de charges ponctuelles au travers d'éléments successivement porteurs puis portés, se reportant sur des points fixes disposés dans l'espace selon deux directions planes : la portée et la travée.

Pourtant, selon l'auteur, les retours d'expériences sur les déformations réelles des structures montrent que leur comportement n'est pas aussi clair que la hiérarchie analytique porteur/porté le laisse supposer et qu'une compréhension plus scientifique et moins empirique des structures permettrait d'économiser beaucoup de matière tout en augmentant les performances des constructions. Ce raisonnement le conduit à s'inscrire dans la filiation des travaux de Robert Le Ricolais sur les structures spatiales, c'est-à-dire les structures qui ne sont pas organisées par assemblages de travées et de portées mais sont caractérisées par des surfaces continues dont la géométrie définit une portance multidirectionnelle répartissant les déformations

²² Lourdin, *Construire de grands espaces à l'aide de structures en bois, op. cit.*

²³ Lourdin, *Structures spatiales en bois, op. cit.*

grâce à une meilleure solidarité structurelle. L'ouvrage débute donc par un exposé sur la géométrie de ces surfaces, avec pour premier rappel qu'*une surface est engendrée par une ligne génératrice se déplaçant dans l'espace. Cette ligne peut être droite, et se déplacer par rapport à elle-même, sur une ou plusieurs droites directrices, engendrant ainsi une surface plane ; mais la génératrice peut être aussi brisée ou courbe, se déplaçant sur des directrices quelconques (droites non parallèles, courbes...) créant ainsi une infinité de surfaces. [...] Ces surfaces peuvent être réglées si les directrices sont des droites, ou bien quelconques. Elles peuvent être développables lorsque l'on peut les ramener à un « patron » plan, ou non développables. [...] Toutes les surfaces développables sont réglées ; toutes les surfaces réglées ne sont pas développables.*²⁴

On comprend alors dès cette introduction que la culture architectonique de la charpenterie disparaît au profit du langage des mathématiciens, et que la matière elle-même devient secondaire devant la primauté de la géométrie. Elle offre un exemple de ce que Gilbert Simondon nommait en parlant de la conceptualisation de l'ingénieur : « *un travail de réinvention explicite et d'objectivation des modes opératoires, de formulation symbolique qui permet de résoudre l'infinie diversité des problèmes pratiques propres à chaque situation* »²⁵.

Ces surfaces spatiales peuvent être des surfaces planes (dalles), plissées (en triangle ou losange), à simple courbure (voutes, coques), à double courbure de même sens (dôme, coupole, conoïdes), à double courbure de sens opposé (paraboloïde hyperbolique et formes gauches) ou à double courbure de même sens et de sens opposé (formes complexes quelconques).

A ces états de surfaces correspondent les dispositifs architectoniques de leur construction : les *réseaux croisés de poutres*, qui lorsqu'ils sont plans se nomment des *nappes* ; les *grilles* qui sont des réseaux triangulés multidirectionnels ; les *voiles minces*, surfaces continues dont l'épaisseur est très faible rapportées aux autres dimensions ; les *résilles* qui permettent d'obtenir des structures spatiales par des membrures disposées de manière à créer une surface continue en matérialisant les lignes géométriques (méridiens ou lignes géodésiques d'une coupole, résille

²⁴ Lourdin, *Structures spatiales*, p.20

²⁵ Simondon, *Imagination et invention*, op. cit. p. 153

losangique d'une voute). Ces types architectoniques pouvant constituer la structure seuls ou en association à une ossature primaire nervurée (à la façon des voutes d'arêtes gothiques).

Ces structures spatiales ne peuvent pas être appréhendées par les calculs de résistance des matériaux traditionnels ou par la statique graphique du charpentier et requièrent de nouvelles méthodes de calcul telle que la théorie de la membrane qui conduit à considérer la surface comme une membrane élastique d'épaisseur nulle qui trouve sa géométrie à partir des efforts de pression homogène produits par une soufflerie installée sous cette membrane. Sont aussi citées et décrites les théories de la flexion qui recourent à des équations différentielles complexes ou à la méthode des différences finies²⁶. Robert Lourdin reconnaît cependant que ces méthodes ne permettent de donner qu'une modélisation approchée de la réalité du comportement des structures spatiales. Nous ajouterons que les puissants outils informatiques contemporains offrent désormais un niveau de précision de modélisation que les moyens de calcul de l'époque ne permettaient pas d'atteindre.

Entre ces explications théoriques et les exemples de réalisation la phrase : « *Ces explications données, venons-en maintenant aux réalisations en bois qui matérialisent ces concepts* » est significative du changement de manière de pensée entre l'artisan et l'ingénieur : il ne s'agit plus de partir de la matière pour comprendre empiriquement ce que l'on peut en tirer mais de « matérialiser » un concept abstrait et mathématique élaboré en amont. Aussi, la nature de cette matière importe en théorie assez peu pourvu qu'elle soit fibreuse, en béton armé, en profilés métalliques ou en bois, dans la limite des conditions de production et de mise en œuvre.

L'exposé scientifique d'introduction reconnaît d'ailleurs sa dette envers les grands ingénieurs du béton armé, nés au XIX^{ème} siècle et qui dès le premier tiers du XX^{ème} siècle ont explorés ces structures spatiales dans toute l'Europe, comme Dischinger en Allemagne, Freyssinet en France, Torroja en Espagne, Maillart en Suisse ou Nervi en Italie. De même ces travaux dans la filière bois sont redevables envers Robert le Ricolais qui réalisa juste après-guerre des hangars dans le port du Havre et de Douala (Cameroun), en réseau tridimensionnel de bois massif, ou plus ancien encore, envers les systèmes de résilles losangiques connues depuis le début du XX^{ème} siècle aux

²⁶ Lourdin R. *Structures spatiales en bois, op. cit.* p. 21

Etats-Unis. Cependant, d'exception en exception, nous pourrions ainsi remonter jusqu'au Colonel Emy et ses arcs en lamellé-boulonnés du XIX^{ème} siècle voire jusqu'à Philibert de L'Orme et sa voute lamellé-claveté au XVI^{ème} siècle.²⁷ Néanmoins ces grandes structures en bois restent aussi isolées qu'exceptionnelles avant 1960. Il fallut attendre que la filière bois se dote des connaissances scientifiques et des outils conceptuels nécessaires pour que ces structures spatiales en bois puissent faire école. Les réalisations de Robert Lourdin présentées lors de ce colloque de 1969, construites entre 1960 et 1969, sont organisées par typologie structurelle :

Les structures planes sont illustrées les hangars Serfati²⁸(fig.1) réalisés en 1962 dans le port de Honfleur. La charpente est une grille tridimensionnelle en bois de 30 mètres de portée, assemblée à l'aide de connecteurs métalliques, entre deux de fermes d'about dont les arbalétriers sont réalisés en poutres à âme pleine et les entrants faits de tirants en acier. L'église St Guen²⁹(fig.2) à Vannes réalisée en 1966 est une pyramide constituée de quatre nappes triangulaires de poutres-caissons, dont chaque triangle équilatéral primaire est redivisé selon le même motif, par quatre triangles secondaires, avec des barres de section moindre.

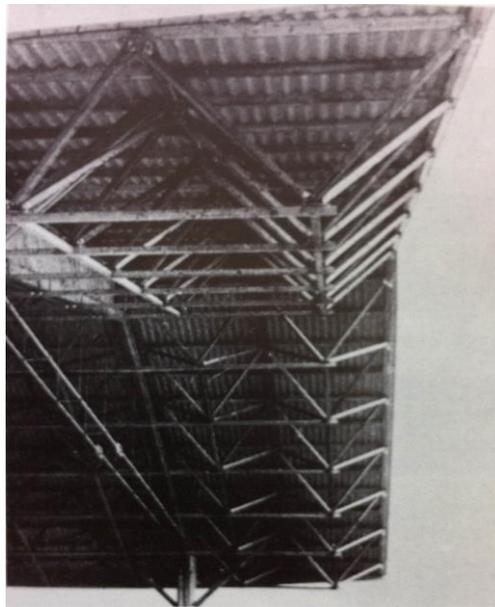


Fig 1 Grille tridimensionnelle du Hangar Serfati



Fig 2 Réseau de poutres croisées de l'église St Guen

²⁷ L'encyclopédie des métiers *op. cit.*

²⁸ Marguet ent.

²⁹ Maisonneuve & Kasper arch., Ledunc & Berré ent.

La toiture de la cafétéria de l'hôpital d'Allonnes³⁰(*fig.3*) dans la Sarthe, réalisée en 1964 reprend ce principe de nappe triangulée mais selon un plan pentagonal générant une pyramide aplatie.

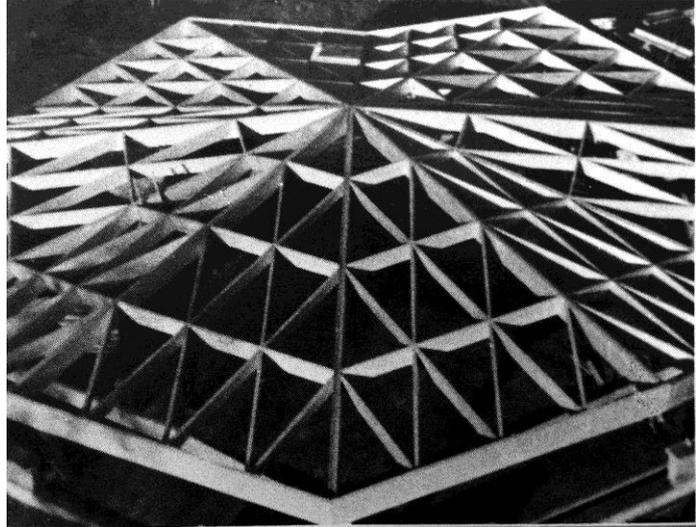


Fig. 3 Charpente pentagonale de la cafeteria de l'hôpital d'Allonnes

Les structures plissées sont fondées sur le principe simple selon lequel un pli augmente l'inertie d'une surface considérée. Ainsi la couverture de l'école maternelle de Gonesse³¹(*fig.4*) réalisée en 1960 est un système rayonnant conique de soixante panneaux trapézoïdaux en appui longitudinal sur leurs rives hautes et basses mesurant 23 mètres de diamètre. Transversalement ces panneaux de bois contrecollé reposent d'une part sur une sablière circulaire en façade et d'autre part sur un anneau central en BLC, formant ainsi un motif régulier de rosace finement plissée. Selon le même système géométrique, l'église de Rennes³² construite en 1968 présente une structure circulaire décentrée et plissée en panneaux de contrecollés, dont les tympans extérieurs sont constitués de vitraux (*fig. 5*).

³⁰ Chapelin arch., Rousseau ent.

³¹ Chapelin arch., F. Brochart ing. et Rousseau ent.

³² Chevalier & Roux arch., Berré ent.

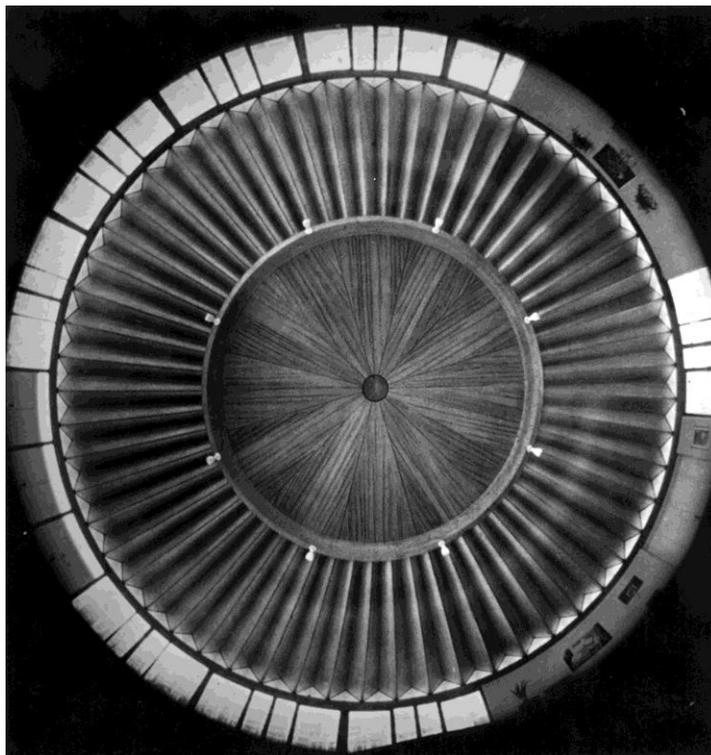


Fig 4 Rosace plissée du préau de l'école de Gonesse

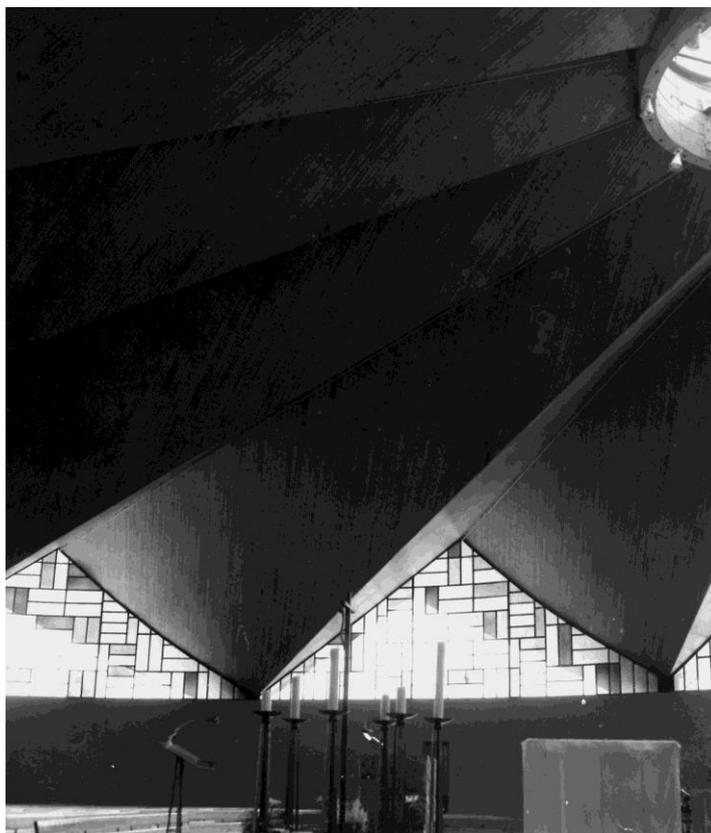


Fig. 5 Structure plissée de l'église de Rennes

Les structures à simple courbure (voutes, coques) sont illustrées avec la patinoire de Grenoble³³, réalisée en 1964, et qui présente des dimensions exceptionnelles de 93m de portée. Sa structure est constituée d'arcs en BLC relié par un « empannage » de coques préfabriquées en voile mince de panneaux contrecollés de 10 mètres de portée. La toiture du groupe scolaire Gretillat à Vitry³⁴ est une voute d'arêtes constituée d'arcs en BLC sur un plan hexagonal, reliés entre eux par six voiles minces à simple courbure en planches de bois clouées ; chaque voile mince repose sur deux demi-arcs de la voute d'arête principale et sur troisième arc formant tympan en façade.

Les structures à doubles courbures de même sens sont représentées par la coupole de l'auditorium de Bourg St Maurice³⁵(*fig.6*) réalisée en 1966 dont la grille triangulée de poutres BLC courbes décrit les lignes géodésiques de la surface. La coupole de l'Eglise de Viroflay³⁶(*fig.7*), réalisée en 1967 est une résille losangée constituée de planches de bois massif posé sur chant, boulonnées entre elles à leur raccordement, qui assurent le franchissement entre les nervures principales constituées d'arcs en BLC définissant les arêtes d'une forme générale constituée de deux portions de coupoles assemblées. Les sheds de l'usine PEM³⁷ à Siaugues (*fig.8*) réalisés en 1965 sont des conoïdes constitués d'un réseau de poutres simples générant une surface réglée entre deux directrices constituées par un arc en BLC formant shed et une poutre droite.

Les surfaces à doubles courbures de sens opposés sont présentées au travers de toitures paraboloides hyperboliques (PH) comme celui de l'église Notre-Dame de Beauregard³⁸ réalisée en 1964 dont la surface est réglée par un réseau de poutres droites recevant un voile mince en planches clouées. Robert Lourdin précise ici que l'avantage économique du bois sur le béton est indéniable puisque la réalisation du même PH en béton nécessiterait d'abord la réalisation d'un coffrage en bois, ici directement réalisé comme la structure définitive de l'ouvrage.

³³ Guichard arch., Bermaho ent.

³⁴ Les charpentiers de l'Ile de France ent.

³⁵ Rousseau Ent.

³⁶ Sainsaulieu arch., Vergez ent.

³⁷ Quedreux ent.

³⁸ Saubot & Pronier arch., SOEB ent.



Fig. 6 Dôme géodésique de l'auditorium de Bourg-Saint-Maurice

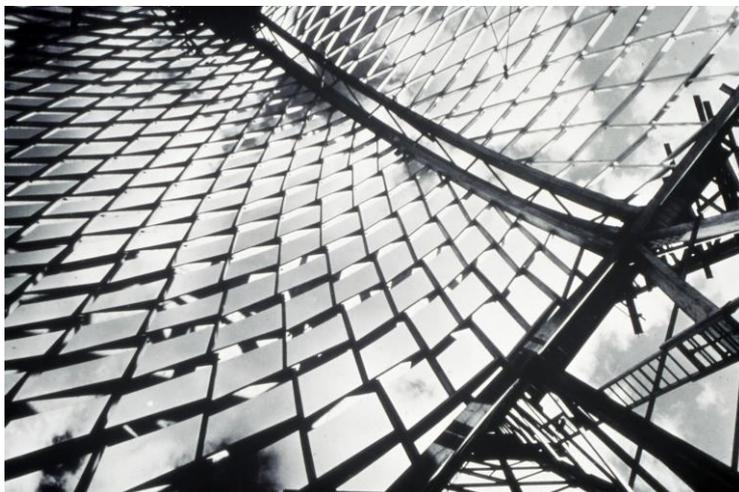


Fig. 7 Résille losangée de l'église de Viroflay



Fig. 8 Conoïdes de l'usine PEM à Siaugues

Les quatre voiles minces du PH de l'église de Chatenay-Malabry³⁹(fig.9) et les trois de l'église St Joseph d'Avignon⁴⁰(fig.10), réalisés en 1968, sont générés en bois sur des directrices en béton armé pour la première et en BLC pour la seconde. Ces voiles minces relient les sablières de façade aux quadripodes ou tripodes de leurs clochers. On citera pour terminer l'élégant PH de la piscine de Coursailles⁴¹(fig.11) à Aulnay-sous-Bois, en 1968, généré par une grille en BLC sur des directrices métalliques, avec la particularité que la nappe formant PH est matérialisée par des arcs diagonaux croisant les génératrices droites imaginaires qu'on ne lit plus que de manière abstraite en reliant visuellement les nœuds de la grille. Les remplissages sont assurés par des panneaux préfabriqués posés sur l'extrados des arcs.

Ce corpus de structures spatiales montre qu'en 1969, le bois sous ses formes transformées permet de réaliser les structures héroïques de la modernité qui appartenaient alors aux registres architectoniques de l'acier et du béton armé. Les matériaux bois se montrent capables de résoudre les problèmes théoriques posés par les systèmes à ossatures comme ceux des surfaces continues. L'art de l'ingénieur se révèle être relativement indifférent à la nature de la matière, pourvue qu'elle puisse transférer les efforts comme le modèle théorique le conçoit. Dans ce sens, le panel de possibilités qu'offre les bois transformés permet de répondre à de multiples sollicitations à partir d'une matière première unique.

L'Art de l'ingénieur au XXème siècle est une manifestation esthétique de la mécanique des formes, exprimée dans la géométrie. Ses modèles théoriques ne sont pas déterminés par la nature de la matière dans laquelle ils s'expriment. D'un point de vue architectural ces œuvres ne disent encore rien d'autre que leurs logiques mécaniques, géométriques et constructives. Cette période a permis l'élaboration d'archétypes conceptuels dans le cadre de recherches expérimentales, détachées de la tradition architecturale et de ses désirs d'expressions métaphoriques ou signifiantes, fondées sur des dispositifs analogiques.

³⁹ Gillet arch., Rousseau ent.

⁴⁰ Gillet arch., Rousseau ent.

⁴¹ Verdoia & Berthelot arch., Bermaho ent.

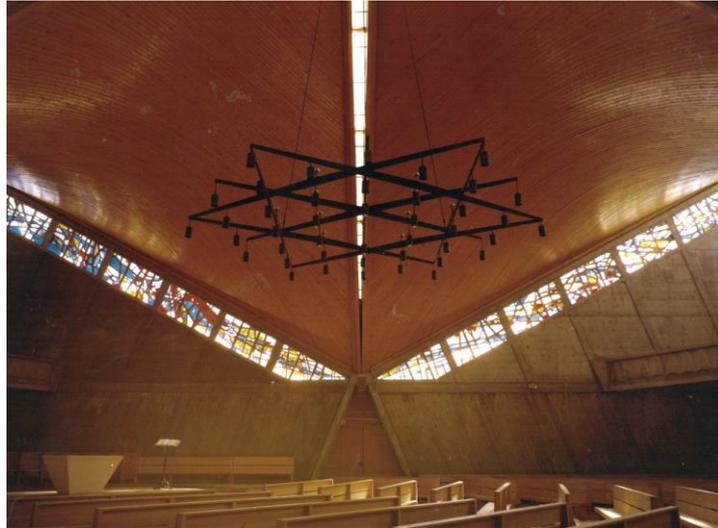


Fig. 9 Voile mince parabolöide hyperbolique de l'église Saint Joseph à Avignon



Fig. 10 Voile mince parabolöide hyperbolique de l'église de Chatenay-Malbry



Fig. 11 Réseau de poutres croisées formant PH, piscine Coursailles à Aulnay-sous-Bois

En 1969 les formes géométriques sollicitées restent encore des formes régulières ou particulières, modélisables et calculables «à la main»; néanmoins leur conceptualisation rend imaginable la réalisation de formes quelconques, pourvu qu'elles transmettent les efforts conformément aux modèles théoriques, ouvrant ainsi la voie à une variété infinie de possibles. Les outils informatiques contemporains apportent désormais la puissance de calcul nécessaire pour libérer le concepteur de tâches laborieuses de modélisations géométriques et analytiques des formes quelconques. De même la CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) permet aujourd'hui de réaliser facilement une multitude de pièces singulières pour composer des formes complexes. Les outils industriels du XX^{ème} siècle exigeaient la série parce qu'il fallait régler la machine pour chaque type de pièce; s'en suivait une standardisation des éléments produits dans une logique de catalogue. Les robots de taille 5 axes ou les tables de découpes par fraise qui reçoivent leurs instructions directement du fichier informatique de la conception, sans longs réglages ou fabrication de gabarit, relativisent cette exigence de standardisation. L'œuvre unique peut désormais bénéficier d'outils de l'industrie capables de remplacer la main de l'artisan; la série commence à 1.

De la sorte, un grand nombre d'œuvres architecturales contemporaines construites en bois puisent dans ces modèles théoriques et ces outils numériques pour élaborer des formes signifiantes dans des démarches de conception dites analogiques⁴². Nous pensons par exemple au stade d'Odate de Toyo Ito et Takenaka ing. Réalisé en 1997, en forme de coupole à plis parallèles qui évoque la coquille d'un crustacé. La toiture du centre Pompidou de Metz (*fig. 12*) par Sigheer Ban et Ove Arup, construite en 2010 est quant à elle formée à partir d'une surface à courbures multiples de même sens et de sens opposé, dont le mode constructif en résille de BLC évoque la tradition de la vannerie. La grande structure en bois du *Metropol Parasol* de Séville de 2005 imaginée par Jürgen Mayer-Hermann architecte et Ove Arup ingénieurs décrit une forme biomimétique, faite d'une grille de panneaux de contreplaqué structurel (*Kerto*) revêtus d'une résine étanche à l'eau. La chapelle St Loup en Suisse (*fig. 13*) réalisée en 2008 par Local Architecture avec Y. Weinand ingénieur décline les structures plissées sur le mode de l'origami japonais à partir de panneaux de bois

⁴² Chupin *Analogie et théorie en architecture*, *op. cit.*

contrecollés, réalisant ainsi une forme complexe développable en un simple rectangle, comme une feuille de papier pliée.



Fig 13



Fig. 14

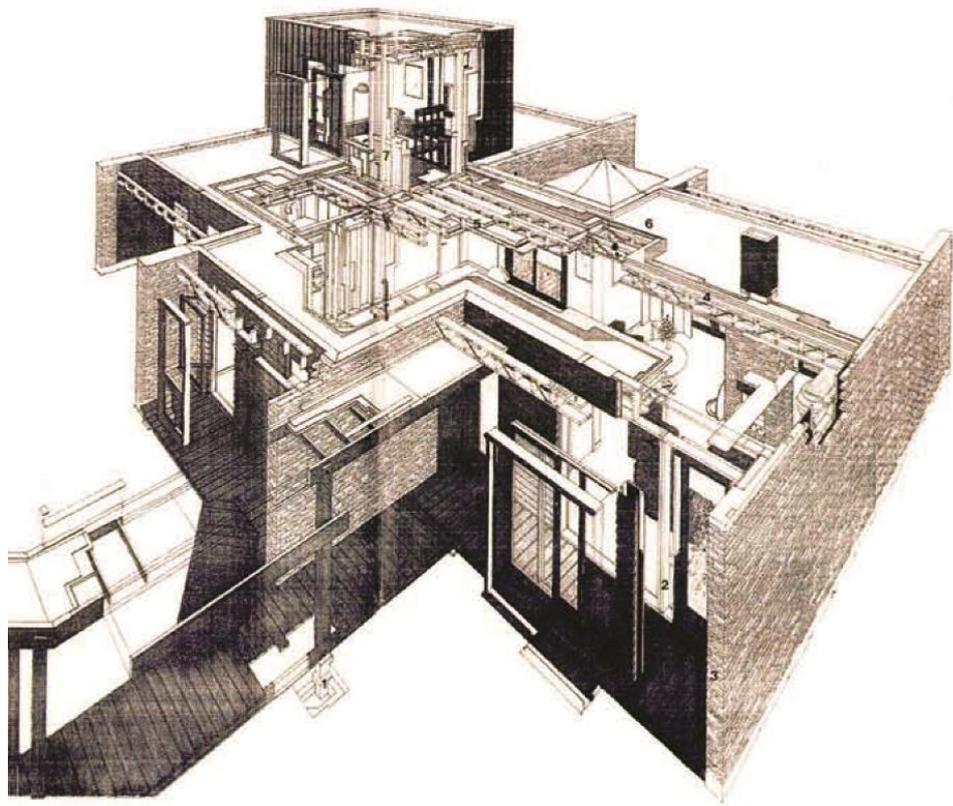


Fig. 15

On citera pour terminer le pavillon de la Serpentine Gallery (*fig.15*) réalisé en 2005 par A. Siza, E. Souto de Moura et C. Balmond, surface à double courbure de même sens, mi-tente, mi-coque, dont la projection en plan se déforme comme si l'on tirait sur les quatre angles d'une grille élastique. Cette nappe est réalisée en une multitude de petits éléments de contreplaqué aux dimensions singulières et assemblés par clavetage, déclinant ainsi à l'heure de la CFAO et sous forme de structure spatiale, le vieux principe constructif élaboré par Philibert de L'Orme.

--

Toutes illustrations issues des archives de Monsieur Robert Lourdin avec son aimable autorisation, sauf figs 13 à 15 (google images)



L'appropriation de la technologie de l'ossature bois légère :
Le travail expérimental de Jean-Pierre Watel 1964-1984

Résumé

L'architecture de bois renaît en France au milieu des années 1960 grâce aux travaux d'architectes comme Christian Gimonet, Pierre Lajus, Roland Schweitzer et Jean-Pierre Watel. Leur principal succès est d'avoir su renouveler le genre en proposant une architecture moderne et attractive quand les préjugés populaires à l'égard du matériau le cantonnait aux habitats précaires et autres cabanes. Mais ce renouveau fut aussi l'occasion de repenser les conditions de production de la construction bois et de jeter les bases d'une nouvelle filière bois industrialisée. Leur architecture est presque exclusivement fondée sur la technologie de l'ossature bois légère, descendante directe de la charpente américaine dite *balloon frame*. Les charpentiers français ne participèrent pas au développement de cette technologie car elle remettait en cause leurs savoir-faire traditionnels. Face à cette difficulté, les architectes français en général et Jean-Pierre Watel particulièrement, ont alors œuvré à l'industrialisation de ce mode constructif dont la simplicité et la répétitivité s'y prêtaient bien. Ils s'engagèrent dans un travail de développement expérimental d'une technologie produite artisanalement outre-atlantique pour l'adapter à une production industrielle en France. Les recherches de Jean-Pierre Watel lui firent rencontrer les réflexions sur les maisons 'modèles' industrialisables des années 60 puis la politique de l'*industrialisation ouverte*, grande affaire du Plan Construction dans la décennie de 1970. Il participa ainsi aux réalisations expérimentales (REx) lancées par l'Etat pour tester les possibilités de construction industrielle de logements sociaux, ainsi qu'à quelques opérations comme *Villabois* à Bordeaux en 1983. Les vingt années que couvrent ses recherches sur la construction en bois donnent l'occasion d'étudier l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques en situation complexe. Le présent article interroge ce travail d'expérimentation en recherchant ses hypothèses, ses modalités opératoires, ses évaluations. Il vise aussi à définir l'état des connaissances sur lesquelles ce travail se fondait et la manière dont il en capitalisa de nouvelles. Il nous montre que ce développement expérimental à l'échelle de l'architecture est nécessaire à l'innovation technique. Il nous conduit aussi à militer pour l'élaboration d'une méthodologie d'expérimentation capable de dépasser le sens commun de 'faire l'expérience de' pour tendre vers une dimension scientifique du terme, au service de l'innovation et de la qualité architecturales.

L'architecture de bois renaît en France au milieu des années 1960, après avoir été occultée depuis le début du XX^{ème} siècle par les matériaux phares de la modernité tels que l'acier et le béton. Avec cette renaissance émerge une filière industrialisée qui supprime peu à peu l'artisanat et les traditions constructives qui prévalurent dans les siècles antérieurs. Les métiers, les outils, les domaines d'application et les performances changent. De même, les formes architecturales de l'architecture de bois se renouvèlent. Le bois devient un matériau moderne, l'architecture de bois rompt elle aussi avec ses traditions et se modernise. Elle échappe à l'image vernaculaire rurale pour constituer de nouveaux imaginaires architecturaux sensibles aux environnements naturels, à destination de populations urbaines.

Cette renaissance n'est pas spécifique à la France. Bjorn Ericsson¹ l'identifie comme un phénomène européen (hors Scandinavie) qui a permis à la construction en bois de passer d'environ 6 000 maisons construites en 1967 à environ 120 000 maisons en 1980. L'intensité de ce développement est certes variable d'un pays à l'autre, selon que la filière de la construction bois y est plus ou moins bien développée et que la maison de bois y est culturellement plus ou moins bien valorisée. Mais dans tous les pays, cette croissance se fait au bénéfice des systèmes constructifs à ossature légère, descendants du *balloon frame* américain, contre les modes constructifs traditionnels : poteau-poutre, pans de bois, ou bois massif empilé.

Notre recherche porte sur le mode d'appropriation de cette nouvelle technologie de construction. Comment les architectes se sont-ils confrontés à cette situation

¹ Bjorn Ericsson, « Le développement de la maison à ossature bois : un phénomène européen », *Techniques et architecture*, n° 347, mai 1983, p. 130-132.

d'innovation ? Comment l'ont-ils expérimentée ? Comment ont-ils participé à son développement ? Notre hypothèse initiale est que l'architecture a été durant cette période un milieu d'expérimentation de ces nouvelles technologies de construction. Mais la complexité des interrelations entre les acteurs, ainsi que le caractère singulier de chaque projet, ne permettent pas de l'aborder selon les canons méthodologiques de l'expérimentation scientifique. Il est néanmoins possible de qualifier ce travail d'appropriation de la technologie à ossature bois légère d'expérimentation, dont le sens ne se limite pas à « faire l'expérience de ». Nous nous attacherons à décrire ce que la démarche expérimentale à l'échelle de l'architecture a de spécifique, à désigner ce qui la rapproche de l'expérimentation scientifique et ce qui l'en éloigne ; bref à tenter d'en construire une compréhension explicite.

Jean-Pierre Watel et les pionniers de l'architecture de bois

L'ensemble des sources bibliographiques² disponibles convergent pour établir la renaissance de l'architecture de bois en France au milieu des années 1960. Ces mêmes sources identifient principalement quatre acteurs pionniers de cette expérience : les architectes Christian Gimonet, Pierre Lajus, Roland Schweitzer et Jean-Pierre Watel, très impliqués dans ce mouvement. Sans doute cèdent-elles trop facilement au mythe des pères fondateurs en passant sous silence une culture constructive moderne et industrialisée qui existait déjà en France, avec une production en bois de chalets et de bungalows qui bénéficiait de méthodes élaborées durant la première moitié du XX^{ème} siècle. Cette production industrialisée doit notamment beaucoup aux efforts de guerre, pour la construction de baraques militaires et hébergements d'urgence³. On citera notamment le travail très approfondi que mène Jean Prouvé avec le bois à partir de 1939 pour l'armée française, puis qu'il développe sur divers programmes jusqu'en 1966⁴. Cependant, à la différence des architectes susnommés, Jean Prouvé a construit avec le matériau bois sans pour

² Voir bibliographie en fin de document.

³ Guillaume A. (dir.), « Le front de l'industrialisation de la construction », *Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine*, n° 28, septembre 2013 ; « Le bois et ses nouvelles applications dans la construction », *L'Architecture d'aujourd'hui*, n° 11, novembre 1938 ; *Techniques et architecture*, n° 7-8, juillet/août, n° 9-10, septembre/octobre 1942 : deux numéros spéciaux consacrés au matériau bois, à sa modernisation et son industrialisation.

⁴ Berthier Stéphane, « Timber in the buildings of Jean Prouvé: an industrial material », *Journal of Construction History Society*, Cambridge, vol. 30-2, octobre 2015 pp. 87-106

autant produire une « architecture de bois ». Ces derniers ont bien ouvert la voie à une nouvelle architecture de bois savante et reconnue par la critique, publiée dans les revues et exposée. Ils sont aussi les seuls à avoir construit un discours sur cette expérience.

Parce que son travail est le plus régulier, le plus explicite et le mieux documenté, nous analyserons le processus d'expérimentation technique que cette situation d'innovation génère à partir du travail de Jean-Pierre Watel qui couvre la vingtaine d'années que prend l'architecture de bois pour renaître sous de nouvelles formes. D'autre part, il est axé exclusivement sur l'ossature bois légère de tradition nord-américaine, mode constructif dominant de cette période de renaissance et qui s'est depuis généralisé. Certes, Roland Schweitzer explora le système poteau-poutre pour ses projets de Limoges⁵ et de Brest⁶, tandis que Christian Gimonet tenta de renouveler le mur à pans de bois traditionnel avec des remplissages maçonnés à Oizon⁷ et Dampierre⁸, mais ces projets demeurent des essais isolés.

Nous procéderons donc à partir d'une analyse diachronique des projets de Jean-Pierre Watel, dans un quadruple objectif : rechercher les hypothèses qui sous-tendaient ces expérimentations architecturales ; recueillir l'état de l'art sur lequel elles se fondaient ; observer leurs modalités opératoires ; interroger leur réception, leurs évaluations et les modes de capitalisation des connaissances acquises. Afin d'éviter les simplifications, nous devons aussi rendre compte de la complexité des enjeux en resituant les objets de notre étude dans le mouvement culturaliste de renaissance de l'architecture de bois ainsi que dans les réflexions technologiques sur l'industrialisation ouverte qui eurent une influence déterminante.

Construire en bois : une stratégie innovante

Comme les autres « pionniers » de l'architecture de bois en France, Jean-Pierre Watel était sensible à l'architecture moderne nord-américaine, mais il était aussi et peut-être plus que les autres, convaincu de la pertinence du mode constructif à ossature bois légère dans lequel il voyait une opportunité pour rationaliser la construction et

⁵ Schweitzer Roland, Centre de vacances pour préadolescents, Cieux (Haute Vienne) 1967-73

⁶ Schweitzer Roland, Centre international du Moulin Blanc – Pavillon de direction, Brest (Finistère) 1984.

⁷ Gimonet Christian, Les Pyramides d'Oizon, 8 logements locatifs pour l'OPHLM du Cher.

⁸ Gimonet Christian, lotissement expérimental de Dampierre-en-Crot, 4 logements locatifs pour l'OPHLM du Cher.

en diminuer les coûts. Il constatait en effet que les structures de production française étaient organisées autour de la filière monopolistique du béton qui fixait des prix de construction plus élevés que ceux observables outre-Atlantique. Il est possible de comprendre cet engagement, au-delà des affinités pour telles ou telles références architecturales, comme la stratégie d'un jeune architecte souhaitant se distinguer pour se faire une place. Il proposait d'importer des États-Unis un mode constructif supposé économique, pour en tirer un avantage concurrentiel vis-à-vis des architectes de la génération précédente. Selon lui, l'inexistence de l'architecture de bois en France n'avait pas de fondements autres que la réticence psychologique des habitants. Cette réticence pouvait être surmontée en proposant une architecture nouvelle, attractive et économique.

Le prototype de la foire de Lille

Après plusieurs voyages aux États-Unis, Jean-Pierre Watel trouve l'occasion d'une première expérience de construction à ossature légère au début des années 1960. Avec Philippe Martin, ingénieur et associé de l'entreprise de menuiserie GIM, il développe une maison prototype, industrialisable, exposée à la foire de Lille en 1964⁹ (figs 1, 2). Pour cette occasion, Philippe Martin fonde l'un des premiers bureaux d'études spécialisés dans la construction en bois, le BETB. Il investit aussi dans une entreprise organisée pour la production industrialisée de ces maisons, la société ELCOHA. Le dispositif constructif des murs à ossature est fait de petits bois. Il diffère du mur à ossature américain en ce qu'il est constitué de grilles croisées de petits bois type tasseaux contreventées par des panneaux de contreplaqué et non de lisses verticales espacées tous les 40 ou 60 cm. Le même principe est utilisé pour la fabrication des panneaux de toiture qualifiés de « gaufrette » par l'architecte. Le pari de ce dispositif est de faire baisser les coûts de fabrication en optimisant la quantité de matière, en utilisant de petites sections économiques et en industrialisant la production. Jean-Pierre Watel situe sa démarche dans la recherche – caractéristique de l'époque – d'établissement de « modèles » qui visent à produire l'habitat individuel à des coûts compétitifs grâce à une production en série.

⁹ Berthier, Entretien avec Jean-Pierre Watel, *op. cit.*



Fig. 1 prototype Maison ELCOHA à la foire de Lille

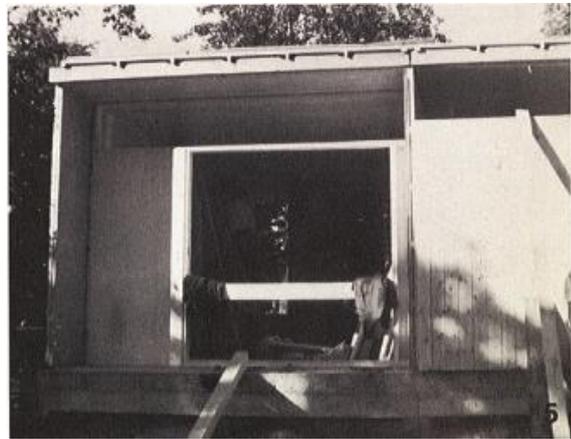


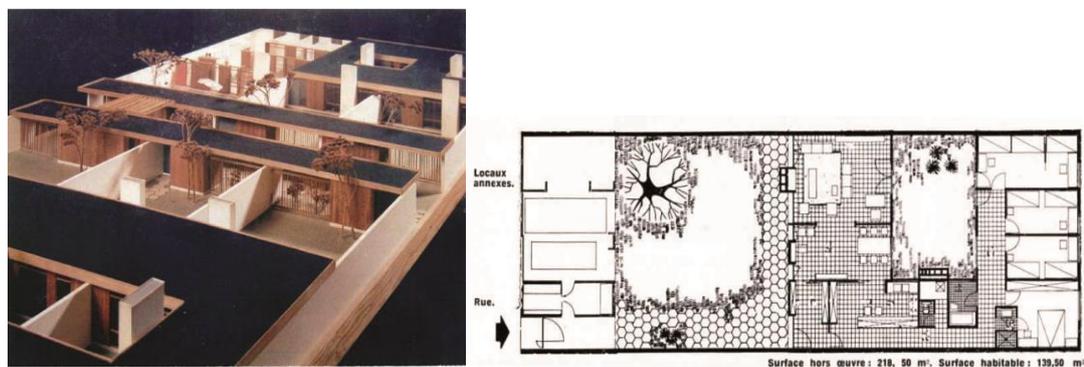
Fig. 2a Maison ELCOHA, chantier



Fig. 2b Maison ELCOHA, chantier

La Maison européenne

Cette première expérimentation de Jean-Pierre Watel doit être replacée dans une recherche plus large qu'il mène à la même époque, en faveur de l'habitat individuel groupé comme alternative aux grands ensembles. La même année, il est lauréat du concours international de la Maison européenne en proposant un mode d'urbanisation de type « nappe à patios » assemblant des logements individuels d'un niveau, ponctuellement deux¹⁰ (figs. 3, 4). Ce projet offre les mêmes densités à l'hectare que les grands ensembles de l'époque. Par ailleurs, l'échelle de ces constructions basses permet leur réalisation en bois. En important des États-Unis un mode constructif réputé plus économique, Watel pensait sans doute disposer d'un avantage concurrentiel déterminant.



Figs. 3, 4 Maquette de la maison Européenne et plan du Rez de chaussée

Le prototype exposé à la foire de Lille en 1964 s'inscrit dans cette stratégie. Mais cette première expérimentation de maisons en bois industrialisées n'est guère concluante, les exemplaires vendus se comptent sur les doigts de la main, en région lilloise uniquement, comme à Bondues (fig. 5), Halluin (fig. 6) ou Linselles (fig. 7). La société ELCOHA fait d'ailleurs faillite assez rapidement. Watel explique cet échec par les réticences culturelles que le modèle suscite à l'époque, d'abord parce que la maison préfabriquée a mauvaise presse, ensuite parce que son écriture architecturale très moderne a été mal accueillie par un marché de la maison individuelle qui plébiscite alors les expressions architecturales vernaculaires.

¹⁰ « Jean-Pierre Watel : de ses premières maisons à la maison européenne et à Village Expo », *L'Architecture d'aujourd'hui*, n° 136, 1968, p. XLVI



Fig. 5 Maison ELCOHA à Bondues

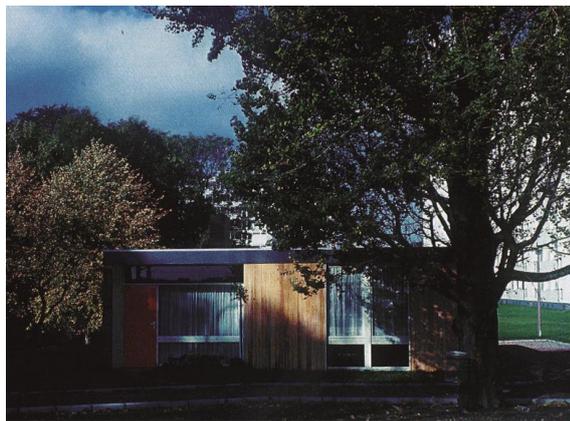


Fig. 6 Maison ELCOHA à Halluin



Fig. 7 Maison ELCOHA à Linselles

Il souligne aussi que ce prototype a été imaginé par des passionnés d'architecture et de technique qui n'ont pas su organiser le développement commercial de leur produit. Malheureusement ces premières maisons sont trop peu documentées sur le plan technique pour qu'il soit possible d'aller très loin dans leur analyse constructive. On notera que les murs pignons étaient parfois habillés de briques de parement sur ossature bois qui anticipaient déjà une conception récurrente chez Watel, consistant à distinguer la nature de l'ossature de celle de l'enveloppe, conception qui s'affirmera dans le temps. Après cette première expérience, à la fin des années 1960 Jean-Pierre Watel participe à la rédaction du premier DTU « construction à ossature bois » en tant que consultant du Centre Technique du Bois (CTB), signe de son implication dans l'appropriation de cette nouvelle technologie de construction¹¹.

En 1968, il réalise un prototype de la Maison européenne pour Village Expo à Saint Michel-sur-Orge. Les grands murs de refends sont exécutés en maçonnerie et les panneaux de façade sur les patios ainsi que la charpente en ossature bois légère (*fig. 8*). Dans la décennie suivante, il réalise plusieurs opérations groupées à partir de ce modèle d'urbanisation, mais toujours dans la filière de la maçonnerie : à Angers, Lille, Grenoble, Bures-Orsay ou encore à Villeneuve d'Ascq avec la remarquable opération du Château.



Fig. 8 Prototype de la Maison Européenne à Village Expo (St Michel sur Orge)

¹¹ Jean-Pierre Watel, « L'ossature bois, deux décennies d'expérimentations », *Techniques et architecture*, n° 321, Octobre 1978 pp.76-77

Notons que dans la même période, l'agence d'architecture Salier-Courtois-Lajus-Sadirac-Fouquet élabore le même type de partenariat avec l'entreprise de charpente Guirmand, pour établir un modèle de résidence secondaire sur la côte Aquitaine. Moins industrialisée et plus proche des modèles vernaculaires, la maison Girolle¹² (*fig. 9*) est un succès commercial pendant une dizaine d'années. En revanche, les premiers projets en bois de Christian Gimonet et Roland Schweitzer demeurent des œuvres réalisées dans le cadre conventionnel de l'architecture libérale et très référencées par la culture architecturale savante. Ainsi, Roland Schweitzer conçoit en bois une architecture moderne d'inspiration japonaise, recherchant une harmonie avec la nature comme en témoigne le centre de vacances pour pré-adolescents (*fig. 10*) construit à Cieux près de Limoges en 1968¹³. Dans la région Centre, Christian Gimonet livre la même année la maison Laudat (*fig. 11*), près de Bourges, pour laquelle il précise s'être inspiré de l'œuvre de Frank Lloyd Wright pour atteindre des objectifs bioclimatiques¹⁴.



Fig. 10 Maison Girolle



Fig. 11 Centre à Cieux



Fig. 12 Maison Laudat

Ces premiers projets montrent que le transfert de technologies de construction accompagne le transfert de modèles architecturaux nord-américains ou japonais. Ces modèles architecturaux expriment tous un désir de renouvellement de la relation qu'entretient l'architecture avec son environnement, probablement en réaction à la modernité infrastructurale brutaliste telle qu'elle s'est répandue en France après-

¹² Michel Jacques et Annette Nève (dir.), *Salier, Courtois, Lajus, Sadirac, Fouquet : atelier d'architecture Bordeaux 1950-70*, catalogue de l'exposition éponyme, Bordeaux, Arc-en-Rêve centre d'architecture, 1995 ; « Pierre Lajus, parcours d'un pionnier », *Architecture à vivre*, hors série « Maisons bois », décembre 2007.

¹³ Schweitzer, *un parcours d'architecte*, *op. cit.*

¹⁴ Gauzit, *op. cit.*

guerre. Pour de jeunes architectes, ils sont l'occasion de se distinguer en s'opposant aux modèles dominants de l'époque, qu'il s'agisse des modèles architecturaux ou de ceux organisationnels de la maîtrise d'œuvre.

Les maisons Leymonerie et Delage

Entre 1975 et 1977, Jean-Pierre Watel travaille sur la commande d'une maison individuelle à Linselles, pour M. Leymonerie, directeur commercial de l'entreprise Cambrai Charpente. Il en développe le système constructif avec le bureau d'études de cette entreprise. Délaissant le système infructueux des panneaux industrialisés en petits bois imaginé avec Philippe Martin, Jean-Pierre Watel revient à la construction traditionnelle nord-américaine d'ossature légère à lisses verticales pour réaliser une œuvre aux allures de *case study house* (figs 12, 13).

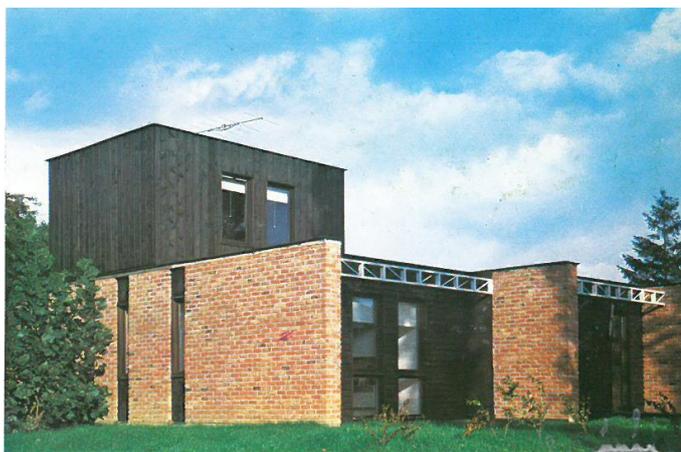
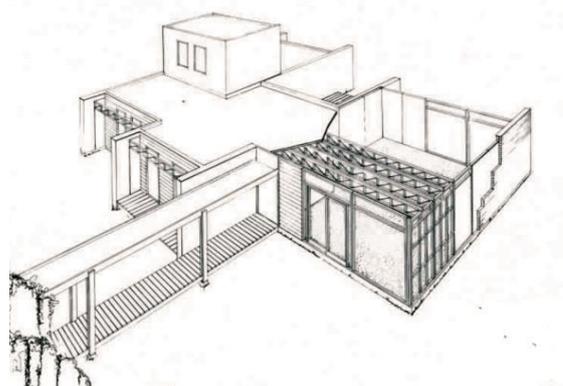
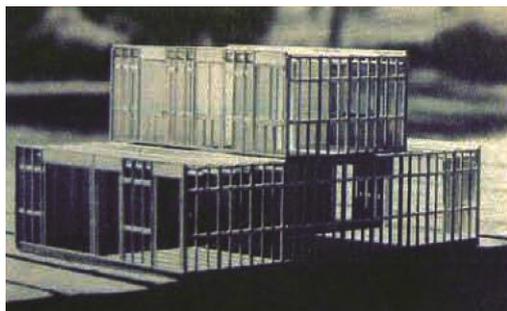


Fig. 12 Maison Leymonerie



Fig.13 Chantier ossature bois

Toutes les parois verticales sont constituées d'ossatures légères en bois. Les murs formant refends sont habillés de briques tandis que les parties entre ces murs-refends, comme le volume de l'étage, sont en bardage bois. La toiture plate composée de panneaux isolants repose sur une charpente de poutres industrielles composites à membrures en bois et diagonales métalliques. La maquette de structure et les dessins axonométriques très didactiques réalisés par l'agence (figs 14, 15) montrent une volonté d'explicitier le système constructif.



Figs. 14, 15 Maquette de la maison Leymonerie et perspective de la structure

Dans la foulée de la maison Leymonerie, la maison Delage étudiée en 1978 prolonge sa recherche de maîtrise du mode constructif à ossature légère (figs 16, 17). Cette maison dont la composition volumétrique est très similaire présente une enveloppe entièrement en bardage bois. Hormis les poutres triangulées composites, le système constructif est un transfert en France du mode constructif à ossature bois conventionnel d'Amérique du Nord. Ce qui intéresse alors Jean-Pierre Watel ne semble pas être de l'ordre de l'invention technique proprement dite ; son travail consistant, de ce point de vue, à s'approprier la technologie de construction nord-américaine.



Fig. 16 Maison Delage

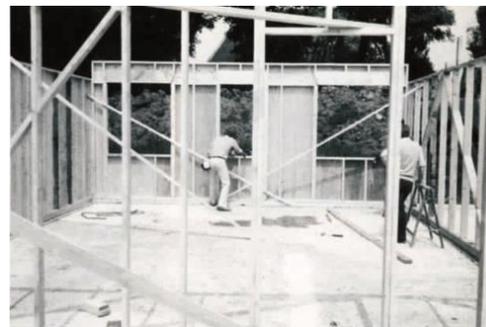


Fig.17 Chantier ossature bois

C'est sur la rationalisation de l'acte de bâtir et sur son industrialisation qu'il fait avant tout peser ses efforts. Un premier état de ses réflexions est restitué dans un article de la revue *Techniques et architecture* en 1978¹⁵. Jean-Pierre Watel y développe les atouts de la filière sèche dont la rapidité du chantier, sa cohérence dans

¹⁵ Jean-Pierre Watel, « L'ossature bois, deux décennies d'expérimentations », *op. cit.*

l'enclenchement des tâches successives et les avantages qu'offre l'ossature légère pour le passage des corps d'état techniques. Il en définit la logique selon la métaphore du squelette et de la peau, laquelle peut jouir d'une indépendance technique et esthétique. Mais l'article insiste aussi sur les nécessaires rationalisation et industrialisation de cette filière de construction pour traduire les atouts théoriques de l'ossature légère en avantages économiques. De fait, nous comprenons en creux qu'en 1978 ce mode constructif en bois n'est pas encore compétitif. Interrogé à ce sujet récemment¹⁶, Jean-Pierre Watel explique avoir été confronté à la faiblesse du nombre d'entreprises de charpente intéressées par la construction à ossature légère, limitant les combinaisons de concurrence. Selon lui, l'ossature légère en bois n'appartenant pas à la culture du charpentier français, on ne pouvait pas envisager le déroulement d'un chantier comme aux États-Unis où l'entreprise se fait livrer les sections équarees de bois brut sur le chantier et fabrique tout *in situ*. Il lui fallait penser la préfabrication et l'industrialisation de composants afin que la technicité de la mise en œuvre se limite à du montage d'éléments standardisés. L'adaptation des conditions de production de cette technologie occupera une place centrale dans ses réflexions ultérieures.

Dans la même période, Pierre Lajus construit sa propre maison à Mérignac. Ce projet d'échelle similaire aux deux maisons de Watel le confronte à des problématiques analogues. La référence à l'architecture moderne américaine y est évidente (*fig. 18*).



Fig. 18 Maison Lajus à Mérignac

¹⁶ Stéphane Berthier, Entretien avec Jean-Pierre Watel, *op. cit.*

Lajus reconnaît d'ailleurs avoir recherché cet « *american way of life* comme expression d'une vie décontractée, en pleine nature »¹⁷. Les photographies de chantier montrent les parois verticales réalisées en panneaux préfabriqués d'ossature légère, livrés sur le chantier avec leurs deux faces habillées et assemblés entre eux par d'originales clés à queue d'aronde qui relient les deux lisses d'extrémité de chaque panneau, renforçant le côté « jeu de construction » du montage. Chez Jean-Pierre Watel comme chez Pierre Lajus, ces sous-systèmes constructifs industrialisables préfigurent la logique de construction par composants montés sur le chantier.

L'exposition « maison de bois » au CCI

Ces projets pionniers ont été exposés en 1979 au Centre Georges Pompidou dans le cadre de l'exposition « Maisons de bois » (fig. 20). Dans l'introduction du catalogue, Georges-Henri Rivière présente ce renouveau de l'architecture de bois comme : « un mouvement d'architecture rurale moderniste, inspiré des données géologiques, biologiques et climatiques du milieu.¹⁸ » Cette exposition, dont Roland Schweitzer est le commissaire, dresse un panorama mondial l'architecture de bois, de ses traditions à ses modes d'expression contemporains. Elle fait la promotion de la renaissance de la filière bois et pointe déjà les premières inflexions écologiques au sortir des Trente Glorieuses.



Fig. 20 Couverture du catalogue de l'exposition *Maisons de bois*

¹⁷ Stéphane Berthier, Entretien avec Pierre Lajus, *op. cit.*

¹⁸ Gauzit, *op. cit.*

Il y est également question de construction moderne en bois, avec les interviews de Jean Prouvé et du compagnon charpentier Ephrem Longépé qui analysent tous deux, chacun à leur manière, la nécessité de l'industrialisation pour faire face à la demande à des plus coûts compétitifs que ceux de la filière maçonnerie¹⁹. De même, l'exposition présente le prototype de la maison Moduli 225 (*figs 21, 22*) imaginée en 1969 par les architectes finlandais Kristian Gullichsen et Juhani Pallasmaa, véritable kit modulaire industrialisé qui permet une infinité de compositions possibles à partir d'une grille poteaux-poutres de 2m25 par 2m25, complétée de panneaux de remplissage pleins ou vitrés²⁰. Cette maison est présentée non comme une œuvre mais comme un produit de catalogue, poursuivant ainsi les travaux sur l'industrialisation de la construction bois entrepris depuis l'entre-deux-guerres par l'architecte américain d'origine allemande, Konrad Wachsmann, notamment avec la Packaged House²¹ de la General Panels Corporation conçue avec Walter Gropius. L'exposition réunit donc à la fois un corpus d'œuvres qui renouvelle les imaginaires de l'architecture de bois et un ensemble de réflexions techniques sur la modernisation des technologies de charpente pour les concilier avec les exigences des conditions de production industrielle de l'époque. Le système constructif poteau-poutre de la maison Moduli sera d'ailleurs repris quasiment trait pour trait par Roland Schweitzer, en 1983, pour son projet de la maison du directeur de l'auberge de jeunesse de Brest²² (*fig. 23*). Les dimensions de la trame sont adaptées de 2m25 à 3m60, afin d'être compatibles avec un module de tatami de 1m80 par 0m90. Schweitzer ne communiqua d'ailleurs jamais sur le dispositif constructif finlandais, préférant présenter cette maison comme la synthèse de ses inspirations japonaises, dans un propos strictement culturaliste.

Cette exposition clôt une première période de renaissance de l'architecture de bois en France, en présentant au grand public un panorama de prototypes de maisons en bois, modernes et attractives. Le mérite des architectes aura été de revaloriser l'image de l'architecture de bois, d'assurer son acceptabilité culturelle dans un pays où ce mode constructif est encore mal perçu, parce que, selon Roland Schweitzer, il renvoie aux

¹⁹ *Ibid.*

²⁰ *Ibid.*

²¹ Wachsmann, *Wedenpunkt im Bauen*, op. cit.

²² Schweitzer Roland, « *Construire en bois, variations sur le système poteau-poutre* », *Techniques et architecture*, n° 365, 1986, pp 41-51

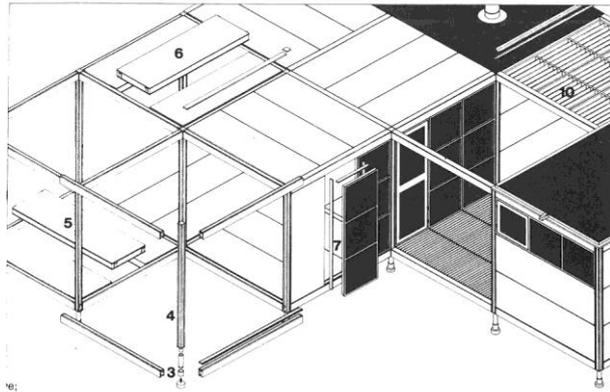


Fig. 21 Axonométrie du montage de la maison Moduli 225

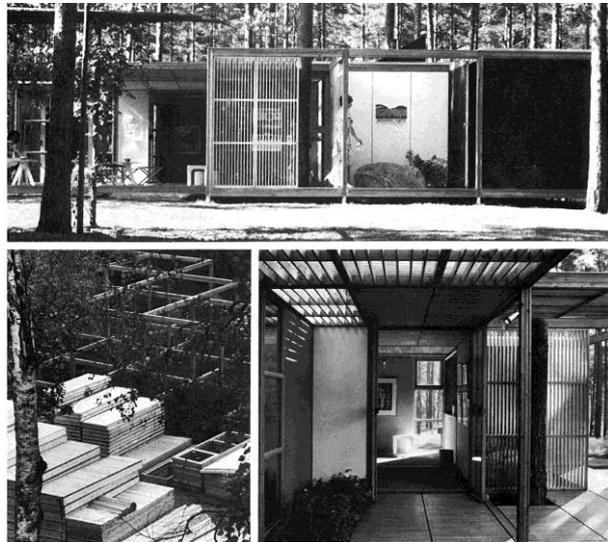


Fig.22 Prototype de la Maison Moduli 225

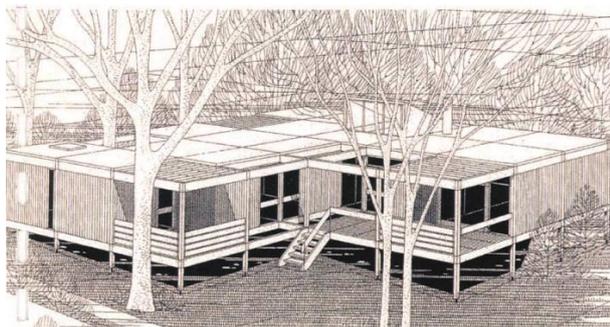


Fig. 23 perspective de la maison du directeur de l'AJ de Brest

baraquements de la guerre, aux réfugiés, à la précarité et aux cabanes, mais aussi parce qu'il s'oppose aussi à la tradition patrimoniale de la pierre. Ces nouveaux imaginaires architecturaux font le succès de l'exposition qui sera visitée par plus d'un million de visiteurs²³.

Les REX et l'industrialisation ouverte

Presque simultanément s'ouvre la seconde période de cette renaissance, celle des Réalisations Expérimentales (REX), qui couvre une période allant de 1978 à 1983. Il s'agit d'une série d'opérations de logements collectifs sociaux, subventionnées par l'État et encadrées par le Plan Construction, avec l'objectif d'expérimenter le concept d'« industrialisation ouverte », notamment avec les modes constructifs en bois.

Ce concept d'industrialisation ouverte est formulé quelques années auparavant. Les premières actions sont lancées en 1971 par la Direction de l'architecture et coordonnées par Jean-Philippe Charon et Denis Grèzes. La définition théorique de l'industrialisation ouverte a ensuite engagé vingt-quatre contrats de recherche financés par le Plan Construction entre 1971 et 1980²⁴. L'ouvrage *Industrialisation ouverte, recherche et expérimentation 1971-1983*²⁵ retrace de manière synthétique l'ensemble de ces réflexions. En 1979, la revue *Techniques et architecture* publie deux numéros spéciaux²⁶ consacrés à ce sujet qui apparaît comme le grand enjeu du moment.

L'objectif de l'industrialisation ouverte est de proposer une alternative à l'industrialisation lourde et fermée sur laquelle, depuis la reconstruction, s'était constitué l'appareil de production avec des procédés de préfabrication ou de coffrage-outils comme Costamagna, Camus, Coignet ou Balancy. La filière du béton armé était ainsi parvenue à proposer des immeubles de logements surdéterminés par leur mode constructif industrialisé, et dont elle contrôlait tous les aspects. La standardisation industrielle engageant la répétitivité, la médiocrité architecturale et

²³ Berthier, Entretien avec Roland Schweitzer, *op. cit.*

²⁴ Charon, Grèzes *op. cit.*

²⁵ *Ibidem*

²⁶ *Techniques et architecture*, n° 327, novembre 1979 : « Industrialisation ouverte 1- Principes et expérimentations » ; n° 328, janvier 1980 : « Industrialisation ouverte 2 : Systèmes constructifs et composants ».

urbaine des grands ensembles était généralement considérée comme la conséquence de ce système de production du logement social en France. Jean Prouvé soulignait aussi que cette filière de construction était plus chère, moins qualitative et pas plus rapide que les filières artisanales, mais que son atout indiscutable était de répondre à une demande massive²⁷. Dans les années 1970, la question de la production de masse ne se pose plus de manière aussi aigüe et l'État remet en avant un souci plus qualitatif dont est particulièrement porteur le Plan Construction, créé en 1971. Ce dernier s'inquiète notamment de la situation de monopole de la filière béton et de ses entreprises générales qui fixent leurs prix sans concurrence extérieure. Néanmoins, les prétendus avantages de coûts, de qualité et de délais de l'industrie demeureront les arguments cardinaux de l'industrialisation ouverte.

Le principe de l'industrialisation ouverte vise donc à ouvrir la construction à d'autres filières que celle du béton et à rompre avec la répétitivité architecturale des modèles constructifs, sans perdre les supposés avantages économiques, qualitatifs et temporels qu'offre l'industrialisation. L'idée est de réorganiser le secteur de la construction avec, d'une part, des industriels fournissant des composants de la construction (éléments de charpente, panneaux de façade, de plancher, escaliers, équipements, etc.), comme une sorte de grand catalogue de composants compatibles entre eux et, d'autre part, des entreprises capables d'assembler ces composants en immeubles, à la manière d'un meccano. Il ne s'agit ni plus ni moins que d'imaginer un nouveau découpage des conditions de production de l'objet technique « bâtiment ». La dissociation entre industriels-fournisseurs et entrepreneurs-assembleurs doit rendre les coûts de construction plus transparents et augmenter les combinaisons de concurrence. De plus, ce grand catalogue de composants compatibles doit permettre le retour de la diversité architecturale sans perdre le bénéfice de la standardisation, mais en la ramenant à l'échelle des éléments de construction et non plus à celle des bâtiments (*figs 25, 26*) comme l'avait par exemple imaginé Le Corbusier avec la maison Citrohan.

Pour vérifier cette hypothèse d'industrialisation ouverte telle que décrite dans le cadre des recherches du Plan Construction à partir de 1971, les pouvoirs publics vont lancer une vingtaine d'opérations expérimentales, dites opérations REX, dont sept ont pour

²⁷ Armelle Lavalou, *Jean Prouvé par lui-même*, Paris, Éditions du Linteau, 2001, pp 57-58.

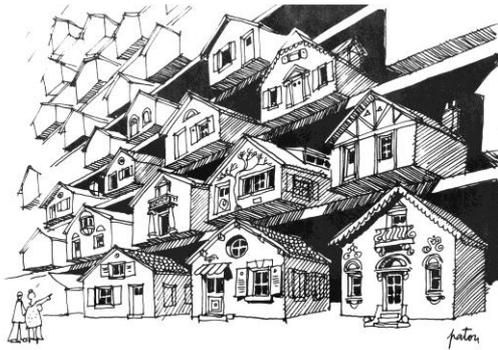


Fig. 25 Industrialisation fermée



Fig. 26 Industrialisation Ouverte

mission de tester l'hypothèse dans la filière bois²⁸. Le but de ces opérations est aussi de préfigurer les objectifs économiques du programme Habitat 88 (baisse du coût de la construction de 25%) et les objectifs énergétiques du programme Habitat Économe en Énergie 1985 (H2E85) qui vise à diminuer de 50% la consommation énergétique de l'habitation neuve, conséquence du choc pétrolier de 1973. Les conclusions de ces sept opérations REX en bois ont fait l'objet de commentaires et de bilans²⁹ bien documentés. C'est notamment le cas de l'opération de la Borne de l'Espoir, dans le quartier du Triolo à Villeneuve d'Ascq, confiée à Jean-Pierre Watel.

Opération REX : la Borne de l'Espoir

Sur la base de ses expériences antérieures de la construction en bois, en 1978, le Plan Construction confie à Watel l'étude d'une opération REX à Villeneuve d'Ascq. Il s'agit d'une opération de logements sociaux organisés en maisons de ville d'un à trois niveaux selon la taille des logements.

Un premier projet de 77 logements, publié la même année dans *Techniques et architecture*³⁰, décline le modèle de la maison Leymonerie, rebaptisée pour l'occasion « le prototype de Linselles » (figs 27 à 29). Jean-Pierre Watel remet donc

²⁸ La villa Morton à Bordeaux (18 logements) par Pierre Lajus, l'opération des Templiers (35 logements) à Provins par les frères Rouveau, le quartier du Triolo à Villeneuve d'Ascq (33 logements) par Jean-Pierre Watel et les opérations Dampierre en Crot (18 logements) et Oizon (8 logements) par Christian Gimonet, La Tour du Pin (12 logements) par Denis Grèzes et Hubert Penicaud, l'opération de la rue Domrémy à Paris (29 logements) par Roland Schweitzer.

²⁹ Charon, Grèzes, *op. cit.* ; Hoyet Jean-Michel, « La maîtrise d'œuvre à la recherche de nouvelles pratiques : réflexions sur les enseignements de cinq réalisations expérimentales », *Techniques et architecture*, n° 347, mai 1983, « Le bois dans l'habitat, p. 75-86.

³⁰ « Villeneuve d'Ascq, 72 logements HLM J.-P. Watel architecte », *Techniques et architecture*, n° 327, novembre 1979, spécial « Industrialisation ouverte » p. 113

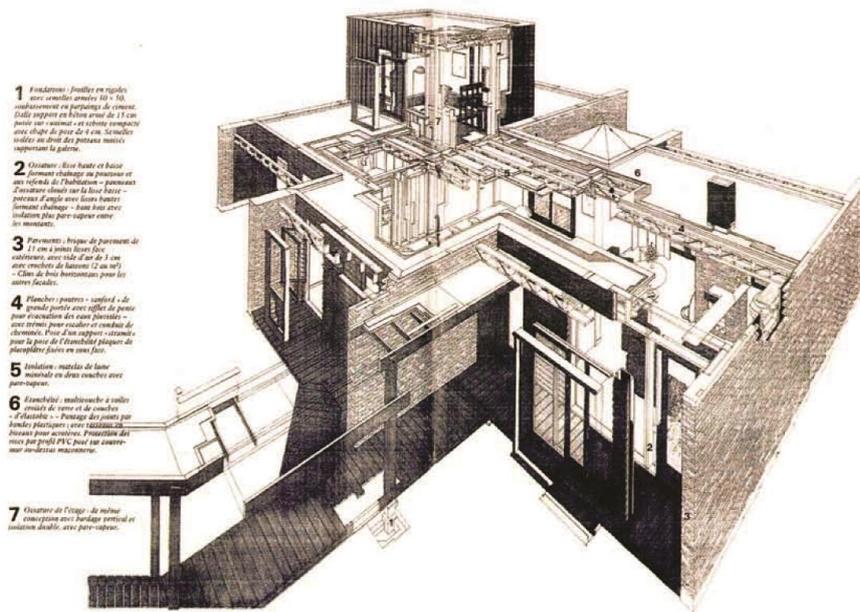


Fig. 27 Perspective constructive du prototype de Linselles

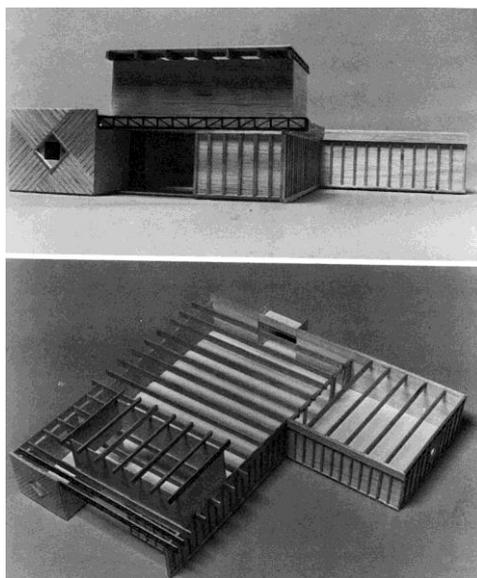


Fig. 28 Maquette de l'ossature

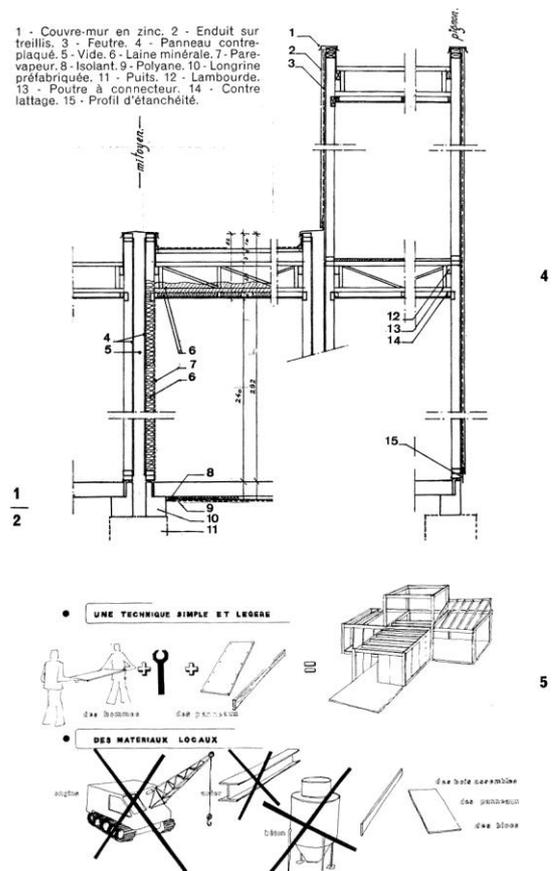


Fig. 29 Détails constructifs

en perspective ses anciens projets, avec de nouveaux documents, dans une ligne de recherche et développement dont le premier prototype à l'échelle de l'habitat individuel, livré en 1977, allait préfigurer son travail sur un ensemble de logements collectifs. Dans l'article qu'il écrit, en 1978, sur l'expérimentation de l'ossature bois, il décrit le prototype de Linselles comme : « Une première réalisation exécutée dans le Nord de la France appliquant les récentes recherches en ossatures bois. Elle constitue la simulation d'un chantier expérimental qui débutera en 1979 sur la ville nouvelle de Lille-Est, il s'agit d'une maison individuelle testant la souplesse du procédé.³¹ »

Son premier projet pour la Borne de l'Espoir, publié dans la revue *Techniques et architecture* en 1979³², s'inscrit bien dans cette logique et d'une certaine manière poursuit ses recherches antérieures sur l'habitat individuel groupé de la Maison européenne de 1964. La morphologie architecturale comme le mode constructif sont ceux du prototype de Linselles, développé à grande échelle. Le projet réalisé est publié en 1983 dans *Techniques et architecture*³³. Il est plus modeste puisqu'il présente seulement 33 logements. D'autre part, il efface toute référence à l'architecture moderne nord-américaine, au profit de maisons accolées à toitures à deux pans volumétriquement et spatialement plus banales, qui évoquent plutôt l'architecture vernaculaire des quartiers populaires de San Francisco (fig. 30).



Fig. 30 Opération de la Borne de l'Espoir, quartier du Triolo à Villeneuve d'Ascq

³¹ *Techniques et architecture*, n° 321, *op. cit.*

³² *Techniques et architecture*, n° 327, *op. cit.*

³³ *Techniques et architecture*, n° 347, *op. cit.*

Il y a une grande similitude avec le projet REX de la villa Morton à Bordeaux pour laquelle Pierre Lajus a lui aussi été contraint de réviser ses ambitions architecturales à la baisse, comme en témoigne l'évolution de ses publications. Il semble que ces transformations soient avant tout motivées par des raisons économiques. Il était sans doute difficile de faire de petits logements sociaux économiques dans les volumétries généreuses de leurs références architecturales. De même, l'opération REX de Roland Schweitzer, rue Domrémy à Paris, initialement entièrement conçue en bois a finalement été construite dans la filière du béton armé, à l'exception de 6 logements à R+1 en cœur d'îlot, réalisés en ossature légère.

La rationalisation du procédé constructif

Toutefois, l'attachement de Jean-Pierre Watel à la mise au point d'un mode constructif en bois rationnel et économique restait entier. Une série de dessins réalisés pour lui par Jean Patou illustre de manière didactique ses réflexions sur l'ossature « porte-manteau » (fig. 31), comme il la nommait.

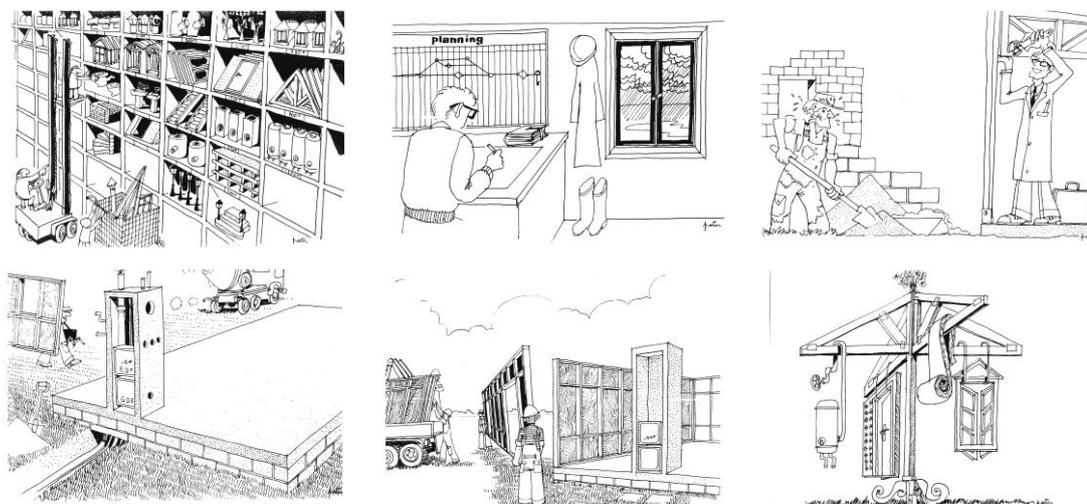


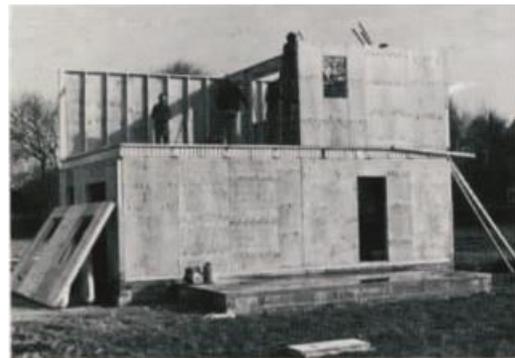
Fig. 31 Illustrations de l'industrialisation ouverte et de l'ossature bois « porte-manteau »

L'architecte fait de ce projet un démonstrateur des principes de rationalisation de la conception en vue d'un chantier rapide³⁴, comme en témoigne le storyboard³⁴ de la

³⁴ Watel Jean-Pierre, « La filière bois : perspectives pour la maison » *Techniques et architecture*, n° 338, Oct. 1981

réalisation (fig. 32)³⁵. L'idée est de penser l'ossature légère en bois comme un portemanteau sur lequel tous types de revêtements et de réseaux viennent s'accrocher sans percements, saignées, réservations ou autres actes complexes et destructifs qui compliquent les chantiers de maçonnerie. Ces dessins présentent les différentes phases d'une construction entendue comme un montage d'éléments préfabriqués offrant, à partir d'une grille d'ossature légère, une infinie variété de combinaisons possibles et sur laquelle viennent se fixer les habillages extérieurs et intérieurs de toute nature. Ce dispositif permet d'optimiser la coordination des intervenants, la planification et les approvisionnements : « [le] but est d'arriver à créer un système d'approvisionnement qui, tel l'effet de chaîne en usine, entraîne la rationalisation du chantier. Par kit-journée par exemple, de façon à ce qu'il n'y ait aucun stockage sur le terrain.³⁶ »

Le travail d'analyse³⁷ de ces logements, réalisé par Jean-Claude Bignon et François Lausecker en 1983, nous permet d'en comprendre exhaustivement le mode constructif (fig. 33). Les panneaux d'ossature bois d'une hauteur d'étage étaient livrés préfabriqués sur le chantier pour être montés sur une dalle en béton assurant l'assise de la construction. Ces panneaux étaient composés d'une ossature de lisses verticales de 38x97mm, tramée de 60cm et contreventée par des panneaux de contreplaqué cloués. Ces éléments n'intégraient que la fonction porteuse (figs 34ab). L'isolation, les réseaux et les finitions étaient réalisés postérieurement au montage de l'ossature.



Figs 34a et b vues du chantier de montage de l'ossature

³⁵ Charon, Grèzes, *op. cit.*, p. 140-141.

³⁶ *Techniques et architecture*, n° 321, *op. cit.*

³⁷ Bignon, Lausecker *op. cit.*

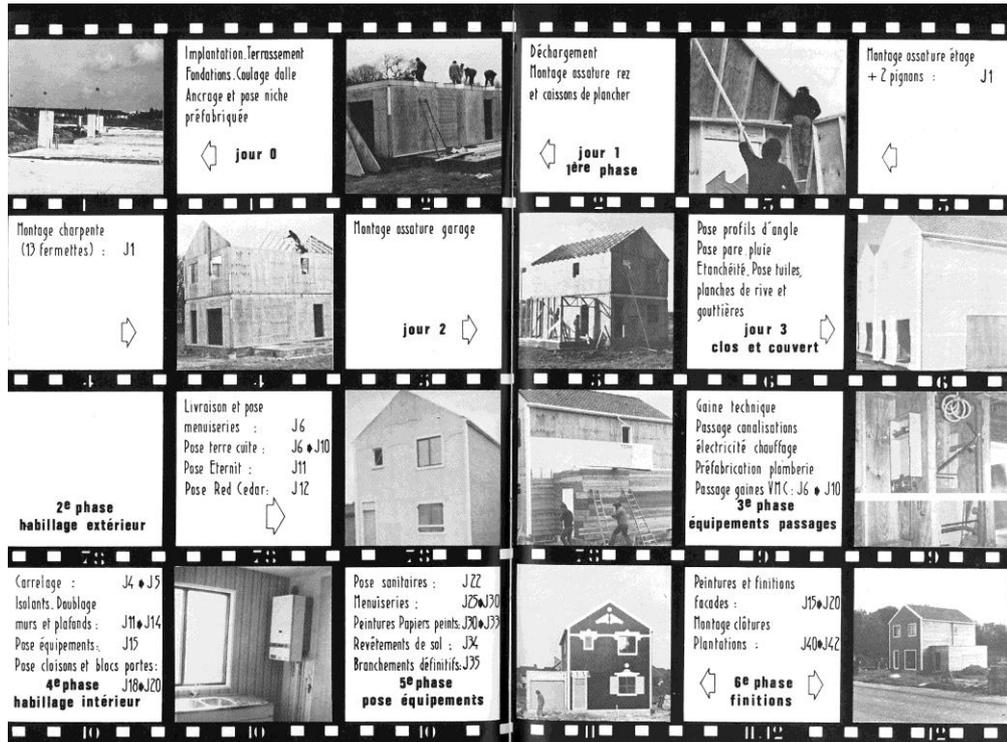


Fig. 32 Story-board de la réalisation de l'opération de la Borne de l'Espoir

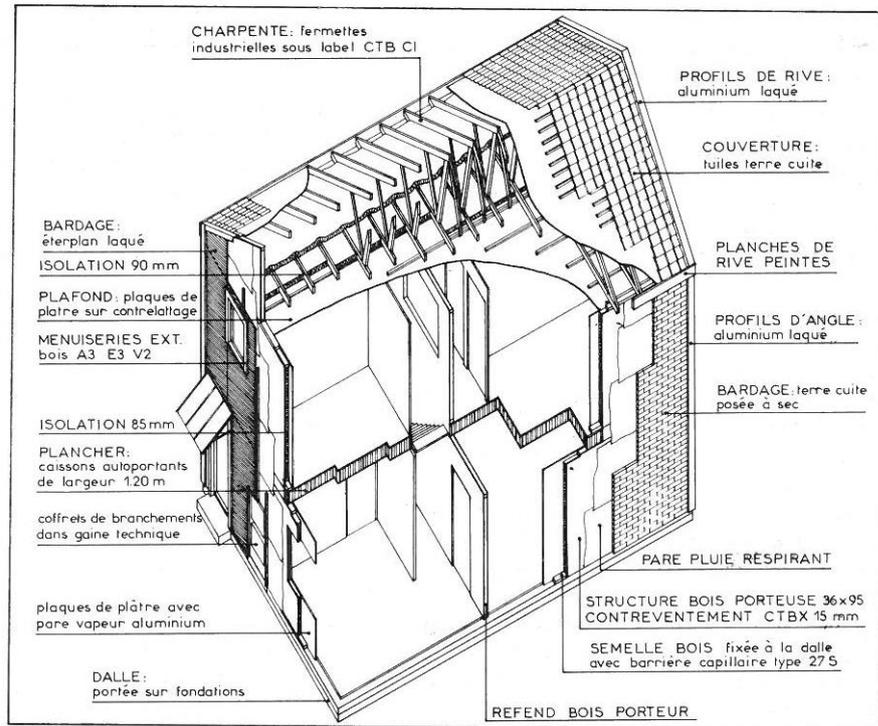


Fig. 33 Axonométrie écorchée d'une maison

Jean-Claude Bignon rapporte que les planchers du premier étage étaient initialement prévus en panneaux industriels tridimensionnels Nail-Web, associant des membrures en bois à une âme pleine en tôle métallique pliée. Ces panneaux ont été abandonnés après une première phase de travaux au profit des planchers déjà utilisés pour la maison à Linselles faits de poutres en treillis bois-métal. En effet, les caissons Nail-Web se sont avérés très contraignants pour le passage des réseaux et à cause de l'impossibilité de les retoucher ou de les modifier *in situ*, montrant ainsi la limite de la construction par composants industriels finis par comparaison aux produits semi-finis.

Le mode constructif des toitures était variable selon la partie d'ouvrage considérée. Un système de fermettes préfabriquées couvrait les T4, en appui sur les murs latéraux. Les charpentes des T3 et T6 étaient réalisées avec des pannes conventionnelles portant de pignon à pignon. Les couvertures étaient en tuiles de terre cuite conventionnelles, sans innovation particulière. Certaines parties d'ouvrages couvertes par des toitures terrasses étaient réalisées avec la même poutraison que celle utilisée pour les planchers d'étages, puis étanchées avec des lés bitumineux déroulés sur support bois.

Cinq types de revêtements extérieurs habillaient les édifices, démontrant ainsi la souplesse de l'ossature « porte-manteau » (*figs 35 à 37*). Ces vêtements étaient fixés mécaniquement devant l'ossature bois revêtue d'un pare-pluie et solidarisés à l'ossature, soit par des pattes métalliques pour les briques, soit par des tasseaux pour les revêtements secs. Cette jonction entre le revêtement et l'ossature ménageait toujours une lame d'air ventilée qui évacuait l'humidité résiduelle contenue dans l'épaisseur de la paroi.

Certaines façades en limite du lotissement étaient doublées d'un mur de brique de 11cm, autoporteur construit devant l'ossature bois et solidarisé par des pattes métalliques. Certains murs tournés vers l'intérieur du quartier étaient doublés de briques alvéolaires de 5 cm d'épaisseur enduites. D'autres façades étaient bardées de Red Cedar à clins horizontaux. On trouvait aussi des surfaces habillées de plaques de fibrociment colorées, vissées sur tasseaux, qui apportaient une richesse supplémentaire à l'opération. Enfin, quelques murs étaient revêtus d'essentes de terre cuite fixées sur des profilés en aluminium. Il s'agissait d'un produit élégant étudié



Fig. 35 Façade en essentes de terre cuite



Fig. 36 Pignon en panneaux Eternit peints et décorés



Fig. 37 Pignons en bardage de Red Cedar

par Jean-Pierre Watel avec les Briqueteries du Nord, dont le brevet était partagé entre l'architecte et l'industriel (*fig. 38*). Cet exemple de « composant » mis au point pour l'opération n'a malheureusement pas été développé au-delà de ce projet, après la faillite du fabricant. Les jonctions d'angles entre les différentes parois verticales aux revêtements différents, ainsi qu'entre les parois verticales et les toitures, étaient traitées par des tôles pliées en aluminium laqué qui assuraient l'étanchéité entre les éléments (*fig. 39*).

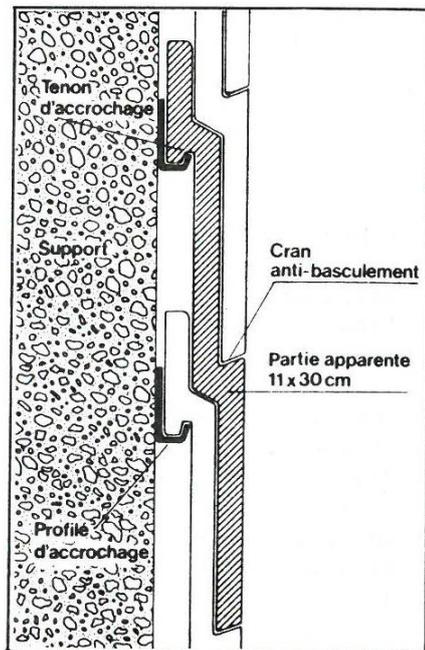


Fig. 38 détail des essentes

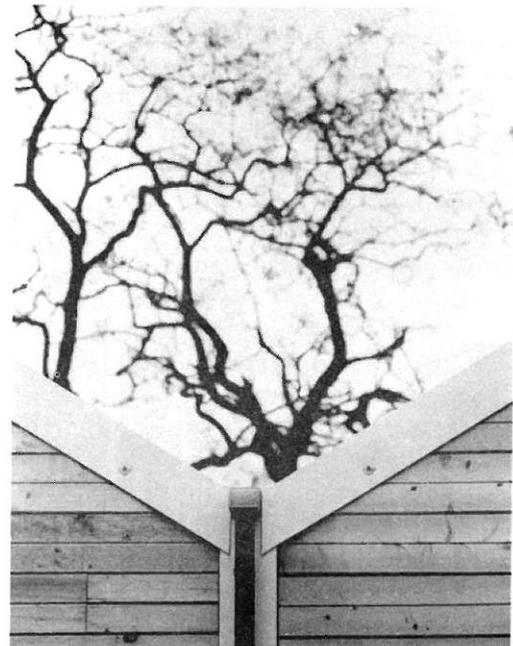


Fig. 39 Détail de rive de pignons

Ce projet offrait ainsi une diversité frappante de revêtements possibles, pour la plupart issus des procédés industriels de la filière sèche. Il répondait d'une certaine manière à l'objectif des opérations REX en servant de démonstrateur des possibilités de la construction par composants et de la richesse de ses possibilités.

Jean Claude Bignon et François Lausecker font toutefois ressortir de leur analyse un certain nombre de défauts de réalisation engendrant un recours fréquent aux joints en silicone, mais aussi de conception comme les encadrements de fenêtres formant piège à eau en saillie sur les revêtements de façade, signes d'une maîtrise encore imparfaite de ces procédés nouveaux. Leur travail d'analyse est malheureusement, à notre connaissance, le seul travail d'évaluation technique détaillée d'une opération REX-

bois et sa diffusion est restée confidentielle. Ce travail montre que la réalité des conditions de production n'a pas permis à Jean-Pierre Watel d'aller aussi loin qu'il l'aurait souhaité dans l'élaboration de sous-systèmes industrialisés qui dépasseraient la logique de corps d'états séparés pour envisager la préfabrication de parties d'ouvrage intégrées. Cependant, ces questions ont inauguré des réflexions plus contemporaines, menées par exemple par l'entreprise Cuiller à Rouen portant sur la mise en œuvre de parties de façade terminées en usine, intégrant l'ossature, l'étanchéité à l'air et à l'eau, l'isolation et le bardage. Avec pour difficulté d'assurer des joints étanches au montage entre les parties pour faire l'économie d'un échafaudage de chantier³⁸. Gain de temps, économie financière, encore et toujours, avec le même argument, déjà avancé par Jean-Pierre Watel en 1978 : trouver les solutions de construction industrialisée qui permettent à la filière bois d'être compétitive face à la filière traditionnelle de la maçonnerie.

Comparaison avec la technologie « plateforme frame »

La lecture attentive de l'ouvrage canadien *Construction de maisons à ossature bois*³⁹ édité en 1979 nous montre que la technologie de construction bois à ossature légère développée en France à la même période est similaire à celle en vigueur outre-Atlantique. Elle consiste à réaliser des constructions d'échelle modeste à partir de petites sections de bois d'environ 120x50mm, en bois debout, sur une hauteur d'étage, contreventées par des panneaux de contreplaqué, puis le cas échéant, d'une seconde hauteur d'étage à partir de la plateforme du premier niveau créé. Ce mode constructif est appelé *plateforme frame*, par opposition au mode *balloon frame* dans lequel ce sont les parois verticales qui sont continues et sur lesquelles s'accrochent les planchers intermédiaires.

Les modalités de raccord au sol, de renforts au droit des ouvertures, des angles et des planchers sont sensiblement les mêmes des deux côtés de l'Atlantique. Tout comme les préconisations en matière d'étanchéité à l'eau et à l'air, et de ventilation de la paroi. La même logique de petites sections en trame serrée s'applique aux planchers et aux combles. L'équivalence de technologie est frappante et confirme clairement

³⁸ Berthier Stéphane, Entretien avec Amélie Denis-Cuiller, 15 juin 2012.

³⁹ Coll., *Construction de maisons à ossature bois-Canada*, Montréal, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1979.

qu'un transfert s'est opéré depuis l'après-guerre de l'Amérique du Nord vers l'Europe.

L'ouvrage canadien détaille avec beaucoup d'exhaustivité les bonnes pratiques de distribution des réseaux techniques et des sujétions de réservations dans l'ossature. En revanche, il ne dit rien de la question de l'industrialisation des procédés constructifs, qui sont tous présentés comme des modes artisanaux réalisés *in situ*, à l'exception des fermettes légères industrielles.

Réflexions sur une nouvelle organisation de la maîtrise d'œuvre

Cette opération REX à Villeneuve d'Ascq a été également l'occasion d'expérimenter une nouvelle organisation de la maîtrise d'œuvre pour mieux contrôler les enjeux techniques de la construction et la rationalisation du chantier. Partant du constat que l'ingénierie conventionnelle n'était pas formée à la construction bois et que le marché du logement collectif était monopolisé par des entreprises générales de gros-œuvre, Jean-Pierre Watel a constitué deux sociétés filiales de son agence, le BETOVE, bureau d'études techniques tous corps d'état, disposant de compétence en ingénierie du bois, et OTC pour assurer la coordination du chantier en corps d'états séparés. En intégrant toutes les compétences sous un même toit, il espère alors contrôler l'ensemble des tâches de la maîtrise d'œuvre pour optimiser la conception et la réalisation de ses projets. De même, c'est à cette période qu'il introduit précocement l'informatique au sein de son agence, en cohérence avec ses objectifs d'une conception organisée autour de la politique des composants standardisés. Ces deux stratégies, l'intégration des compétences et l'informatisation de la conception, participent d'une redéfinition du rôle de l'architecte dans une démarche que nous pouvons rapprocher de celle du « praticien réflexif » de Donald A. Schön⁴⁰, dont la qualité principale serait de savoir redéfinir son rôle (*framing the role*) au gré des évolutions de son secteur professionnel et des situations particulières rencontrées plutôt que de croire possible de plier le réel à l'idée dogmatique que l'on se fait de sa profession. En revanche, les opérations REX ne présentent pas de mode d'organisation de type conception-construction comme nous l'avons vu s'ébaucher,

⁴⁰ Schön, *op. cit.*

dans les années 1960, entre Jean-Pierre Watel et la société ELCOHA, ou entre SCLS et l'entreprise Guirmand. Cela tient au mode de passation des marchés publics qui observent une stricte séparation entre la maîtrise d'œuvre et l'exécution des travaux. À partir de cette opération REX étudiée et des similitudes remarquées avec les autres REX-bois, nous constatons que le travail des concepteurs et des entrepreneurs a été autant un travail d'acculturation à un nouveau mode constructif qu'une expérimentation de son industrialisation. Les opérations REX menées par Gimonet à Oizon, Lajus à Bordeaux et Schweitzer à Paris paraissent tout de même techniquement moins évoluées que leurs premiers projets en bois, à Bourges, Mérignac et Limoges. Sur le plan de la préfabrication, les REX sont aussi nettement régressives comparées aux développements antérieurs de Konrad Wachsmann et Jean Prouvé qui, dès les années 1950, avaient mis au point des panneaux préfabriqués composites intégrant les revêtements et les menuiseries et des systèmes de montages ingénieux⁴¹.

D'un point de vue architectural, on doit aussi s'interroger sur les changements majeurs apportés aux projets initiaux, qu'il s'agisse de celui de Pierre Lajus ou de celui de Jean-Pierre Watel. Il est difficile de ne pas y voir une forme de renoncement à leurs désirs d'architecture fondés sur des modèles généreux mais inadaptés à la commande de logements sociaux ou parce que le mode constructif bois ne s'est avéré compétitif qu'au prix d'une dégradation importante des ambitions formelles. Interrogé à ce sujet, Jean-Pierre Watel reconnaît à demi-mots que son projet initial, architecturalement plus ambitieux, aurait peut-être pu voir le jour dans la filière plus compétitive de la maçonnerie.

Cadre méthodologique des REX

Ce bilan nous amène à nous interroger sur la cohérence entre l'hypothèse de l'industrialisation ouverte et les conditions méthodologiques de l'expérimentation censée l'explorer. Reprenons : l'expérimentation avait pour objectif de préfigurer une alternative aux conditions de production du secteur de la construction en imaginant une industrialisation ouverte, comme un grand meccano de composants

⁴¹ Wachsmann, *Wedenpunkt im Bauen*, *op. cit.*; voir aussi Berthier, « Timber in the building of Jean Prouvé », *op. cit.*

industriels compatibles entre eux, de développer une filière bois industrialisée quasi inexistante à l'époque, de préfigurer le programme « Habitat 88 » (baisse de 25% des coûts de la construction) et de préfigurer le programme « Habitat Économe en Énergie 1985 » (H2E85, baisse de 50% des consommations énergétiques).

Le bilan édité de ces opérations REX ne fait pas mention d'un protocole d'expérimentation, hormis la possibilité dérogatoire offerte aux maîtres d'œuvre de travailler en amont de l'étude avec des industriels et des entreprises dans le cadre de pré-consultation et une fréquence de réunions de travail et d'échanges au sein du groupe des architectes chargés d'une opération REX-bois, animée par le Plan Construction, mais dont les bilans d'étapes ne sont pas restitués.

Les moyens mis en place pour répondre aux objectifs étaient de subventionner des petites opérations de logements sociaux et de confier la maîtrise d'œuvre à des architectes motivés par les enjeux, sans établir de partenariats avec les mondes de la maîtrise d'ouvrage, de l'industrie et de l'entreprise, mais une simple incitation économique. Or, la littérature officielle ne mentionne jamais le montant des subventions, ni si les maîtres d'œuvre perçoivent une rémunération supplémentaire pour ce travail expérimental. Il n'existe pas d'information disponible sur l'économie de l'expérimentation. Enfin, il semble que l'attribution des subventions aux bailleurs sociaux n'est pas été assortie d'obligations contraignantes si l'on en juge par leur faible implication dans le programme, tel que le rapporte Charon et Grèzes⁴². Jean-Pierre Watel résume la situation en ces termes : « Les bailleurs sociaux ont joué le jeu parce qu'il y avait des crédits privilégiés pour ceux qui s'engageraient avec nous dans cette voie, on appelait cela des guichets à l'époque. Et les gens se sont précipités au guichet ! »⁴³

Absence d'expertise et d'évaluation technique

Par ailleurs Le rôle du CSTB demeure flou. Bien que cité quelques fois par Charon et Grèzes comme conseil des REX, les architectes concernés n'ont pas la mémoire de cet appui. Interrogé à ce sujet, Alain Maugard⁴⁴, ancien directeur du CSTB, élude lui aussi la question. Aussi quel qu'ait été le rôle du CSTB dans les opérations REX,

⁴² Charon, Grèzes, *op. cit*

⁴³ Berthier Entretien avec Jean Pierre Watel, *op. cit*.

⁴⁴ Berthier Stéphane, Entretien avec Alain Maugard, 7 octobre 2015.

il ne semble pas avoir été un acteur significatif de ces expérimentations constructives. De même, il n'existe nulle trace ni mémoire que les REX aient été organisées avec le concours du CTB (Centre Technique du Bois), lequel aurait pu alimenter ces opérations d'une expertise technique précieuse.

En matière d'évaluation de l'expérimentation, nous devons nous contenter de commentaires en demi-teinte fondés sur la restitution par les architectes de leurs propres opérations⁴⁵, sans analyse comparative entre elles. Il n'est pas fait mention des résultats obtenus au regard des objectifs énergétiques du programme H2E85 qui préfiguraient pourtant nos enjeux contemporains.

Villaboïs : une opération de démonstration ?

Il est important de mentionner un dernier jalon de cette renaissance de l'architecture de bois : le salon Bâtibois international, organisé à Bordeaux en 1984 et destiné à promouvoir la filière bois régionale. Il présente un village-témoin baptisé « Villaboïs », constitué de 116 maisons bois réparties en sept îlots sous forme de maisons en bande et semi-collectifs dans l'esprit du nouvel urbanisme suburbain de l'époque. Ce village a donné lieu à un concours réunissant des équipes composées d'architectes et d'entreprises, organisé sous l'égide de la région Aquitaine, de la Chambre de commerce et d'industrie de Bordeaux et de la Caisse des dépôts et consignation, afin de promouvoir la filière bois landaise pour la construction de maisons à ossature bois. Coordinateurs de Villaboïs, les architectes Pierre Lajus et Roland Schweitzer ont en charge le plan masse et sont membres du jury. Parmi la centaine d'équipes candidates, vingt-huit sont retenues pour concourir dont huit équipes internationales représentant les pays à forte tradition constructive en bois (Suède, Norvège, Danemark, Finlande et Canada), douze équipes nationales et huit équipes régionales. On peut regretter qu'aucune équipe internationale ne figure parmi les sept lauréats, composés de quatre équipes nationales (dont Jean-Pierre Watel et Christian Gimonet) et trois équipes régionales. La documentation⁴⁶ disponible sur cette opération démonstrative indique trois éléments. Le premier est que la

⁴⁵ Charon, Grèzes, *op. cit.* ; *Techniques et architecture*, n° 347, *op. cit.*

⁴⁶ Crouzet, *op. cit.*

renaissance de la construction en bois en France s'est bien opérée très majoritairement à partir du transfert de la technologie de l'ossature légère d'origine nord-américaine, au détriment des autres options possibles comme la construction en bois empilé des pays nordiques, la construction poteaux-poutres et remplissage léger de la tradition japonaise ou le pan de bois à remplissage maçonné d'Europe continentale. Le second est, qu'à la différence de la tradition nord-américaine de construction sur le chantier à partir d'une matière première seulement équarrie aux bonnes sections, toutes les maisons de Villabois présentent une part importante de préfabrication par panneaux semi-finis, soit de dimensions maximales selon les conditions de transport et levage, soit au contraire en panneaux de 120 cm de large, manuyportables. De même, les charpentes de fermettes industrialisées se généralisent. La troisième information est que les réalisations sont d'une très grande banalité architecturale, voire d'une certaine pauvreté (*fig. 40*), très loin de l'enthousiasme que pouvaient susciter les œuvres présentées à l'exposition « Maisons de bois » quatre ans auparavant.



Fig. 40 Villabois, maisons par Jean-Pierre Watel

Sous la pression des conditions économiques du logement social, les imaginaires architecturaux généreux disparaissent dans l'âpreté du dépouillement économique. À tel point que ni Jean-Pierre Watel, ni Christian Gimonet n'ont communiqué sur cette opération. Villabois ne fait pas partie de leurs portfolios et tous deux se sont montrés très peu diserts à ce sujet lors de nos entretiens. Nous savons simplement que le mode constructif employé par Jean-Pierre Watel était très proche de celui développé pour La Borne de l'Espoir, diversité des habillages et préfiguration des composants

industriels en moins. Ce projet a été construit à partir de panneaux préfabriqués de murs à ossature bois légère de 1m20 de largeur semi-finis et de fermettes industrielles pour les combles. Jean-Pierre Watel explique aujourd'hui l'échec de cette opération par la trop forte exigence économique de la commande. Cet objectif a eu, selon lui, pour conséquence de brader les qualités techniques et architecturales des produits proposés. L'opération censée être un démonstrateur s'est avérée contre-productive pour la filière.

Pour terminer, il faut signaler que Jean-Pierre Watel n'a plus construit en bois après 1984, tout comme Pierre Lajus et Christian Gimonet. Roland Schweitzer aura encore la chance de gagner, en 1985, le concours pour le siège de la Direction régionale de l'agriculture et de la forêt à Châlons-en-Champagne⁴⁷. Mais, la même année, il échoue à réaliser un projet de 62 logements à Liverdun⁴⁸ conçu à partir de modules bois tridimensionnels industrialisés. En conséquence, l'ensemble de leurs recherches et engagements personnels pour maîtriser les technologies de la construction bois peuvent être considérés comme des investissements à perte, avec de graves conséquences financières pour certains d'entre eux.

Les entreprises engagées très tôt dans ce travail d'industrialisation du mode constructif s'en sont sans doute mieux sorties. Les principales d'entre elles, à l'origine de la réflexion sur l'industrialisation du procédé dès la fin des années 1960, régulièrement citées lors de notre enquête, comme Coquart, Cruard, Cuiller, Houot, ou Longépé sont parvenues à traverser la crise du milieu des années 1980. Elles existent encore aujourd'hui et sont bien placées sur un marché désormais plus favorable à la filière bois, grâce à ses atouts thermiques et écologiques.

Une banalisation de la maison en bois ?

En 1986, le ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du territoire et des Transports publie un ouvrage promotionnel, *Habiter le bois*⁴⁹, dont l'introduction du ministre Pierre Méhaignerie fait état de la grande réussite du développement des modes constructifs en bois, affichant 10 000 logements construits

⁴⁷ *Techniques et architecture*, n° 404, Octobre-Novembre 1992.

⁴⁸ Schweitzer, *un parcours d'architecte*, op. cit.

⁴⁹ Coll., *Habiter le bois*, op. cit.

en trois ans. Un chiffre qui dépasse largement l'objectif fixé de 6 000 unités, preuve de la vitalité de la nouvelle filière, fruit d'un protocole signé entre l'État, les maîtres d'ouvrages sociaux et les professionnels du secteur. Robert Lourdin signale que ces chiffres sont sujets à caution et relèvent plutôt de la manipulation promotionnelle car ils intègrent selon lui la production de résidences secondaires de type chalets et bungalows, mais témoignent tout de même de la banalisation de la maison à ossature bois légère dans les pratiques constructives⁵⁰.

L'ouvrage s'ouvre sur la présentation par Roland Schweitzer de la construction en bois dans l'histoire. Il se poursuit par un retour sur les sept REx réalisées entre 1978 et 1983, avant de présenter une soixantaine de réalisations de petits collectifs de logements sociaux en bois livrés de 1984 à 1986. Cet ouvrage nous laisse penser que la « solution bois » s'est banalisée et a atteint sa vitesse de croisière. Mais il ne peut pas encore expliquer la crise des dix années qui suivent la période de soutien financier à la filière naissante sous forme de subventions publiques, avant que la prise de conscience des questions écologiques et des enjeux énergétiques contemporains n'offre un second souffle à la filière bois. Deux explications sont avancées, l'une économique, l'autre technique. Jean-Pierre Watel explique que la filière bois n'a pas trouvé son modèle économique hors subventions⁵¹. Roland Schweitzer avance quant à lui l'hypothèse⁵², confirmée par le CNDB⁵³, que le développement de la construction bois dans les années 1980, sous des politiques publiques incitatives, a eu lieu précipitamment, avec des acteurs plus motivés par l'effet d'aubaine des subventions que par la mise au point du mode constructif, et avec des entreprises d'exécution nouvelles attirées par sa technologie apparemment simple mais maîtrisant mal sa grande exigence constructive. La conséquence semble avoir été la multiplication des sinistres⁵⁴ et des faillites d'entreprises qui ont compromis la crédibilité d'une filière naissante victime de sa croissance subventionnée. Jean-Pierre Watel redoutait de manière prémonitoire à peu près la même chose lorsqu'en 1983 il expliquait dans *Le Moniteur* : « Si les maîtres d'ouvrage, les industriels, les

⁵⁰ Berthier, Entretien avec Robert Lourdin, *op. cit.*

⁵¹ Berthier, Entretien avec Jean-Pierre Watel, *op. cit.*

⁵² Berthier, Entretien avec Roland Schweitzer, *op. cit.*

⁵³ Formation « Construction en bois à l'attention des enseignants des écoles d'architecture », CNDB, juillet 2010.

⁵⁴ Formation « Pathologies de la construction bois », CNDB, juillet 2010.

entrepreneurs, les architectes et les bureaux d'études se lancent à corps perdu dans le bois, on risque de faire d'énormes bêtises. Un démarrage trop rapide pourrait être néfaste à l'ossature bois car c'est une technique à laquelle il faut être formé.⁵⁵ »

Capitalisation de la connaissance

Cette période pionnière, temps des prototypes et de l'expérimentation, interroge donc aussi l'état de l'art ou le socle de connaissances sur lequel elle s'est fondée. Le premier ouvrage de diffusion de la connaissance en matière de construction bois à ossature légère est *Holzhausbau : Technik und Gestaltung*⁵⁶ de Konrad Wachsmann, édité en 1930. Il posait déjà toutes les bases de la construction bois à ossature légère industrialisée, mais l'ouvrage n'a jamais été traduit en français, pas plus que *Wedenpunkt im bauen*⁵⁷ du même auteur publié en 1959, qui présentait en détail le process industriel de la Packaged House.

En 1977, la Librairie du compagnonnage édite *l'Encyclopédie des métiers de la charpente et de la construction en bois*⁵⁸. Cet ouvrage en dix tomes est extraordinaire de précision et d'exhaustivité. Il aborde tous les aspects techniques de l'ossature bois légère, mais aussi de son caractère industrialisable (tome 6), de sa rapidité de mise en œuvre et de ses atouts en matière de performance thermique. Les éditions successives renforceront la connaissance des comportements thermiques de ce mode constructif, notant les défauts de la thermique d'été, les problèmes de perméance à la vapeur d'eau et d'étanchéité à l'air, dès l'édition de 1989. Les auteurs regrettent toutefois le désintérêt des compagnons charpentiers à l'égard de cette technologie pourtant jugée très pertinente pour aborder le marché de la maison individuelle. L'ouvrage souligne en effet qu'en 1950, 60% des maisons américaines, 70% des maisons japonaises et 77% des maisons finlandaises sont réalisées sur la base de ce mode constructif. On peut émettre l'hypothèse que la cible corporatiste de l'ouvrage, son format et son prix n'ont pas permis sa diffusion aisée. Mais force est de constater qu'à partir de 1977, la connaissance technique de la construction bois à ossature

⁵⁵ « Deux architectes avec le bois », *Le Moniteur*, n° 20, 13 mai 1983, pp 54-58

⁵⁶ Wachsmann, *Holzhausbau op. cit.*

⁵⁷ Wachsmann, *Wedenpunkt im Bauen, op. cit.*

⁵⁸ Coll., *Encyclopédie des Métiers op. cit.*

légère est capitalisée, en langue française. En 1978 paraît en Suisse et en langue allemande *Holzbau Atlas*⁵⁹ de l'ingénieur Julius Naterrer et les éditions du Moniteur diffusent un guide pratique⁶⁰ pour la bonne conception des constructions à ossature bois légère. Les deux ouvrages synthétisent les connaissances évoquées plus haut.

Pourtant, et aussi incroyable que cela puisse paraître, les acteurs de l'époque rapportent leur désarroi devant une connaissance technique inexistante qu'ils expliquent s'être constituée empiriquement, projet après projet, en dialoguant avec les entreprises à partir de l'observation de modèles et par des voyages d'études en Amérique du Nord, en Scandinavie et au Japon, voyages auxquels participaient architectes, maîtres d'ouvrages et entrepreneurs⁶¹.

Dans le domaine de l'enseignement, Julius Naterrer développe la construction bois à l'école polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) à partir de 1978 et Roland Schweitzer crée le Certificat d'études approfondies en architecture (CEAA) « Le bois dans l'architecture » à l'école d'architecture de Paris-Tolbiac en 1984. Le second rejoindra d'ailleurs le premier à l'EPFL (IBOIS) en 1988.

C'est seulement en 1994 que la filière bois française s'organise pour diffuser les connaissances techniques de manière régulière, organisée, « visible » et adaptée à la bonne formation des architectes. Le CNDB édite, entre 1994 et 2000, la revue *Détails Bois*, recueil bimensuel des bonnes pratiques constructives en bois à destination des concepteurs, suivie à partir de 1995 de la parution de *Séquences Bois*, revue d'architecture dirigée par Jean- Michel Hoyet, alors rédacteur en chef de la revue *Techniques et architecture* et qui s'attache à accompagner chaque projet présenté de ses principaux détails d'exécution. À la même période, le CNDB met en place des programmes de formation professionnelle à destination des acteurs de la construction bois – entrepreneurs, concepteurs et enseignants –, pour pallier leurs lacunes techniques.

⁵⁹ Naterrer, *Holzbau Atlas*, op. cit

⁶⁰ Pracht, *Holzbau-Systeme*, op. cit.

⁶¹ SBerthier, Entretiens avec Gimonet, Lajus, Schweitzer, Watel, op. cit.

Ces constats apportent la preuve qu'il ne suffit pas qu'une connaissance soit capitalisée pour qu'elle soit opératoire. Encore faut-il que son mode de diffusion soit adapté au public concerné, qu'il s'agisse des formations initiales, de la formation continue ou de l'autoformation.

Une démarche d'entrepreneurs plus que de scientifiques

On peut voir la démarche de ces jeunes architectes pionniers de l'architecture de bois comme celle d'entrepreneurs innovants au sens où l'entendait l'économiste Joseph Schumpeter. En entrant sur un marché détenu par les architectes de la génération précédente, ils devaient trouver le moyen de proposer une production innovante dont l'attractivité leur permettrait d'acquérir des parts d'affaires. Remettre au goût du jour l'architecture de bois délaissée pendant quasiment toute l'aventure de la modernité était un pari pertinent dans un monde marqué par le développement des infrastructures et le brutalisme architectural des grands ensembles. À n'en pas douter, renouer avec un matériau naturel était l'occasion d'envisager autrement notre rapport à l'environnement quand dans le même temps commençaient à émerger les premières consciences écologistes critiques⁶². D'autre part, les voyages de Jean-Pierre Watel aux États-Unis lui avaient laissé penser que les coûts de la construction observés outre-Atlantique étaient moins chers qu'en France, offrant l'opportunité de proposer une architecture nouvelle, attractive et plus économique. Cette hypothèse nécessitait de s'approprier une technologie de construction qui n'était pas pratiquée en France, pour laquelle les entreprises n'étaient pas formées et l'ingénierie quasiment inexistante. Aussi fallait-il se mettre les mains dans le cambouis, expérimenter cette technologie, d'abord dans le sens le plus trivial du verbe : *faire l'expérience de*, mais pas seulement. En effet la constance du travail de Jean-Pierre Watel présentait les caractéristiques d'un développement expérimental tel qu'on pourrait le concevoir dans le domaine industriel, à ceci près qu'il était fragmenté de projet en projet et ne se dotait pas de moyens d'évaluation ; c'est le marché qui s'en chargera.

⁶² En 1962, l'ouvrage de l'américaine Rachel Carlson, *Silent Spring*, est connu pour être le premier opus de l'écologie politique. En 1972 René Dumont est le premier candidat écologiste à l'élection présidentielle française. À partir de 1973 paraît la revue d'écologie politique *Le Sauvage*, à laquelle Christian Gimonet au moins était abonné.

L'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques

Les premiers projets de Jean-Pierre Watel, de la maison de la foire de Lille en 1964 à la maison à Linselles en 1978, sont réalisés dans des conditions isolées, en fonction des opportunités de la commande. Cette situation excuse l'absence d'élaboration d'une méthodologie d'expérimentation sur le long terme, laissant une grande place à la sérendipité. « Ce que je fais m'apprend ce que je cherche » disait Pierre Soulages. Face au transfert de technologie, à l'arrivée d'innovations constructives, l'architecture se présente comme un milieu d'expérimentation des innovations techniques. Selon la réflexion de Michel Callon et Bruno Latour pour lesquels « adopter une innovation c'est l'adapter »⁶³, nous constatons que Jean-Pierre Watel a œuvré à transformer une technologie artisanale nord-américaine en une technologie industrialisée pour pallier l'absence de savoir-faire artisanaux en France. Sa manière d'analyser ce système constructif l'a conduit à construire sa métaphore de l'ossature porte-manteau en cohérence avec l'industrialisation ouverte et sa politique des composants et aussi sans doute avec l'exigence postmoderne de « diversité » architecturale comme en témoigne les multiples traitements de façade du projet de la Borne de l'Espoir. Double adaptation donc, aux conditions de production et aux attentes architecturales de l'époque. Toutefois, Jean-Pierre Watel n'a jamais relié explicitement sa métaphore de l'ossature « porte-manteau » aux performances thermiques de l'édifice, preuve que la sérendipité ne mène pas toujours droit au but. Ce travail de développement expérimental l'a aussi conduit à reconsidérer le rôle de l'architecte en l'absence de partenaires techniques qualifiés au-delà d'une poignée d'entreprises et d'ingénieurs. La situation nécessitait l'intégration des compétences pour maîtriser une technologie nouvelle et des modalités d'exécution innovantes. Cette réflexivité sur le rôle de l'architecte l'a même conduit un temps au-delà des limites de l'exercice libéral en établissant des partenariats avec des industriels, ELCOHA puis les Briqueteries du Nord, partageant avec eux l'invention technique et les brevets qui la protège.

⁶³ Akrich, Callon, Latour, *op. cit.*

L'occasion manquée des REX

En débutant cette étude nous espérions trouver dans les REX organisées par le Plan Construction un cadre théorique et méthodologique à l'expérimentation et nous pensions que le nombre d'opérations engagées simultanément aurait permis d'en établir une évaluation. Pourtant, malgré son cadre institutionnel, sa capacité de formulation théorique et le réseau d'expertise qu'il aurait pu mobiliser, le Plan Construction n'offre pas l'occasion de comprendre l'expérimentation autrement que dans sa définition minimale : « faire l'expérience de ». Il disposait pourtant des moyens d'engager une réflexion théorique sur la relation entre fabrique de l'architecture et développement expérimental dans les milieux industriels.

Mais ces opérations n'ont pas surmonté les difficultés méthodologiques liées à la multiplicité des acteurs. Elles réunissaient, par opportunisme, de multiples acteurs dont les intérêts à court terme ne les motivaient pas nécessairement pour s'impliquer dans une logique de développement expérimental. On y trouvait des maîtres d'ouvrage qui souhaitaient d'abord « sortir » leurs opérations dans le respect des coûts et des délais, des entreprises cherchant à dégager la meilleure marge bénéficiaire sur des opérations dont elles ne savaient pas si elles seraient reproductibles et des architectes désirant faire œuvre, chacun d'entre eux ne maîtrisant qu'un maillon de la chaîne de l'invention. Les opérations REX ont été organisées sur un mode séquentiel qui escomptait que la modification d'une séquence – la conception architecturale – parviendrait à elle seule à modifier l'ensemble des termes de la chaîne.

Seules quelques incitations financières laissaient espérer l'investissement cohérent des uns et des autres. La pertinence d'une organisation séquentielle des tâches entre les acteurs ne semble pas avoir été interrogée, pas plus que n'ont été envisagés des modes collaboratifs innovants comme ceux que Jean-Pierre Watel a expérimentés avec ELCOHA et les Briqueteries du Nord ou SCLS avec l'Entreprise Guirmand. La volonté de développer de tels modes collaboratifs fut d'ailleurs à l'origine de la formation du groupe AVEC, collectif informel d'architectes soucieux d'imaginer d'autres organisations de la maîtrise d'œuvre partagées, plus ouvertes vers les bureaux d'études, les entreprises et les industriels. Ce groupe d'initiative privée

réunissait notamment tous les acteurs des REX-bois⁶⁴. Il ne semble pas que les réflexions menées par ce groupe aient trouvé un relais auprès du Plan Construction. Une seconde difficulté méthodologique propre à la fabrique de l'architecture porte sur le caractère singulier des expériences fragmentées de projet en projet, situations à chaque fois différentes, comme autant d'expériences à $n=1$ qui ne favorisent ni la comparaison entre les résultats « à toutes choses égales par ailleurs », ni l'évaluation statistique. Là non plus les opérations REX ne proposent pas de protocoles communs convaincants susceptibles de produire des résultats évaluables. Ces opérations n'ont d'ailleurs pas fait l'objet d'évaluation au sens scientifique du terme mais plutôt de simples « bilans »⁶⁵.

Une troisième difficulté méthodologique porte sur le socle de connaissances en matière de construction à ossature bois légère, nécessaire aux acteurs. Nous avons montré que ce socle existait, et que la connaissance nécessaire était capitalisée en langue française dès 1977. Pourtant les sept opérations REX-bois sont lancées sans qu'un état de l'art soit constitué et partagé par tous, laissant chacun à l'analyse de ses références architecturales et à ses voyages d'études.

Mais sans doute les objectifs du Plan Construction étaient plus de faire la « révolution » des conditions de production avec l'industrialisation ouverte dans un esprit d'économie administrée, plutôt que d'acquérir, capitaliser et développer la technologie de la construction à ossature bois légère. L'ensemble du corpus documentaire en notre possession montre que le rapport qu'entretenaient unanimement les acteurs des REX avec le concept d'industrialisation relève de la foi et n'est jamais remis en question, sinon à demi-mots dans les bilans de 1983. À propos des méthodes artisanales qui prévalaient outre-Atlantique, Christian Gimonet s'interrogeait : « Aux États-Unis et au Canada, on voit une main d'œuvre très responsabilisée par de meilleures conditions de travail, ayant une productivité bien supérieure à la nôtre, avec des moyens beaucoup plus souples.⁶⁶ » Par ailleurs, les échecs industriels de la General Panels Corporation de Konrad Wachsmann, des maisons de Jean Prouvé ou de la maison Moduli en Finlande, alors que ces entreprises

⁶⁴ Le groupe AVEC était constitué exhaustivement de Christian Gimonet, Nadia Hoyet, Lucien Kroll, Pierre Lajus, Roland Schweitzer, Jean-Jacques Terrin, Jean-Pierre Watel, sous la présidence d'honneur de Jean Prouvé.

⁶⁵ Charon, Grèzes, *op. cit.*

⁶⁶ *Techniques et architecture*, n° 347, *op. cit.*

bénéficiaient pourtant d'une période de forte croissance économique, auraient mérité d'être relevés et analysés pour en déterminer les raisons. Mais l'idée que l'industrialisation est la solution, qu'elle augmentera la qualité des constructions en même temps qu'elle en fera baisser les coûts n'était alors pas seulement une hypothèse mais un postulat. L'unique questionnement portait sur la forme que devait prendre cette industrialisation. Cette conviction a orienté l'ensemble des efforts des participants sur des enjeux de conditions de production en confondant d'ailleurs régulièrement les termes de préfabrication et d'industrialisation.

Les politiques publiques censées soutenir le développement d'une filière bois se sont avérées largement contreproductives, en ne voyant en elle qu'une opportunité immédiate pour baisser les coûts de construction du logement social. Elles ont raté au passage le grand enjeu de la thermique des constructions au sortir des deux chocs pétroliers, en délaissant les objectifs pourtant pertinents du programme H2E85, pour lesquels le bois s'avérait être un matériau très avantageux et le principe d'ossature « porte-manteau » de Watel, un modèle adéquat.

Nous pourrions toutefois nous dire que ce n'est « pas si grave » d'avoir perdu un peu de temps, que la filière a appris de ses erreurs et a fini par corriger le tir, même si ce travail d'appropriation du mode constructif aurait pu se réaliser dans des délais beaucoup plus courts s'il avait été formulé méthodologiquement, et qu'une évaluation avait permis d'en identifier explicitement les avantages et les difficultés à surmonter. Mais cette perte de temps fut peut-être catastrophique pour l'innovation dans la filière bois en France. Edgar Morin faisait remarquer qu'une société qui n'expérimente pas n'innove pas et que cette absence d'innovation l'oblige à importer des modèles. Et en effet, les innovations sur lesquelles se fonde la construction bois éco-vertueuse contemporaine sont des transferts de modèles d'Allemagne, de Suisse et d'Autriche, alors que l'architecture moderne en bois y renaît à la même période qu'en France. La relecture de l'ouvrage de Dominique Gauzin-Müller, *L'architecture écologique du Vorarlberg*⁶⁷, nous montre pour l'exemple la continuité du développement de l'architecture de bois en Autriche. Pourtant, depuis l'après-guerre, la filière bois locale, artisanale et ancestrale a été elle aussi confrontée au succès de la filière du béton armé. Afin de trouver de nouveaux débouchés, la

⁶⁷ Gauzin-Müller Dominique, *L'architecture écologique du Vorarlberg*, Paris, Éditions du Moniteur, 2009.

filière bois s'est saisie des enjeux énergétiques émergents au milieu des années 1970. Ils l'ont conduite, pas à pas, depuis les premières maisons dites à « 5 litres de fuel », jusqu'à la *Passivhaus* contemporaine. Ce développement d'une filière bois de sa propre initiative et dont l'industrialisation n'a jamais dévalorisé les savoir-faire du charpentier a permis, en trente ans, de constituer un secteur économique florissant dont la production architecturale est unanimement saluée. La comparaison avec la situation française est intéressante et nous invite à militer pour la promotion d'une véritable culture du développement expérimental en architecture, à l'échelle de l'édifice, partagée par tous les acteurs de l'acte de bâtir, et dont il convient désormais de rechercher les modalités adaptées à la situation complexe de l'architecture.

Esquisse d'un développement technique expérimental en architecture

Même si les conditions du développement expérimental de Jean-Pierre Watel étaient éloignées des canons méthodologiques du terme, l'observation détaillée que nous avons pu en faire indique bien une démarche caractérisée par une hypothèse de départ – fut-elle fautive –, suivie d'expériences successives visant à l'explorer. Mais ce développement opère plus dans une logique d'entrepreneur que dans une logique scientifique. Dans ce contexte, nous pourrions dire que la connaissance ne pouvait se constituer que lentement, par sédimentation des itérations successives. Pourtant, cette notion d'expérimentation technique en architecture n'est pas si spécifique et si particulière qu'elle justifierait une « exception culturelle » rendant toute démarche scientifique impropre, au motif de sa complexité.

La critique que nous formulons sur les opérations REX est en fait très proche de celle que formule aujourd'hui Esther Duflo sur l'expérimentation des politiques publiques en matière de lutte contre la pauvreté⁶⁸. Elle montre que ces politiques publiques aux objectifs souvent très ambitieux ne sont pas évaluées, soit parce qu'elles ne sont pas évaluables, soit parce que leurs promoteurs, motivés par des fins électoralistes, préfèrent communiquer sur leurs actions plutôt que les évaluer au risque de devoir reconnaître leur échec. De même, les associations ou les ONG chargées de mettre en œuvre les programmes et qui vivent de subventions n'y ont pas plus intérêt, pour les

⁶⁸ Duflo Esther, *Expérience, science et lutte contre la pauvreté*, Paris, Fayard, coll. Leçons inaugurales du Collège de France, 2009.

mêmes raisons. Citant Franklin Roosevelt à propos de sa politique du New Deal, elle met en exergue le fait que la difficulté d'évaluer ne fait qu'ajouter à la nécessité d'expérimenter : « *the country demands, bold, persistent, experimentation. It is common sense to take a method and try it: if it fails, admit it frankly and try another. But above all try something.*¹ » Soulignant l'importance de « *if it fails, admit it frankly* », elle revendique le transfert de méthodes des essais cliniques tels qu'ils se pratiquent en médecine dans le domaine de l'action publique, pour multiplier des expérimentations aux ambitions circonscrites à un seul sujet, dont les attendus sont explicites et les résultats évaluables et comparables.

Par analogie les REX auraient pu poser les bases d'un cadre méthodologique pour de vraies expérimentations, évaluables « à toute chose égale par ailleurs » comme : a - une analyse comparative entre constructions sur site ou systèmes de préfabrication en termes d'économie et de délais ; b - une analyse des conditions techniques, avantages et inconvénients des différents modes constructifs en bois (ossature légère, poteau-poutre, bois massif) ; c - une étude comparative sur les performances thermiques des différentes filières de la construction ; d - une évaluation à l'échelle de l'édifice de la qualité des solutions constructives proposées. Au lieu de cela, l'investissement de toutes les énergies dans l'industrialisation ouverte et ses objectifs économiques tendus a détourné les acteurs d'un travail opiniâtre (mais évaluable) d'appropriation du mode constructif, de reconnaissance de ses atouts comme de ses limites. L'absence d'évaluation n'a jamais permis d'admettre franchement ce que Jean-Pierre Watel semble avoir compris assez vite, à savoir que compte tenu des conditions de production en France, construire en bois est plus cher que construire en maçonnerie. L'obstination dans le développement d'un mode constructif « pas cher » n'a pas permis d'explorer ses atouts thermiques et d'envisager son surcoût initial comme un investissement sur les coûts d'exploitation dans une logique d'économie globale.

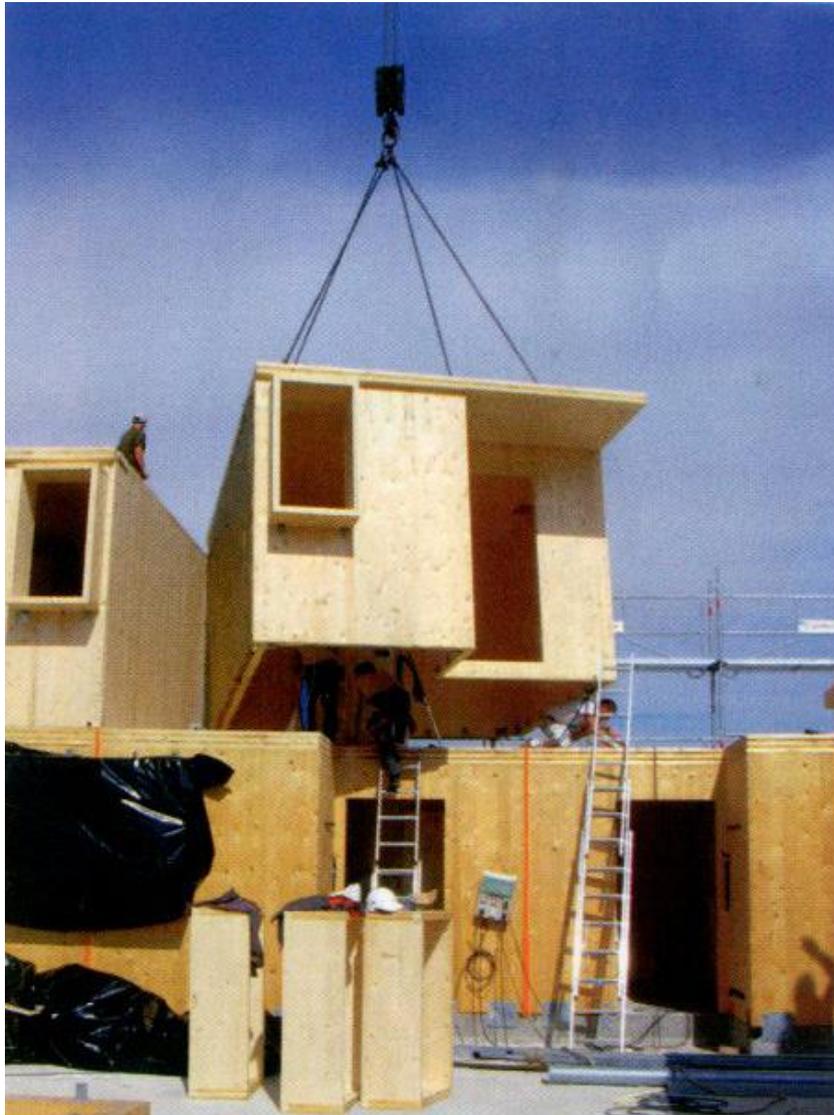
Par ailleurs, si les architectes ont bien identifié et étudié leurs références architecturales, leur rapport à la technique ne suit pas la même exigence. Ils ne se sont pas appuyés sur les connaissances en matière de construction industrielle en bois élaborées avant eux, notamment par Wachsmann ou Prouvé, mais ils ont tenté de réinventer, avec l'aide d'entrepreneurs, les technologies de construction à l'origine

de leurs références architecturales, par imitation de modèles. Tout se passe comme si on repartait de zéro en 1970. Ce constat interroge le rapport que les architectes entretiennent avec leur formation technique et leur culture du développement expérimental sur le long terme. Il questionne le rôle de l'université et spécialement des écoles d'architecture dans la constitution et la diffusion de cette connaissance, dans leur capacité à participer à des programmes de R&D, au moins dans leurs volets « évaluation » et « capitalisation des connaissances », comme le préfigurait le travail de Bignon et Lausecker en 1983.

La technique n'est pas immanente et les sciences de l'ingénieur, divisées en disciplines, sont parcellisées. D'autre part, l'histoire des techniques nous apprend que ces sciences sont des conceptualisations et des normalisations de procédés techniques inventés *ad hoc* dans l'expérimentation, et notre étude de cas n'y déroge pas. C'est après coup qu'apparaissent des boucles de rétroaction positive permettant à la connaissance scientifique d'améliorer les techniques. En architecture, seule l'expérimentation en situation de projet permet d'appréhender la complexité technique de l'édifice, d'adapter et d'évaluer les innovations, d'interroger les compatibilités et les synergies entre des éléments de natures diverses. Mais la formulation théorique de l'expérimentation technique en architecture reste à construire.

--

Toutes illustrations issues des archives de Monsieur Jean-Pierre Watel, avec son aimable autorisation



Recherche du troisième type
Le matériau bois dans l'architecture de l'agence Lipsky+Rollet

Résumé

L'activité de recherche et développement (R&D) regroupe les travaux de la recherche fondamentale, de la recherche appliquée et du développement expérimental. Ce dernier concerne les travaux d'expérimentation pratique obtenus à partir d'installations pilotes ou de prototypes. Cet article vise à explorer cette notion de développement expérimental appliquée à l'architecture grâce à l'analyse détaillée de trois projets de l'agence Lipsky et Rollet : les logements étudiants du campus de Troyes, la Maison de l'Inde à la Cité Universitaire de Paris et le concours « Habitat Positif » à Boulogne. Chacun de ces trois projets repose sur des modes constructifs en bois innovants qui expérimentent les qualités techniques, physiques et écologiques du matériau. Le travail des architectes porte sur la recherche de compatibilités possibles entre des dispositifs constructifs initialement développés dans l'isolement de leurs secteurs industriels réciproques. Ces sous-ensembles techniques préfabriqués doivent alors trouver leurs places dans la complexité du projet d'architecture qui les assemble selon ses propres règles et ses objectifs multiples. Cette étape de prototypage en situation de projet est cruciale car *adopter une innovation, c'est l'adapter*. Selon la formule d'Edgar Morin, *une société qui n'expérimente plus n'innove plus, elle doit alors importer des modèles*. Cette activité de recherche expérimentale fait du projet architectural un outil de connaissance. L'édifice ne doit plus être compris comme un simple domaine d'application de solutions techniques élaborées en amont, mais comme un milieu d'expérimentation nécessaire à leur développement. Son objet porte sur les synergies architecturales et techniques possibles entre des systèmes et des modes constructifs d'origines diverses qui n'ont jamais été pensés ensemble au préalable dans les domaines des recherches fondamentale et appliquée. L'exemple du travail de l'agence de Lipsky et Rollet nous montre ainsi ce que pourrait être une forme de recherche spécifique à l'architecture. Elle est autant un enjeu de stratégie professionnelle qu'un gage de qualité architecturale à l'heure de la transition écologique, mais elle nécessite sans doute une refonte de la définition du rôle de l'architecte, de sa formation et de ses responsabilités.

L'agence d'architecture Lipsky+Rollet revendique une démarche orientée vers les activités de recherche et développement (R&D), affirmée comme un leitmotiv dans les différentes publications de leurs travaux. Leur ouvrage *Les 101 mots de l'architecture*¹ décline avec soin les définitions telles que *Assemblage, Atex, Bâtiment-outil, Construire, Expérimentation, Meccano, Prototype, Recherche etc.* comme autant de mots-clés qui esquissent les contours de leur interprétation de l'architecture. De même, Pascal Rollet définit le projet d'architecture comme outil de recherche fédérateur des résultats d'autres recherches appliquées. Selon lui cette implication dans la *recherche finalisée* est même une évolution nécessaire du métier d'architecte.² Cette posture est plutôt rare parmi les agences d'architecture françaises et force est de reconnaître que la R&D est généralement associée à l'industrie, plus qu'au domaine de l'architecture. Pourtant selon la définition qu'en donne l'OCDE³ :

« La R&D englobe les travaux de création entrepris de façon systématique en vue d'accroître la somme des connaissances, y compris la connaissance de l'homme, de la culture et de la société, ainsi que l'utilisation de cette somme de connaissances pour de nouvelles applications.

Ils regroupent de façon exclusive les activités suivantes :

¹ Lipsky Florence, Rollet Pascal *Les 101 mots de l'architecture à l'usage de tous*, éd Archibooks, coll. 101 mots, Paris 2009

² Rollet Pascal « De la nécessité de la recherche finalisée pour la R&D en architecture » in *Les Cahiers de la Recherche Architecturale et Urbaine* n°26-27, 2012 p233-241

³ Manuel Frascati, 2002 // http://www.uis.unesco.org/Library/Documents/OECDFrascatiManual02_fr.pdf

- la recherche fondamentale (ces travaux sont entrepris soit par pur intérêt scientifique - recherche fondamentale libre -, soit pour apporter une contribution théorique à la résolution de problèmes techniques - recherche fondamentale orientée) ;

- la recherche appliquée (vise à discerner les applications possibles des résultats d'une recherche fondamentale ou à trouver des solutions nouvelles permettant d'atteindre un objectif déterminé choisi à l'avance) ;

- le développement expérimental (fondé sur des connaissances obtenues par la recherche ou l'expérience pratique, est effectué - au moyen de prototypes ou d'installations pilotes - en vue de lancer de nouveaux produits, d'établir de nouveaux procédés ou d'améliorer substantiellement ceux qui existent déjà). »

De plus, les travaux de l'agence accordent une large place au matériau bois, au travers de projets tels que le musée de la Cristallerie St Louis, les logements étudiants du Campus Universitaire de Troyes ou la Maison de l'Inde, dernière-née de la Cité Universitaire Internationale de Paris. De même, la participation de l'agence Lipsky+Rollet à l'appel à idées « Pour un habitat éco-responsable densifié » lancé dans cadre de l'exposition « Habiter écologique »⁴ à la Cité de l'Architecture en 2009 présente un immeuble d'habitation collective nommé « Habitat Positif » imaginé en structure bois comme solution exemplaire pour répondre aux enjeux environnementaux.

Notre recherche s'attachera donc à définir en quoi les travaux de cette agence sont caractéristiques d'une démarche R&D appliquée à l'architecture, spécifiquement dans le domaine de la construction bois (même si l'agence Lipsky+Rollet ne travaille pas exclusivement avec ce matériau).

Il est assez simple d'identifier dans la filière bois les activités qui relèvent de la recherche fondamentale ; par exemple les travaux de P. Gauthier en 1950 sur les caractéristiques physico-mécaniques des bois collés⁵, l'étude des réactions chimiques

⁴ Gauzin-Muller Dominique *Habiter écologique, quelles architectures pour une ville durable ?* Ed. Actes Sud, Cité de l'Architecture et du Patrimoine 2009, p.298-299

⁵ Gauthier *op. cit.*

entre les différents types de colles avec la cellulose et la lignine du bois en sont une bonne illustration. A la suite de quoi les premières expérimentations de l'entreprise Rousseau vers 1952, à partir des données élaborées par Gauthier pour la fabrication industrielle de panneaux de construction en bois contrecollés sont sans nul doute caractéristiques de la recherche appliquée⁶. En revanche la notion de développement expérimental reste floue dans le domaine de l'architecture. Les toitures de nombreuses maisons de Jean Prouvé, comme celle de l'école nomade de Villejuif ou encore celle de la buvette d'Evian, toutes réalisées avec ces panneaux Rousseau nous donnent une première indication de ce que peut être le développement expérimental en architecture⁷. Mais cette notion de développement expérimental n'est que rarement énoncée de manière explicite dans le monde de l'architecture qui considère la technique comme instrumentale et la relègue régulièrement au second plan derrière les enjeux d'usage, d'espace et de narration. Pourtant nombre d'architectes majeurs, de Mies Van Der Rohe aux suisses Herzog & De Meuron en passant Renzo Piano, en font un sujet primordial de leurs travaux en ne dissociant jamais l'idée architecturale des conditions de son existence physique. Plus encore, ils définissent le rôle de l'architecte comme un acteur de l'innovation constructive qui participe à sa manière, avec ses outils et ses méthodes, à l'évolution des techniques.

Toutefois les prises de positions affirmatives de l'agence Lipsky+Rollet n'explicitent réellement ni les caractéristiques de la R&D appliquée au métier d'architecte, ni ne développent les raisons impérieuses qui font de cette évolution du métier une « nécessité ». Nous tenterons, à partir de l'analyse de trois projets de leur agence (Le Campus de Troyes, la Maison de l'Inde et le projet « Habitat Positif ») de montrer que la notion de *recherche finalisée* défendue par l'agence Rollet+Lipsky recoupe largement le concept de *développement expérimental* tel que le définit l'OCDE. Nous essayerons d'en esquisser les principaux traits et d'en identifier les enjeux.

Le Campus Universitaire de Troyes

Les deux édifices de logements étudiants (*fig.1*), réalisés en 2009, forment avec les autres équipements universitaires un « ilot-campus » en centre-ville, ouvert sur

⁶ Berthier « Timber in the buildings of Jean Prouvé, an industrial matériel » *op. cit*

⁷ *Ibidem*

l'espace public. La typologie de ces deux édifices fait écho à l'architecture historique à pans de bois du centre de Troyes⁸. Toutefois le mode constructif est ici radicalement différent des édifices traditionnels puisqu'il s'agit de constructions préfabriquées tridimensionnelles en panneaux de bois contrecollé (CLT). Bien que ces panneaux croisés soient connus de longue date, notamment expérimentés par Jean Prouvé dans les années 1950⁹, ce mode constructif complet associant dalles en bois et murs en bois n'a été mis au point que depuis quelques années, notamment dans le Vorarlberg (mais pas avant 2000 à notre connaissance), en partie grâce aux progrès des assemblages vissés proposés par la société SFS, qui peuvent désormais reprendre des efforts satisfaisants et offrent une alternative aux dispositifs lourds d'assemblage par platines métalliques boulonnées. En effet la principale difficulté constructive que pose ces panneaux ne repose pas tant sur leurs caractéristiques mécaniques intrinsèques que sur leurs assemblages. Ces développements récents dans le domaine des fixations mécaniques ont permis de faire des panneaux de CLT un produit phare de la filière bois, concurrent direct du voile de béton, pour répondre aux marchés des équipements et immeubles de grande hauteur. Ce procédé innovant est employé ici pour la première fois en France de manière cohérente et manifeste, dans un projet constructif pensé à partir de ce matériau industriel et de ses conditions d'exécution. La décision d'utiliser ce mode constructif est un choix initial des architectes qui souhaitaient tester ce nouveau dispositif dans le cadre de leurs réflexions sur la préfabrication. Néanmoins, d'un point de vue strictement technique, un système constructif conventionnel de murs à ossature bois aurait été suffisant compte tenu de l'échelle modeste de l'édifice¹⁰. Mais construit en panneaux de CLT, Chaque logement étudiant devient un meuble préfabriqué en bois massif, complété intérieurement par des salles de bains en polyester moulé, elles aussi préfabriquées comme des produits industriels. Leur empilement sur trois niveaux définit le volume principal de l'édifice (*fig.2*) ; les circulations extérieures communes réalisées en

⁸ AMC n°191, Octobre 2009 pp78-83

⁹ Berthier S. *Timber in the buildings of Jean Prouvé, op. cit.*

¹⁰ Berthier Entretien avec Olivier Gaujard, Forum Bois-Construction, Nancy le 16 Avril 2015

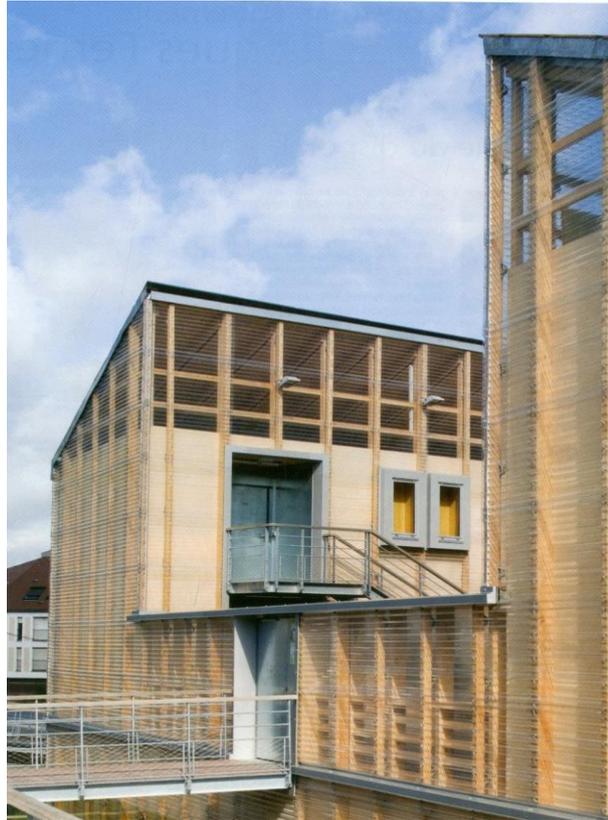


Fig.1 Vue extérieure des logements

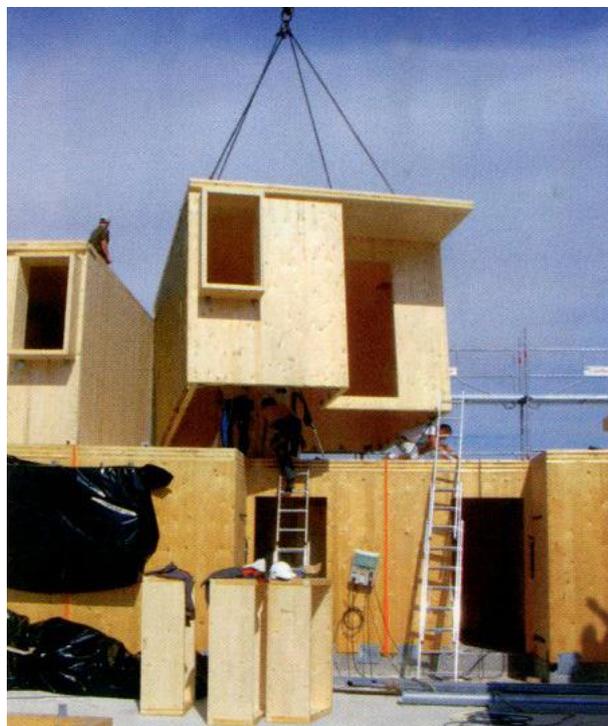


Fig. 2 Modules préfabriqués

serrurerie, viennent se greffer sur cet empilement de meubles en bois. En toiture, un comble perdu accueille les équipements techniques de ventilation. Pour des raisons d'optimisation des coûts de transport, parce que transporter des modules tridimensionnels revient à transporter beaucoup de vide, les meubles ont été livrés sur le chantier en panneaux bidimensionnels, puis assemblés au sol avec leurs équipements sanitaires avant d'être montés en immeuble¹¹.

Mais le parti structurel ne résout qu'un des aspects de la complexité des enjeux architecturaux. Les panneaux de CLT présentent des avantages indéniables de rapidité d'exécution et de qualité de montage, ainsi que d'ambiance architecturale, de texture et de sensorialité qui justifient leur emploi. Mais ils n'en demeurent pas moins sensibles aux intempéries et n'offrent que de faibles caractéristiques d'isolation thermique et acoustique. Aussi le travail des architectes consiste-t-il à s'adapter à ce matériau nouveau (et à l'adapter) pour garantir sa compatibilité aux normes de construction, de sécurité et de confort attendues, condition *sine qua non* pour le rendre acceptable. Cette adaptation suppose de remettre en question les habitudes acquises avec les modes constructifs éprouvés tels que la maçonnerie, le béton armé ou les murs à ossatures bois pour fabriquer une réponse originale et cohérente qui ne soit pas une suite d'expédients corrigeant les problèmes posés par un matériau innovant dans des conditions conventionnelles de construction qui lui seraient inadéquates. Les panneaux de CLT ne sont donc visibles que depuis l'intérieur des logements dont ils définissent les parements des murs et du plafond, créant ainsi une atmosphère chaleureuse (*fig.3*).



¹¹ Berthier Stéphane, Entretien avec Olivier Gaujard BE structure bois de l'opération, 17 Avril 2015, FCB Nancy.

Fig. 3 Vue intérieur d'un logement

Côté extérieur, ils sont revêtus d'un manteau isolant en laine de bois derrière un mince panneau de contreplaqué de bouleau qui restitue l'image du bois en façade. Ce panneau de contreplaqué est protégé des intempéries par une vêtue de polycarbonate ondulée fixée à des lisses bois verticales qui rythment la façade à la manière des pans de bois traditionnels de Troyes. Entre le contreplaqué et le polycarbonate, une large lame d'air assure la ventilation nécessaire de l'enveloppe pour protéger le bois sensible à l'humidité. Ce dispositif constructif inconnu de la réglementation a dû faire l'objet d'une appréciation technique expérimentale (ATEX) de la part du CSTB avant d'être accepté par le bureau de contrôle. Le matériau bois y est décliné sous trois formes transformées, la première structurelle avec les panneaux de CLT, la seconde isolante avec les panneaux de fibres de bois, la troisième esthétique avec les parements de bouleau, assurant chacune une fonction essentielle d'un dispositif architectural complet (fig.4).

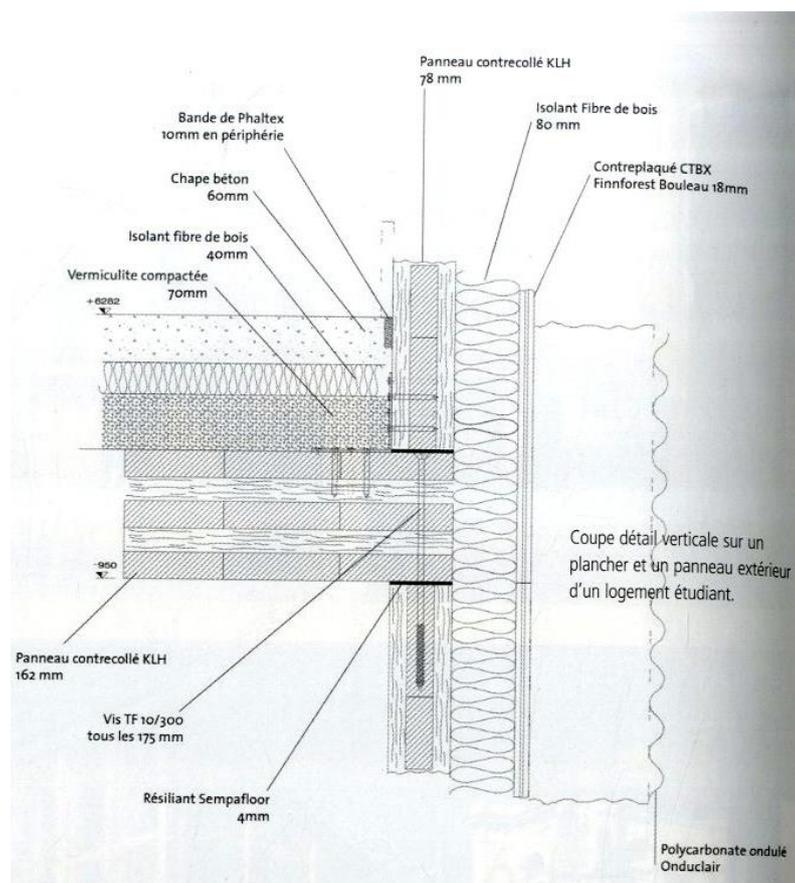


Fig. 4 Coupe de détail sur la façade

En termes acoustiques, les faibles qualités du bois sont compensées par l'interposition d'un isolant entre les modules de logement composant les cloisons séparatrices formant un sandwich « masse-ressort-masse » acoustiquement satisfaisant (*fig.5*). Les planchers bois sont quant à eux complétés d'un isolant rigide sur lequel est coulée une chape flottante afin d'absorber les bruits aériens et les bruits d'impacts. C'est donc bien l'ensemble complexe des exigences architecturales qui est réinterrogé et réadapté à partir de l'hypothèse-test « construire en panneaux de CLT ». De même l'engagement dans la préfabrication renouvelle aussi les méthodes de conception. Les panneaux de CLT, ici fabriqués par la société autrichienne KLH exigent une définition très précise puisque tout dimensionnement, façonnage, perçage et réservation est réalisé en usine. Ce n'est donc pas seulement pour l'architecte l'adaptation d'un travail conventionnel à un matériau nouveau mais l'assimilation d'un mode constructif complet préfabriqué qui influe sur les méthodes de conception elles-mêmes. Ce mode opératoire rapproche la construction des exigences de qualité industrielle mais n'autorisent plus d'expédients improvisés sur le chantier.

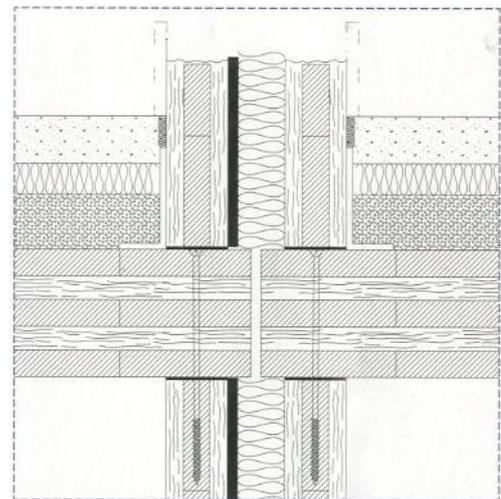


Fig.4 Coupe de détail sur les planchers et murs séparatifs entre logements

Les documents d'études doivent donc être poussés à un niveau dit « d'exécution » très tôt dans la conception, pour définir les positions relatives de toutes choses entre elles. Cet ordonnancement des tâches d'études est sans doute en conflit avec les répartitions habituelles des rôles entre maîtres d'œuvre, entreprises et industriels et

incitent à mettre en place un management de projet plus collaboratif et force les acteurs à renouveler leurs façons de travailler entre acteurs de la construction, à l'instar des organisations professionnelles européennes ou anglo-saxonnes. Mais ces organisations ne nécessitent pas seulement une « bonne volonté collective » toujours un peu incantatoire mais aussi un renouvellement du partage des responsabilités professionnelles, et en amont, une adaptation des contenus des formations des acteurs.

La maison de l'Inde

La Maison de l'Inde réalisée en 2013 dans la Cité Universitaire Internationale de Paris est elle aussi une première en France. Il s'agit d'un immeuble d'habitation collectif de 7 étages réalisé en structure bois conçu, comme le projet de Troyes, en collaboration avec Olivier Gaujard, ingénieur spécialiste des structures en bois (fig.6).



Fig.6 Maison de l'Inde, vue extérieure

Si des immeubles presque similaires ont pu voir le jour au préalable, comme à Berlin avec un immeuble de 7 niveaux livré en 2008 par Kaden & Klingbeil¹², réalisé en structure bois poteaux-poutres ou à Londres la même année avec un immeuble de 9 niveaux, livré par Waugh & Thistelton¹³, entièrement réalisé en panneaux de CLT,

¹² Séquence bois n°84, Mars 2011 p.21

¹³ AMC n°191, Octobre 2009 pp 43-46

ce n'est qu'en 2013 qu'un tel dispositif constructif a pu voir le jour en France grâce à une évolution de la réglementation incendie favorable à la construction bois¹⁴, comme elle le fut préalablement en Angleterre et en Allemagne. Paradoxalement la Maison de l'Inde ne montre en aucune manière son mode constructif en bois. Il est entièrement revêtu ou « capoté » de parements métalliques, au motif avancé par les architectes¹⁵ que le maître d'ouvrage ne souhaitait pas une architecture de bois qui n'appartient pas au registre culturel de l'architecture indienne.

L'analyse de la construction montre trois corps de bâtiment en ossature bois, posés sur un rez-de-chaussée en béton et assemblés autour d'un noyau de service et circulations verticales en béton, assurant le contreventement de l'ensemble. Les trois corps de bâtiment constitué de 24 chambres chacun expriment en façade la nature sérielle du programme par un motif alvéolaire. Ils sont constitués d'une ossature poteau-poutre (*fig.7*), assemblée par des connecteurs métalliques imposants compte tenu de l'échelle et des efforts à transmettre. Les planchers sont réalisés en panneaux de bois lamellé collé de 100mm d'épaisseur (*fig.8*), qui à la différence des panneaux contrecollés utilisés à Troyes, présentent l'ensemble de leurs fibres orientés dans la direction de la portée. Les façades pleines sont constituées d'un remplissage de la grille avec une ossature bois légère qui recevra le bardage tandis que les alvéoles des chambres sont refermées dans la largeur des loggias par des ensembles menuisés.

Les architectes présentent le choix du matériau bois, décidé dès le concours, comme une solution pragmatique pour répondre à l'impératif de construire ce bâtiment en 13 mois seulement. Dès lors la logique de préfabrication bois expérimentée quelques années auparavant à Troyes les a conduit à imaginer un mecano de charpente fabriqué en atelier. Néanmoins, à la différence du bâtiment de Troyes, réalisé dans le cadre d'un marché public et qui a permis aux architectes de définir le mode constructif dans le dossier d'appel d'offres, la Maison de l'Inde fut développée dans le cadre d'un marché privé, qui a intégré les entreprises dans la réflexion sur le mode constructif et son efficacité économique. La volonté initiale des architectes de construire l'immeuble en panneaux de CLT comme à Troyes s'est heurtée à la question des conditions de mise en œuvre de constructions modulaires préfabriquées.

¹⁴ Instruction Technique 249, modifiée en 2010

¹⁵ Séquence Bois n°98, Janv-Fév. 2014, « Entretien avec Florence Lipsky », p.21

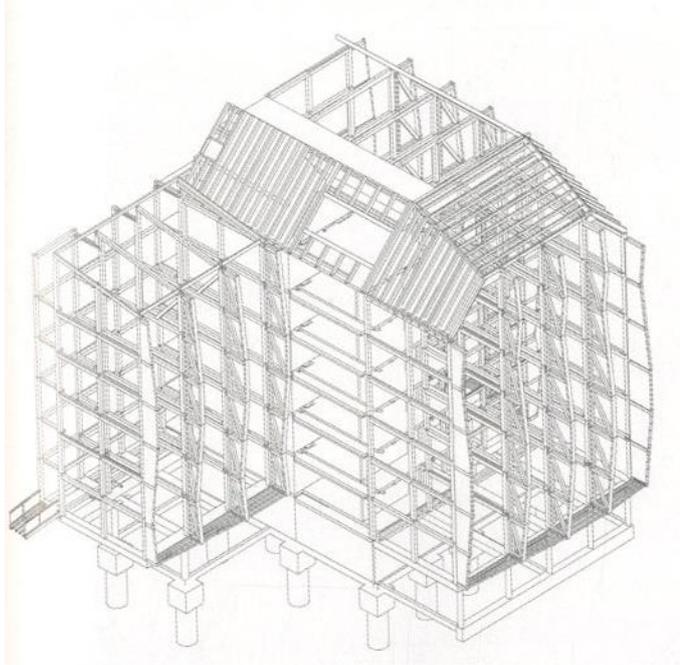


Fig. 7 axométrie de l'ossature bois



Fig.8 Panneaux de plancher en BLC

En effet, le montage des modules à partir des panneaux bidimensionnels livrés sur le chantier s'est avéré difficile en raison d'une emprise de chantier très réduite qui ne permettait pas de montage forain au sol. Par ailleurs, l'autre solution consistant à livrer des modules tridimensionnels quasi-terminés sur le chantier s'est confrontée à la difficulté de garantir une livraison en flux tendu, sans stockage tampon, dans Paris *intra-muros* et sa circulation congestionnée. Enfin, le troisième argument qui a conduit les architectes à développer un système traditionnel poteau-poutre est celui des structures de production existantes : en effet, les entreprises consultées étaient toutes équipées pour produire ce type de mode constructif, associé à des panneaux d'ossatures légères, mais aucune ne disposait de banc de production de CLT. Aussi construire avec ce produit les aurait amenés à transférer une partie importante de la valeur de leur marché vers des industriels fournisseurs. On comprend donc que le choix du mode constructif s'est opéré à la rencontre entre la volonté du concepteur de développer une construction préfabriquée et les conditions de production permettant de la réaliser dans des coûts optimisés¹⁶. De même, les dalles bois des planchers sont réalisées en lamellé-collé plutôt qu'en CLT comme imaginé initialement simplement parce que l'entreprise Rubner adjudicatrice du marché disposait d'une unité de production de lamellé-collé et non de CLT. Néanmoins, cette « conception négociée » conduit bien à la réalisation d'un édifice original qui se monte comme un jeu de construction explicite, à partir d'une grille poteau-poutre sur laquelle viennent s'assembler les panneaux de plancher (*fig.9*). Les façades pleines, associant les éléments de la grille principale à des remplissages à ossature bois légère sont livrées et montées d'un seul tenant par étage. Le bardage extérieur comme les menuiseries restent dissociées de ce procédé de préfabrication et sont installés dans un second temps. La vidéo du chantier en *stop-motion* disponible sur le Net illustre bien ce jeu de construction¹⁷. Elle doit être rapprochée d'une vidéo similaire¹⁸ réalisée à la même période pour le chantier de l'immeuble de bureaux Life Cycle Tower One (LCT One) conçu par Herman Kaufmann à Dornbirn dans le Vorarlberg. Expérience autrichienne oblige, ce dernier édifice d'une hauteur équivalente, réalisé

¹⁶ Berthier, entretien avec O. Gaujard *op cit*

¹⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=mmBoZdOPFiw>

¹⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=kebdOnWIXS8>

en 2013 sur le même principe d'une ossature bois associée à un noyau de service en béton va encore plus loin dans la complexité de la préfabrication puisqu'il assemble des panneaux de plancher mixtes bois-béton et des éléments de façades porteuses à ossature légère, livrés avec les menuiseries intégrées. Mais en Autriche aussi, le bardage métallique de finition n'est monté qu'après coup et nécessite encore un échafaudage sur la totalité du chantier.

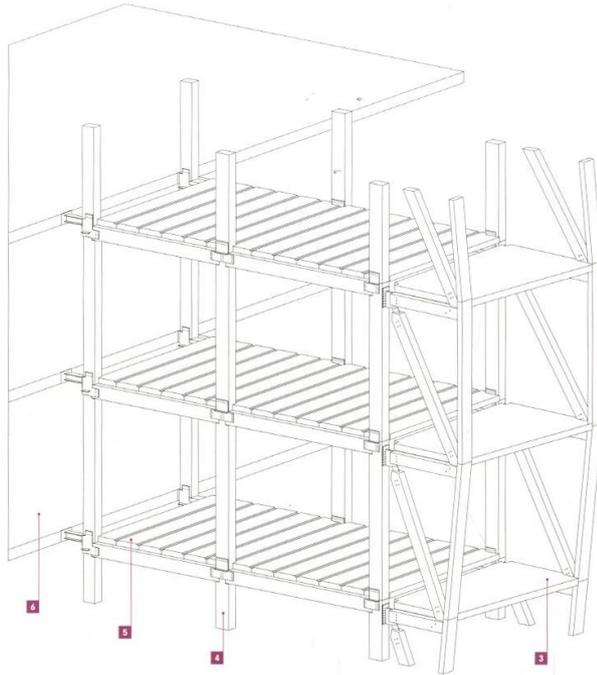


Fig. 9 Axométrie de la structure poteau-poutre et panneaux de planchers

A la différence des deux autres formes de recherche (fondamentale et appliquée) qui demeurent exclusives d'un seul sujet, la démarche de recherche expérimentale développée par l'agence Lipsky+Rollet impose de composer avec le mode constructif bois dans toute la complexité d'un édifice (programme, site, construction, normes et budget). Ici les transferts d'efforts de contreventement entre les grilles bois et le noyau en béton, les réglages de tolérances, les conditions de fixation bois-béton sont spécifiques au projet. Plus encore, l'existence d'une partie de l'édifice construite en béton armé offre un noyau de contreventement qui permet de construire une grille poteau-poutre légère parce que libérée d'une grande partie de ses éléments de contreventement. De même l'adaptation du mode constructif à la morphologie de la

parcelle et aux impératifs de distribution du plan, ainsi qu'aux différentes exigences de confort et de performances nécessite un travail de mise au point et d'adaptation des différentes parties ou exigences dans un ensemble cohérent. La question des performances thermiques est résolue de manière désormais conventionnelle par un manteau de 20cm d'isolant dans l'épaisseur de la grille structurelle et associe les vertus isolantes du matériau bois à l'inertie thermique du noyau en béton pour un meilleur déphasage des températures. En revanche la question acoustique développée avec le bureau d'études acoustique Rouch présente une prise de risque intéressante à souligner. Les performances acoustiques des planchers entre les étages reposent sur le principe de multiplication des parois d'épaisseurs et de densités différentes. Ils sont exempts de chape ciment, mais associent (en partant du haut vers le bas), un parquet flottant sur isolant résilient, la dalle bois structurelle de 100mm d'épaisseur, un vide d'air et un plafond constitué d'un isolant et de 26mm de plaques de plâtre (qui assurent aussi la protection au feu) sur suspentes anti-vibratiles, dédoublant ainsi le principe « masse-ressort-masse » (fig.10). Ce dispositif, encore rare dans la construction bois collective élimine le recours aux chapes coulées et améliore d'autant le temps de chantier « en filière sèche ».

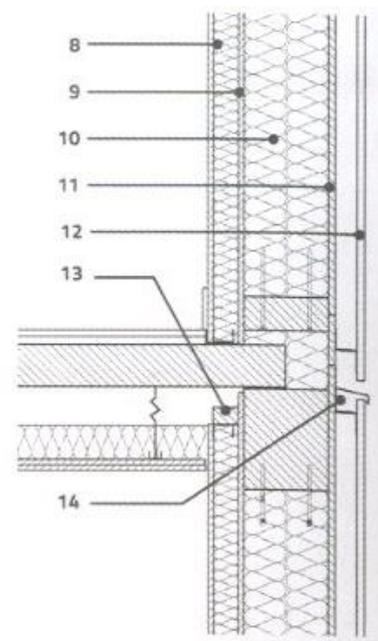


Fig. 10 Coupe sur façade et plancher

Cette analyse montre aussi que quelles que soient les avancées de la recherche en structure bois, en thermique du bâtiment, en acoustique et ainsi de suite dans chaque domaine compartimenté de la connaissance scientifique, le travail de l'architecte ne saurait être un simple lieu d'application de techniques élaborées en amont mais constitue un travail d'adaptation et de recherche de compatibilité complexe entre toutes choses, qui dépasse et englobe la somme cumulée des connaissances cloisonnées, confirmant ainsi l'hypothèse formulée par Madeleine Alkrich, Michel Callon et Bruno Latour selon laquelle *adopter une innovation, c'est l'adapter*¹⁹ à son contexte, au sens le plus large, incluant les conditions de production et l'économie de la construction. L'enjeu du travail d'expérimentation *grandeur nature* est de permettre le passage de l'innovation dans le domaine de la construction courante. Elle montre aussi que le principal frein à l'innovation dans le domaine de la construction de grande hauteur en bois fut réglementaire plutôt que technique.

Le projet habitat positif

Pour aller plus loin dans cette réflexion sur la notion de développement expérimental en architecture et dépasser l'observation stricte des modes constructifs en bois, le projet non réalisé « Habitat Positif » nous permet de montrer comment l'agence Lipsky+Rollet pense ses dispositifs constructifs innovants comme des dispositifs ouverts assurant les connexions pertinentes avec d'autres ensembles physiques ou exigences qui leurs sont à priori extérieurs, tant que l'on raisonne la technique par 'corps d'état' cloisonnés et non comme un ensemble organique.

Cet appel à idées international lancé dans le cadre de l'exposition « habiter écologique » à la cité de l'Architecture en 2009 réunissait 8 équipes d'architectes²⁰ qui devaient réfléchir à un mode d'habitat flexible en milieu urbain dense qui offre une alternative désirable à la maison individuelle plébiscitée par la population mais dévoreuse de territoire et de réseaux. En plus d'être écologiquement vertueux, et énergétiquement frugaux, ces projets devaient initier de nouvelles relations de voisinage et de solidarité entre les habitants. Le site commun à toutes les équipes était

¹⁹ Alkrich, Callon, Latour, *op. cit.*

²⁰ Ces 8 équipes sont : 1-Borchet-Lajus-Pueyo, 2-Fabienne Bulle, 3-Mario Cuccinella, 4-Herault-Arnod, 5-Olavi Koponen, 6-Lipsky+Rollet, 7-Philippe Madec, 8-Wolfgang Ritsch

une « dent creuse » d'une quarantaine de mètres de long par une vingtaine de large, à Boulogne, entre une avenue bruyante et un parc agréable. L'agence Lipsky+Rollet propose une conception de logements évolutifs de 16 appartements à 9 «maisons de villes» modulables sur une grille structurelle en bois poteau-poutre complétée de planchers bois (fig.10). L'édifice est clos par une enveloppe dite « captante » qui transforme en énergie propre la totalité du rayonnement solaire qu'elle reçoit (fig.11). De la sorte les architectes annoncent que l'édifice est positif en énergie sur une durée de trente ans (énergie grise de fabrication et énergie de consommation).



Fig. 10 Maquette, côté parc



Fig. 11 Maquette, côté avenue

Cette grille en bois qui occupe toute la profondeur de la parcelle accueille côté rue les parties closes et couvertes des logements et côté jardin leur terrasses et les circulations verticales extérieures. Elle est contreventée par trois noyaux pleins, en maçonnerie de gabions réalisés à partir des pierres concassées issues des démolitions des anciennes constructions présentent sur le site. Ces noyaux fixes accueillent les équipements techniques, les cuisines et les salles de bains, toutes préfabriquées. Autour de ces trois « points durs » (figs 12,13), la disposition en plan peut se reconfigurer à loisir. La grande toiture protège l'ensemble de l'édifice et met le bois des terrasses collectives extérieures à l'abri des intempéries.

Le choix du matériau bois est motivé par deux arguments : le premier est celui de la préfabrication aisée de ce mode constructif, le second, d'ordre écologique, revendique un matériau au bilan carbone nul, favorable au développement des circuits courts d'une économie locale qui exploite une ressource très répandue en France. Ainsi, les architectes projettent de réaliser cette structure à partir de bois massif de douglas, non transformé, afin de diminuer la production d'énergie grise et

de garantir un habitat sain qui ne diffuse pas de composés organiques volatiles (COV) émanant des colles et autres traitements. L'expression esthétique de cette architecture écologique en bois passe aussi par la disparition des gros connecteurs métalliques boulonnés auquel la construction bois nous avait habitués depuis une quarantaine d'années. Là encore, les discrètes innovations de la société SFS permettent des assemblages à mi-bois simplement vissés sur une face seulement permettent de donner à lire une charpente dépouillée, comme entièrement en bois. Ce détail innovant qui permet l'effacement des liaisons métalliques est suffisamment important aux yeux des architectes pour qu'il figure dans leur dossier de concours.

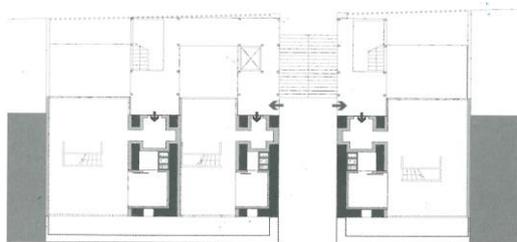


Fig. 12 Plan du niveau 1



Fig. 13 Coupe longitudinale

A partir d'une conception structurelle en grille répondant à la flexibilité exigée par le programme, c'est plus le 'système de valeurs' du développement durable que la rationalité technique qui conduit à préférer le bois à l'acier ou au béton. Toutefois ce dispositif constructif en bois ne doit sa légèreté qu'à son association aux trois noyaux centraux maçonnés qui complètent sa stabilité. De même, ces noyaux apportent l'inertie thermique que le bois n'offre pas. En revanche la faible conductivité thermique du bois permet de ménager de nombreuses extensions extérieures qui ne génèrent que peu de déperditions linéiques comparativement à ses concurrents. Ainsi loin d'expérimenter les possibilités de construction d'une filière exclusive, les architectes le conçoivent bien comme un dispositif ouvert, utilisé à bon escient pour opérer des synergies programmatiques, structurelles et thermiques au service d'une performance globale. C'est précisément en cela que l'architecture en tant que milieu d'expérimentation permet de tester, valider et enrichir en situation complexe des

dispositifs innovants d'abord pensés dans l'isolement de leur secteur, et donc peu compatibles avec leur environnement technique et architectural en situation de projet. D'une manière générale, le travail expérimental de l'agence Lipsky+Rollet poursuit deux objectifs. Le premier, sans doute commun à tous leurs projets est de transférer les outils et méthodes de l'industrie vers le secteur du bâtiment, dans la lignée d'un Jean Prouvé, pour en améliorer la qualité et s'inscrit ainsi dans la poursuite de la modernité industrielle. Le second cherche à apporter une réponse satisfaisante aux exigences environnementales en imaginant des édifices à faible empreinte écologique, notamment par l'élaboration de dispositifs constructifs en bois, en tant que partie intégrée, mais non exclusive, de réponses globales sous forme de projet. Leur démarche relève d'une forme de recherche dérogeant aux règles de la rigueur scientifique qui fondent la rationalité technique. La pratique de l'architecture est *réflexive* comme l'a montré Donald Schön²¹ ; elle consiste en une conversation avec les « matériaux » de la situation qui exige une reformulation constante des acquis et des savoirs pour les adapter aux cas singuliers de chaque projet. Selon l'auteur de *The reflective practionner*, le principe de la rationalité technique, dominante depuis le XXème siècle, est d'organiser les actions à partir des connaissances élaborées par la recherche fondamentale, puis leurs applications industrielles par les sciences appliquées (l'ingénierie) vers les métiers qui n'auraient plus qu'à exécuter des procédures établies scientifiquement en amont, dans une logique descendante. Cependant il montre que l'échec de ce mode de pensée tient principalement au fait que la rationalité scientifique n'est cohérente que dans ses cloisonnements disciplinaires et ne parvient pas à coordonner des situations dynamiques de problèmes imbriqués qui interagissent entre eux. A la différence d'un protocole expérimental construit en laboratoire, le monde des praticiens se définit par son incertitude, son instabilité, sa singularité et ses conflits d'éthique. La question initiale à laquelle est confronté tout praticien devant un problème complexe n'est pas de résoudre le problème à partir de la boîte à outils des sciences appliquées (*problem solving*) mais de poser le problème, de le formuler (*problem setting*). Ce travail de formulation du problème passe tout d'abord par ce qu'il nomme des métaphores

²¹ Schön, *op. cit.*

génératrices qui conduisent les architectes à « voir comme » et « faire comme » (*seeing as, doing as*). Ici voir le bâtiment-outil, le bâtiment-meuble, le bâtiment-meccano, le bâtiment-organisme ou plus généralement fabriquer des édifices comme le monde de l'industrie fabrique ses produits etc.

Le travail d'expérimentation cherche alors à confirmer, par itérations successives comme autant de « *what if ?* » ou « que se passe-t-il si ? », la validité de cette métaphore génératrice comme formulation adéquate du problème. Mais à la différence de l'expérimentation scientifique qui vise à valider l'hypothèse par l'obtention de faits reproductibles et incontestables, l'architecte cherche à valider son hypothèse par sa capacité à améliorer la situation, à la rendre meilleure et cesse l'expérimentation lorsqu'il considère qu'il pense avoir atteint son but.

Mais c'est à partir de ces métaphores génératives que les architectes parviennent ici à assembler et adapter des systèmes et des exigences hétérogènes pour leur faire jouer un rôle opératoire. En effet il semble entendu aujourd'hui qu'aucun mode constructif monofilière n'est exempt de lacunes ou de défauts au regard des exigences environnementales, la question étant plutôt d'utiliser le bon matériau au bon endroit en fonction de ses propriétés physiques (inertie, conductivité, hygroscopie, innocuité etc.) et mécaniques. A défaut de mettre en place ces synergies passives entre les matériaux, le risque est de devoir recourir encore plus largement aux équipements techniques (chauffage, climatisation, VMC etc.) comme palliatifs à des conceptions inadaptées à leur milieu.

Ce que nous nommons en titre *recherche du troisième type* est une recherche élaborée à partir du projet architectural comme outil de connaissance. Ces connaissances portent sur les compatibilités possibles et les synergies positives entre des systèmes et des modes constructifs d'origines diverses qui n'ont jamais été pensés ensemble dans les domaines des recherches fondamentale et appliquée. D'une certaine manière ces connaissances recouvrent ce que nous connaissons actuellement sous les noms barbares d'« ATEx » ou de « titre V » comme les nomme le CSTB, seul habilité à les élaborer, avec une frilosité dont les cinq années de retard par rapport à l'Allemagne ou à la Suisse en matière d'évolution de la réglementation incendie dans le domaine

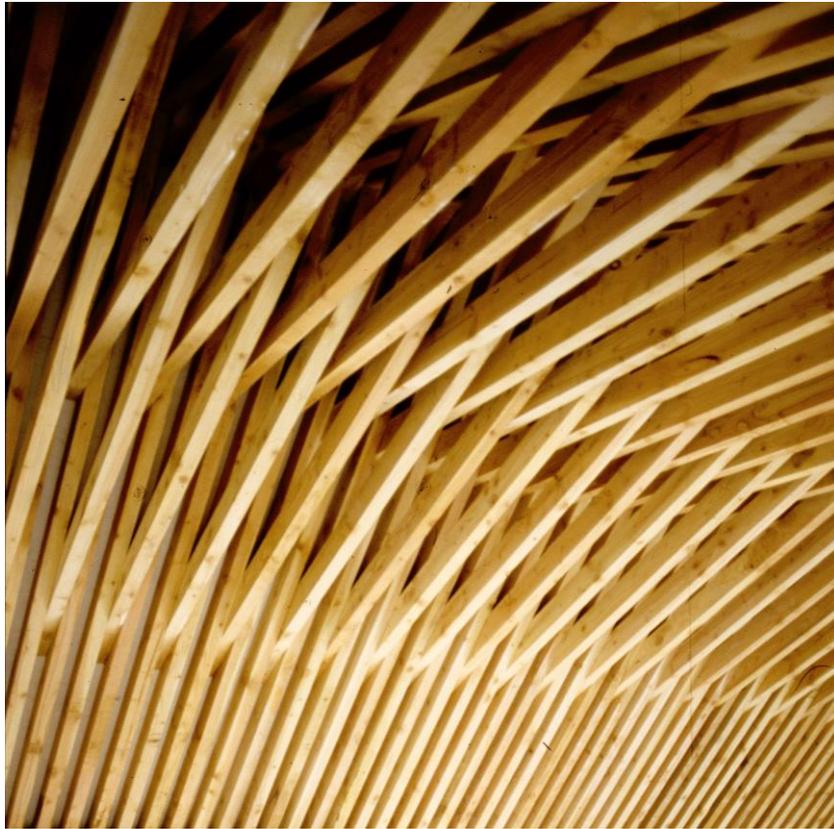
de la construction bois n'est qu'un exemple parmi tant d'autres²² et retarde l'innovation. Notons aussi que les ATEx n'évaluent que les aspects de conformité et de sécurité des dispositifs testés, dans une logique assurantielle. Pourtant le travail de l'agence Lipsky+Rollet nous montre tout l'intérêt des édifices prototypes, démonstrateurs ou pilotes pour l'amélioration de la qualité architecturale. Cet investissement dans la R&D est une alternative pertinente au pessimisme qui anime Bernard Marrey dans son ouvrage *Du maître d'œuvre au disagneur*²³, dans lequel il dresse un parallèle édifiant entre d'une part le lent renoncement de l'architecte à sa culture technique, de plus en plus déléguée à un aréopage d'« experts » dont le modèle de pensée est encore celui de la rationalité technique et d'autre part sa perte d'influence qui se traduit par une réduction continue de ses missions, de plus en plus souvent limitées au rôle d'arbitre des élégances. Pourtant cette capacité ou ce savoir-faire dans l'expérimentation d'innovations variées et développées dans l'isolement de leur secteur industriel apparaît bien comme une nécessité pour faire face à un double risque. Le premier est celui qui pèse sur les innovations techniques si elles ne parviennent pas à être intégrées dans les systèmes architecturaux dominants faute de vision globale de la conception. Le second est celui d'une production architecturale s'orientant vers une logique d'édifices « monofilière » mal adaptés aux exigences environnementales contemporaines et affirmant un peu plus l'emprise de la rationalité technique sur nos cadres de vies, mais peut-être est-ce déjà le cas en France avec la filière du béton armé. L'exemple du travail de l'agence Lipsky+Rollet nous montre que l'investissement des architectes dans la R&D est autant un enjeu de stratégie professionnelle pour un métier en crise qu'un gage de qualité architecturale à l'heure du développement durable, mais nécessite une refonte de la définition du rôle de l'architecte, de sa formation et de ses responsabilités.

--

Toutes illustrations issues des archives de l'agence Lipsky et Rollet, avec leur aimable autorisation.

²² Le Deaut Jean-Yves et Deneux Marcel, *Les freins réglementaires à l'innovation en matière d'économie d'énergie : le besoin d'une thérapie de choc*. Rapport parlementaire de l'OPECST du 9 juillet 2014 <http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/rap-off/i21113.pdf>

²³ Marray, Bernard *Du maître d'œuvre au disagneur*, Ed. du Linteau, Paris 2014



Les charpentes de Jacques Anglade
Une contre-culture constructive

Résumé

Les charpentes de Jacques Anglade sont l'expression d'une contre-culture constructive qui remet en question les fondements industriels sur lesquels s'était construite l'ingénierie du bois dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle. Son parcours atypique l'a conduit d'une formation initiale d'ingénieur hydraulicien à un CAP de charpentier avant de se former à l'architecture bois auprès de Roland Schweitzer et Julius Natterer. Reconnaisant sa dette envers eux, il formule une critique des matériaux bois transformés et traités ainsi que des méthodes productivistes qui aliènent le métier de charpentier.

Anglade construit une œuvre qui vise à réduire la dissonance cognitive existant aujourd'hui entre la revendication architecturale d'un matériau naturel et l'artificialité industrielle de ses conditions de production (bois importés, transformés, collés, traités). Cependant son travail échappe à l'écueil du repli identitaire vers des savoir-faire ancestraux et des formes architecturales vernaculaires. Ses explorations morphologiques empruntent autant au registre de l'art de l'ingénieur qu'à celui du charpentier avec une grande créativité. Nombre de ses charpentes multiplient à l'envi les petites sections, offrant une esthétique originale, à la fois légère et dense, qui évoque les motifs de la vannerie ou du tressage et effacent les hiérarchies constructives habituelles.

Mais ces charpentes inventives ne sont possibles que parce qu'il revisite l'*art du trait* avec les outils informatiques, les assemblages traditionnels avec les possibilités de fixations les plus innovantes et le matériau brut sous forme de structures spatiales. Sa démarche constitue avant tout un *empowerment* des savoir-faire du charpentier par les sciences de l'ingénieur, libérées de toute fascination naïve pour le progrès technologique et son culte de la performance. Son travail ne consiste pas à proposer un *low-tech* artisanal comme alternative à un *high-tech* industriel ; il élabore une pensée originale sur la technique, en cohérence avec les préoccupations environnementales et sociales de l'époque.

L'œuvre de Jacques Anglade fait figure d'exception dans le paysage de l'architecture en France. Ses charpentes élégantes et légères, constructivement inventives, relèvent d'une approche qui vise à réduire le paradoxe entre la revendication architecturale d'un matériau naturel et l'artificialité de ses conditions de production actuelles.

Sa formation initiale est celle d'un ingénieur en mécanique des fluides, qui en 1978 cessa d'exercer dans des structures professionnelles dont il ne partage plus les valeurs productivistes. Il décida de passer un CAP de charpentier, au plus proche des savoir-faire manuels et de la matière première et travailla ainsi comme artisan pendant une dizaine d'années en Haute-Garonne. Il suivit ensuite en 1987 l'enseignement « Architecture de bois » délivré par Roland Schweitzer à l'école d'architecture de Paris-Tolbiac. En 1991 il rejoignit la formation postgrade de l'IBOIS à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, sous la direction Julius Natterer, Roland Schweitzer et Wolfgang Winter. Reconnaisant sa dette envers Schweitzer qui lui transmis sa passion pour l'architecture traditionnelle japonaise, il retient de Natterer et Winter leur attachement à promouvoir et à renouveler les structures en bois massif et les savoir-faire de charpenterie qui y sont associés, contre les bois transformés issus de processus industriels.

Son travail fait l'objet depuis 1995 d'un intérêt soutenu, dont les publications régulières¹ valorisent surtout ses charpentes à l'aspect dense et texturé obtenues par démultiplication de petites sections de bois massif. Plus largement, ses travaux

¹ 33 publications échelonnées sur 20 ans cf <http://www.anglade-structures-bois.fr>

mettent en évidence une ingénierie du bois réconciliée avec l'art du charpentier : des fermes traditionnelles aux structures spatiales en réseaux de poutres croisées élaborées au 20^e siècle, Anglade explore tout le répertoire des types qui figurent dans les manuels de structure. Mais ces recherches sont toujours l'occasion de faire varier ces types au point de les rendre parfois difficilement reconnaissables, comme le ferait un virtuose pour lequel les classiques n'ont plus de secrets.

Critique politique, critique symbolique

Ce travail original s'accompagne d'un discours très critique à l'égard du modèle de développement de la filière bois. Fondé au XX^e siècle sur les matériaux dérivés du bois, transformés et traités, celui-ci valorise principalement les lamellé-collés, panneaux contrecollés et autres bois reconstitués et traités chimiquement, en phase avec l'industrialisation de la production mais en contradiction avec les arguments écologiques du matériau². La critique d'Anglade porte d'abord sur l'aliénation des hommes par ces processus industriels qui les réduisent au rôle d'exécutants sous-qualifiés. Il cherche plutôt à revaloriser le métier de charpentier et à rendre leur place dans la construction à des savoir-faire humains de haute qualité, dans des conditions de production plus « conviviales » au sens où l'entendait Ivan Illich, c'est-à-dire dans lesquelles l'homme a le contrôle et la responsabilité de son outil³. Sa démarche s'apparente ainsi à celles de Gilles Perraudin, qui réinvente l'architecture en pierre massive à partir de blocs monolithiques en pierre du Gard ; de Martin Rauch, qui en Autriche renoue avec la construction en terre crue en alternative à la filière industrialisée du béton armé, ou encore de Jean-Christophe Grosso, qui intègre les facteurs locaux dans la conception de ses ponts métalliques pour des pays sinistrés et peut ainsi les réaliser à moindre coût⁴.

Selon Jacques Anglade, l'ingénierie du bois du 20^e siècle s'est construite par transfert de connaissances depuis l'ingénierie de l'acier, dont l'objectif prioritaire était l'économie de matière. Mais si l'acier coûte très cher à produire, le bois beaucoup moins, et l'écart se vérifie d'autant que les sections employées sont plus courantes.

² Berthier Stéphane « De l'art du charpentier à l'art de l'ingénieur », *Séquence Bois* n°104, Février 2015.

³ Ivan Illich, *La convivialité*, Paris, 1973.

⁴ Voir les articles de Valéry Didelon, « Retour à la pierre », *criticat* n°6, septembre 2010 ; de Pierre Chabard, P. « Les structures d'un monde meilleur : construire un pont en Haïti », *criticat* n°5, Mars 2010 ; de Ariane Wilson, « Objectif Terre », *criticat* n°13, printemps 2014.

En revanche, ces constructions légères consomment du temps de main d'œuvre onéreuse car elles supposent une longue préparation des pièces, des assemblages géométriques complexes et des dispositifs de mise en œuvre importants⁵. Notons ici que Robert Le Ricolais⁶ ingénieur spécialiste des structures spatiales en acier était parvenu à la même conclusion sur le rapport défavorable entre économie de matière et coût de la main d'œuvre, au milieu sa carrière lorsqu'il cessa de développer les structures triangulées pour se consacrer aux structures tendues⁷.

Aussi, plutôt que d'emprunter aux méthodes sophistiquées de l'industrie, Jacques Anglade préfère-t-il utiliser une matière première moins transformée, peut-être moins performante *a priori*, mais inscrite dans une chaîne de production plus directe, faisant appel au savoir-faire du charpentier. Son travail ouvre donc une voie alternative à celle dans laquelle s'est majoritairement engagée l'ingénierie du bois en France via le développement des bois lamellé-collé depuis les années 1960.

Sa seconde critique porte sur le caractère désincarné des matériaux transformés par l'industrie. Dans cette logique abstraite, la matière première n'est plus comprise que par ses propriétés physico-mécaniques. Anglade revendique au contraire une approche au plus près de la nature même, à la recherche d'un lien charnel, tactile et sensoriel avec elle. La poutre doit porter contenir et transmettre la mémoire de l'arbre et de sa forêt. Cette critique se rapproche de celle que Philippe Descola⁸ formule à l'égard de la pensée occidentale naturaliste, qui objective toutes choses non-humaines en termes scientifiques et escamote leurs dimensions spirituelles ou symboliques, par opposition aux ontologies ou conceptions du Monde non-occidentales telles que l'animisme, le totémisme ou l'analogisme. Anglade cite aussi volontiers comme source d'inspiration l'œuvre de l'artiste Giuseppe Penone⁹ lorsque celui-ci s'attache à retrouver le jeune arbre au cœur du poteau télégraphique produit par l'industrie.

Cette double critique se recompose dans un argumentaire cohérent avec les enjeux du « développement durable ». La mise en place d'une filière bois responsable est favorable aux circuits courts, à la valorisation d'une économie à l'échelle des

⁶ Ingénieur français, professeur à l'Université de Pennsylvanie (USA) de 1954 à 1975.

⁷ Mimram Marc *Structures et Formes, étude appliquée à l'œuvre de Robert Le Ricolais*, Paris 1983, p.64

⁸ Descola, Philippe, *Par delà Nature et Culture*, Paris, 2005.

⁹ Coll., *Giuseppe Penone*, catalogue de le l'exposition du Centre Pompidou, Paris, 2004.

territoires et créatrice d'emplois à forte valeur ajoutée. Par ailleurs l'utilisation préférentielle des bois massifs choisis dans des essences de qualité évite l'usage abusif de colles difficilement recyclables et de traitements chimiques dont les incidences sur la santé sont sujettes à caution. S'ajoute à cela un l'argument écologique de poids : le bois est un moyen de stockage du carbone en surplus dans l'atmosphère, pour autant que le rythme d'exploitation de la ressource ne dépasse pas celui de son renouvellement, ce qui est encore le cas en France aujourd'hui, puisque nous ne consommons qu'environ 60% de l'accroissement annuel de la forêt.

Ingénierie et matière brute

L'analyse d'Anglade pourrait conduire à un repli sur des traditions constructives passéistes, et limiter le champ d'action de l'architecture de bois à des constructions d'échelles modestes et à des expressions esthétiques vernaculaires. Car c'est précisément le développement des connaissances physico-mécaniques du bois qui a rendu possible le transfert des sciences de l'ingénieur à la filière bois. C'est l'invention des produits transformés qui a permis à celle-ci de sortir de ses habitudes artisanales et de conquérir la grande échelle. De même, ce sont les conditions de production industrielles qui ont régularisé les modes constructifs bois et favorisé leur distribution dans des conditions économiques concurrentielles. Pour surmonter cette difficulté, Jacques Anglade expérimente des dispositifs constructifs créatifs, à faible empreinte écologique, qui ne se privent ni des acquis de l'ingénierie du 20^e siècle ni des dernières avancées technologiques en matière de conception informatique et d'assemblages, mais en font un usage raisonné, dégagé de toute fascination pour le progrès technologique. Son travail ne consiste pas à proposer un *low-tech* artisanal comme alternative à un *high-tech* industriel ; il tente d'élaborer une pensée originale sur la technique, en cohérence avec les préoccupations environnementales et sociales de l'époque. Cette originalité tient au caractère expérimental de ses travaux, servis par une triple culture scientifique, artisanale et architecturale, et qui reconnectent ces trois domaines, séparés par l'organisation occidentale des connaissances.

Dans cet esprit, la charpente du gymnase de Meylan, réalisée en 2000 avec les architectes grenoblois de l'agence R2K, est une structure spatiale de 30 mètres de portée composée d'un réseau losangé de poutres sous-tendues. Sa membrure

supérieure est constituée de troncs bruts, juste écorcés, tandis que la membrure inférieure est faite de tirants métalliques (fig.1, planches 1, 2). Les poteaux qui la soutiennent sur sa périphérie sont eux aussi en troncs bruts, de même section, assurant la continuité matérielle et visuelle de la charpente des différents éléments en bois, jusqu'au sol.



Fig. 1 Charpente du gymnase de Meylan

Les troncs de la charpente en réseau, d'une longueur unitaire de 8 mètres, sont reliés au droit de leur intersection par une pièce mécano-soudée assurant l'assemblage à mi-bois de quatre troncs et formant la bielle de compression de la poutre sous-tendue. Mais au-delà de la légèreté visuelle – et de l'ironie – de cette association entre des éléments de bois archaïques et des éléments d'acier à l'allure *high-tech*, Anglade nous rappelle que la contrainte à la rupture du bois en tronc est de 700 DaN/cm², celle du bois scié de 500DaN/cm², et celle du bois lamellé collé de 400DaN/cm², seulement. Le choix de ne pas transformer la matière s'avère donc pertinent en termes de résistance mécanique mais aussi en termes écologiques, du fait de l'énergie grise économisée. L'ensemble des plans d'exécution a été fourni par Anglade à l'entreprise Manca, implantée près de Grenoble, qui ne disposait pas encore du bureau d'étude intégré mais qui, grâce à son savoir-faire, a pu maîtriser la complexité du levage d'une charpente dont la stabilité n'est atteinte que lorsque l'édifice est complet. Lorsque Jacques Anglade a retrouvé quelques années plus tard cette entreprise pour la construction de la Maison de la Musique à Creux, elle avait recruté un ingénieur et s'était équipée d'outils de Conception et Fabrication assistées par Ordinateur (CFAO).

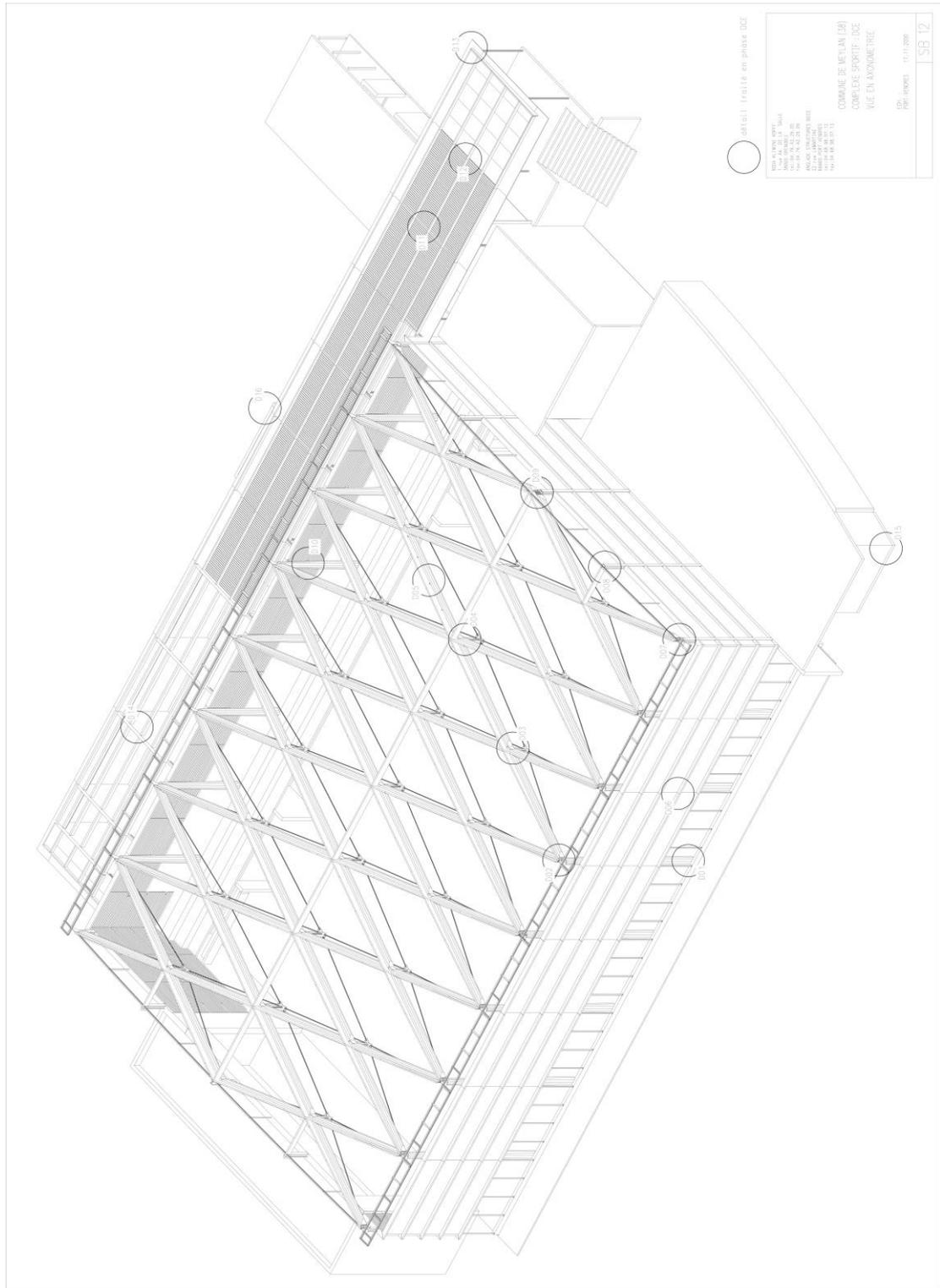


Planche 1 Vue axonométrique de la charpente du gymnase de Meylan

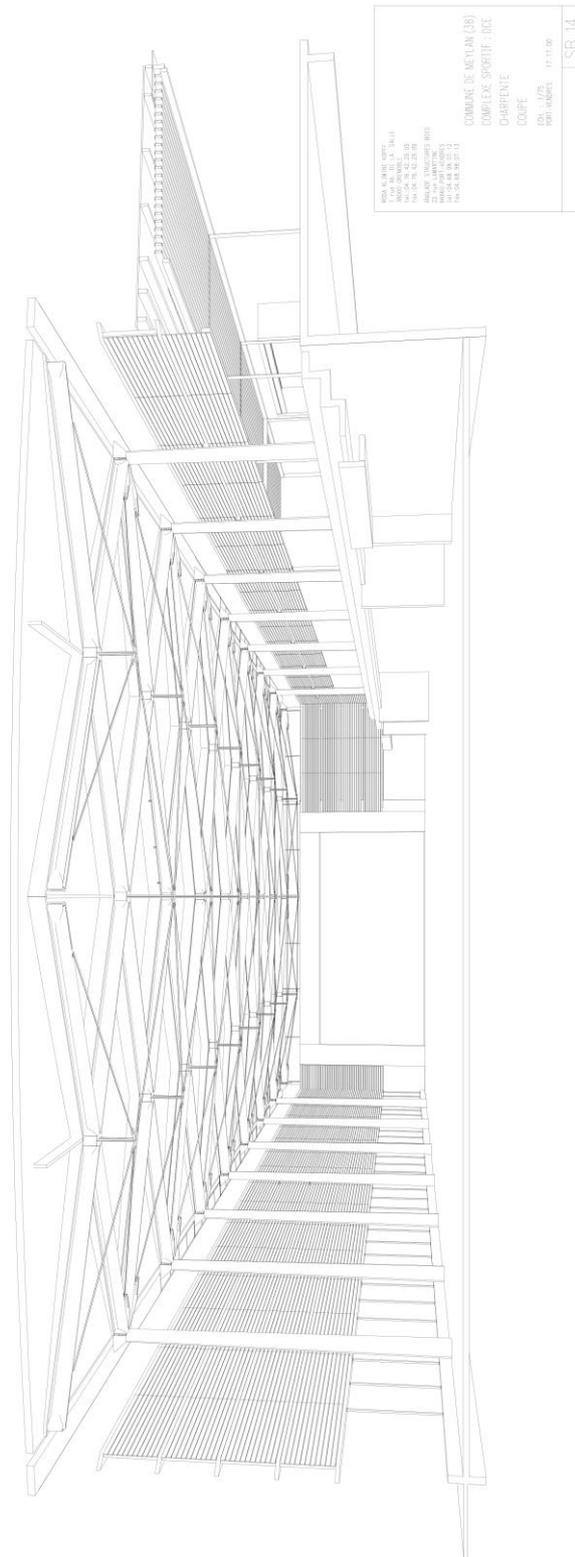


Planche 2 : perspective intérieure du gymnase de Meylan

Quand l'ingénieur revisite les traditions de la charpente

Avec le développement des sciences de l'ingénieur à la fin du 19^e siècle, l'acier et le béton armé ont supplanté le bois pour la construction des ouvrages d'art. Aussi n'existe-t-il que peu de ponts en bois faisant appel aux sciences de l'ingénieur : deux célèbres ouvrages en bois, celui de Kintaikyô au Japon construit en 1673 ou le pont celui des frères Grunbenmann à Schaffhouse en Suisse datant de 1755 ont été conçus et réalisés avant l'apparition des outils de calcul de l'ingénieur. Des modélisations *a posteriori* de ces deux ponts historiques ont d'ailleurs vérifié la justesse des savoir-faire de leurs maîtres d'œuvre et explicité scientifiquement le transfert complexe des efforts dans la discontinuité des éléments de la construction.¹⁰

Renouant avec cette ingéniosité sans ingénierie du métier de charpentier, Jacques Anglade a conçu plusieurs ponts qui redécouvrent et modernisent ces traditions. Ainsi de la passerelle d'Ajoux, (*fig.2, planche 3*) structure en forme d'arche qui enjambe l'Auzène en Ardèche.

Réalisée en sections de châtaignier provenant de la forêt locale, elle est constituée de deux consoles triangulées en vis-à-vis, ancrées dans la roche des rives, et dont les membrures inférieures forment une arche de 18 mètres au-dessus de la rivière (*fig. 3*). Des sections de bois quasiment identiques (13/13, 13/15, 13/18) sont employées, tant pour former le tablier que les barres triangulées des consoles. D'une longueur d'environ 4 mètres, ces bois sont liaisonnés par des boîtiers d'assemblage mécano-soudés. Le tablier est fait de 9 lignes de poutres parallèles, espacées d'un vide pour un plein ; les 8 membrures de l'arche en dessous s'articulent entre les lignes du tablier, comme lorsque l'on emboîte entre eux les doigts de nos deux mains. Pour stabiliser la passerelle, les membrures inférieures de la dernière trame rejoignent la rive en s'écartant de l'axe de la passerelle, par deux faisceaux arborescents de quatre éléments chacun. Il en résulte une passerelle à la fois dense par le nombre de petits bois assemblés et légère par la finesse de son profil au-dessus de la rivière. La texture fibreuse des lignes de bois ainsi assemblées ne manque pas d'évoquer à grande échelle la nature de la matière (*fig. 4*). Elle renoue avec la tradition du pont en bois

¹⁰ Weinand, *Timber Project*, *op. cit.*



Fig.2 Passerelle vue depuis l'aval de l'Auzène



Fig. 3 Appuis sur berges



Fig. 4 Sous-face de la passerelle

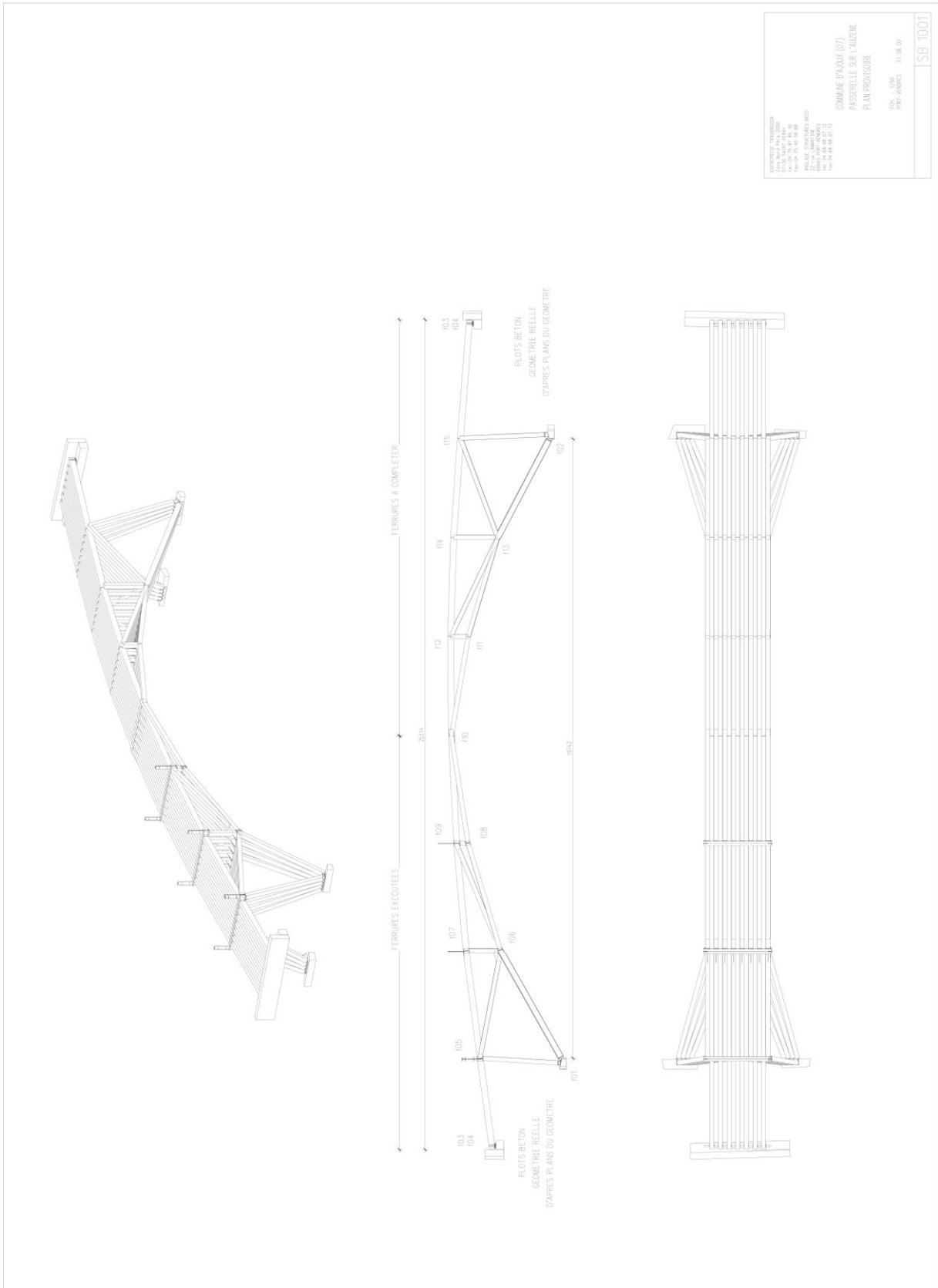


Planche 3 Passerelle d'Ajoux

mais bénéficie de l'aide des boîtiers en acier qui transmettent les efforts dans les nœuds, ainsi que des connaissances modernes en conception de structures, qui lui permettent de trouver une forme d'arche légère à partir d'un système statique fait de deux consoles en vis-à-vis. Cette passerelle a été construite par l'entreprise Traversier de Valence, petite société d'une dizaine de salariés. Elle non plus ne disposait pas encore de compétence d'ingénierie en son sein. Là encore les études lui ont été fournies par Jacques Anglade, à charge pour elle d'imaginer le dispositif de levage et d'étalement d'une charpente qui ne devient stable qu'au terme de son montage.

L'art du trait à l'heure de l'informatique

Jacques Anglade ne dédaigne pas pour autant les outils de conception informatiques. Au contraire, ils lui permettent de maîtriser la géométrie des charpentes complexes, comme pour poursuivre par d'autres moyens la tradition de l'*art du trait*. La transmission de ce savoir est un des aspects les plus remarquables de la formation des charpentiers par compagnonnage, qui lui vaut d'être aujourd'hui classé en 2009 au titre de patrimoine culturel immatériel de l'humanité par l'UNESCO. Anticipant la géométrie descriptive de Gaspard Monge qu'il inspira¹¹, l'*art du trait* permettait aux charpentiers Compagnons du Devoir de ramener dans les deux dimensions du plan les tracés des découpes et les assemblages tridimensionnels les plus complexes. Affirmant ses liens avec cette tradition, Jacques Anglade rend disponibles sur son site internet la plupart des dessins réalisés en vue de la consultation des entreprises¹². Les édifices y sont représentés en vues géométrales mais aussi axonométriques sous plusieurs angles pour favoriser la visualisation rapide de leur conception dans l'espace. Ces représentations axonométriques, parfois décomposées, ou ces coupes-perspectives qui relèvent plutôt du dessin d'architecture, sont essentielles à la compréhension rapide de ses variations sur les types structurels, dans lesquelles le foisonnement des petits bois comme l'indifférenciation des sections brouillent la hiérarchie des éléments et l'organisation structurelle.

De même les détails d'assemblages sont contrôlés à grande échelle et offrent de nombreuses précisions sur les modes d'assemblages et les types de fixations. Ils

¹¹ Berce, Yves-Marie *La science à l'époque moderne*, Paris, 2000, p.23

¹² <http://www.anglade-structures-bois.fr>

figurent très souvent l'effacement de la liaison métallique au profit d'une lecture d'assemblage dit bois-bois. Le dossier de dessins se comprend comme la représentation d'un jeu de construction, accompagné de sa notice de montage. D'autre part, l'usage de logiciels de dimensionnement tels que *CadWork* ou *AcorBat* permet de modéliser et de vérifier rapidement un grand nombre d'hypothèses statiques intuitives avec un degré élevé de prédictibilité des efforts et des déformations. Le charpentier d'hier, avec l'expérience comme seule source de connaissance et l'empirisme comme seul moyen d'expérimentation, ne pouvait prendre des risques inconsidérés. Les acquis des sciences de l'ingénieur comme les moyens modernes de calcul rendent imaginables des systèmes statiques originaux recombinaient les archétypes structurels et de simuler leur comportement. Ils permettent aussi de concevoir des charpentes composées d'un grand nombre de pièces différentes, dont l'angle de chaque trame peut désormais varier légèrement pour constituer des effets de courbure et de torsion à l'échelle de l'ensemble, comme pour le préau de l'école Corneille à Versailles, réalisé par Anglade avec les architectes Dumont et Legrand. L'outil informatique facilite alors le calcul d'un nombre important d'éléments singuliers, en rendant l'opération beaucoup moins laborieuse qu'un dimensionnement « à la main » potentiellement rédhibitoire. Par ailleurs, ces logiciels permettent aussi de réaliser facilement le carnet de nomenclature des multiples éléments singuliers, jusqu'à en coordonner le débit et l'usinage à partir de machines à commande numériques. Les moyens modernes de transport et de levage autorisent une large préfabrication dans les conditions favorables de l'atelier, avec la précision des machines-outils, à l'abri des aléas du chantier. Néanmoins les dessins d'Anglade sont bien ceux d'un « charpentier qui a appris le latin », empruntant à l'*art du trait* et au glossaire du compagnon autant qu'aux sciences de l'ingénieur. (cf planches)

Variations sur le thème des chevrons-formant-fermes

Cet aspect s'exprime clairement dans ses charpentes dites à *chevrons-formant-fermes*. Il s'agit de charpentes faites de fermes latines avec un entraxe très étroit (de 50cm à 1m), dont les arbalétriers forment directement chevronnage, supprimant ainsi l'empannage. Ces charpentes sont connues au moins depuis le 12^e siècle, notamment

dans les combles médiévaux du Centre de la France¹³, tels que ceux de l'église de Saint-Loup-sur-Cher, fin 12^e ou ceux des Etats Généraux de Blois, mi-13^e siècle (*figs* 5,6).

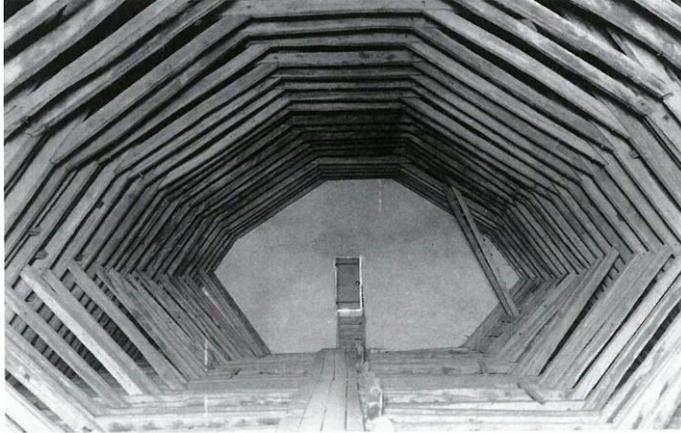


Fig. 5 Etats Généraux de Blois



Fig. 6 Eglise Saint Loup sur Cher

Mais alors que ces charpentes sont des trésors cachés au-dessus des voûtes maçonnées, celles d'Anglade sont en pleine lumière et jouent un rôle architectural des plus intéressants. Il en résulte une esthétique de texture, évoquant parfois des motifs textiles, parfois les rames de trirèmes qu'évoquait Saint John Perse dans *Amers* :

¹³Bontemps D. *Charpentes de la région Centre du XII^e au XIII^e siècle*, Centre des Monuments Nationaux, Ed. du Patrimoine, Paris 2002.

"Persiennes basses et feux éteints, la maison de boiserie navigue comme une trirème, et sous l'auvent de bois léger l'alignement des chevrons tient comme un rang de rames égales pour l'envol."¹⁴

Ces charpentes en 'petits bois' demeurent légères à l'œil malgré la quantité de matière en jeu. Ces dispositifs constructifs ne sont néanmoins valables que dans la limite de constructions d'échelle moyenne, d'une quinzaine de mètres de portée au maximum, toutefois suffisante pour aborder les programmes de petits équipements. Le préau de l'école Corneille à Versailles est particulièrement représentatif des structures « denses » d'Anglade (*figs 7,8 planches 4, 5*). Ce petit édifice à la géométrie complexe a été réalisé par l'entreprise vosgienne Houot. Son outillage numérique permet à cette entreprise d'une centaine de personnes de réaliser avec agilité des petites séries, voire des pièces uniques, signe que peut-être le dogme économique de la standardisation industrielle et de ses grandes séries est derrière nous.

L'édifice, d'échelle modeste (20m x 13m) est réalisé en bois massif de mélèze, à partir de petits bois de faible section. La charpente se compose d'un réseau serré de *chevrons-formant-fermes* qui prend appui sur deux doubles portiques longitudinaux d'1,20 mètres d'épaisseur, en forme de galeries. La première galerie est largement ouverte sur la cour de l'école tandis que la seconde accueille un ensemble de gradins en limite de parcelle. Avec élégance, l'épaisseur de ces galeries est utilisée pour inverser la pente de la toiture, et constituer des rives horizontales très fines, libérées des éléments de gouttières. Ce dispositif à ossature est ensuite clos par trois façades constituées de bois massif empilé, non porteuses, mais qui assurent le contreventement de l'édifice. Dégagée du rôle porteur de la charpente, l'enveloppe peut s'ouvrir comme un filtre, par soustraction de certaines pièces de bois, pourvu qu'il en reste suffisamment pour transmettre les efforts horizontaux jusqu'au sol. Il en résulte une paroi texturée de pleins et de vides égaux, à la manière d'un jeu de *Yenga* dont on aurait retiré des éléments jusqu'à la limite inférieure de la stabilité (*fig. 9*).

¹⁴ Saint-John Perse, « Étroits sont les vaisseaux », *Amers*, Ed. Gallimard, Paris, 1957, p.77



Fig. 7 Chevrons formant fermes de l'Ecole Corneille



Fig. 8 Vue extérieure depuis la cour



Fig. 9 Parois évidées en bois massif empilé

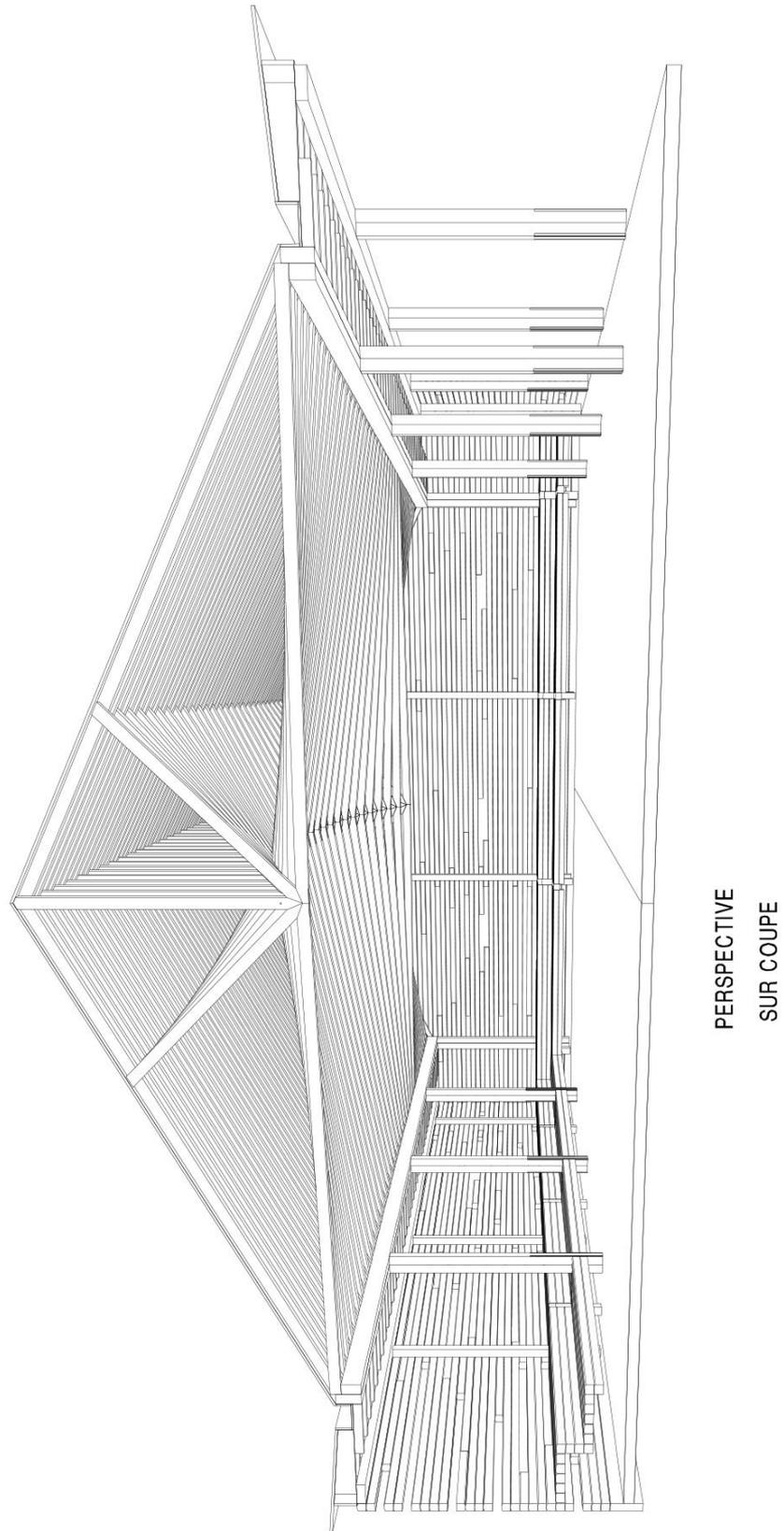


Planche 4 Coupe perspective

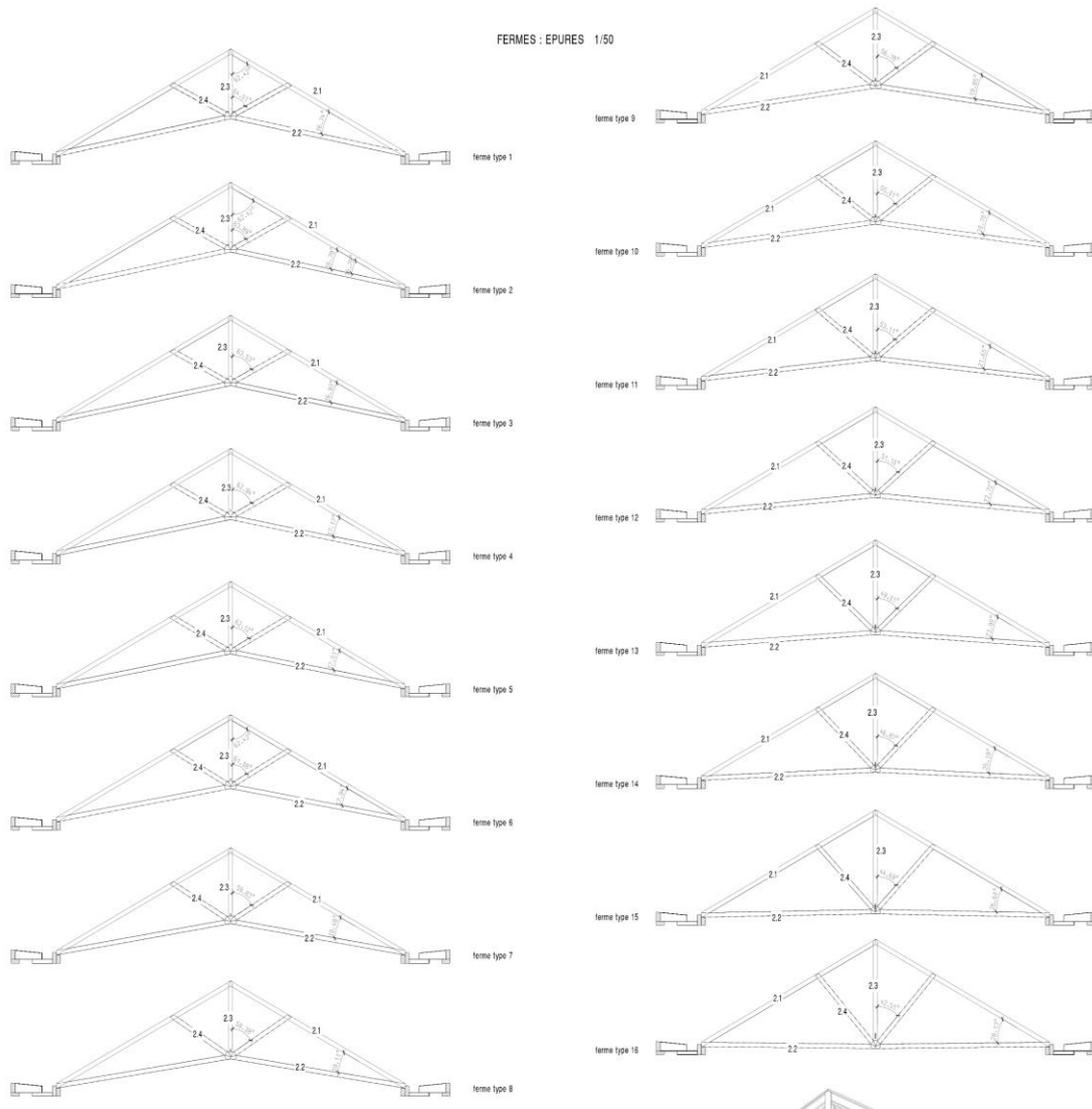


Planche 5 Nomenclature des fermes

Mais l'intérêt principal du projet réside bien dans la charpente en *chevrons-formant-fermes*, constituées à partir d'une unique section carrée de 120 mm, c'est-à-dire la section courante de l'architecture traditionnelle japonaise. L'entraxe entre deux fermes, réduit à 32 cm, donne à lire des stries parallèles denses plutôt qu'une série d'ossatures distantes et reliées perpendiculairement.

Chaque ferme est construite selon une géométrie singulière afin de donner une ondulation à la sous-face, selon l'angle de liaison des demi-entraits sur le poinçon (*fig. 10*). Ce degré de complexité géométrique et d'individualisation des éléments est grandement facilité par les outils informatiques, lors de la conception comme de fabrication. Par ailleurs la densité des éléments de structure permet de répartir uniformément les efforts qui s'appliquent à chaque ferme. Cela permet à la fois de réduire les sections et de diminuer les transferts d'efforts dans les liaisons. Ainsi les arbalétriers moisants sont simplement vissés sur les autres éléments. Les assemblages coplanaires des entrants, contrefiches et poinçons sont réalisés avec des vis autoforeuses liant les bois par l'intermédiaire d'une âme métallique à mi-bois. De la sorte, aucun élément de fixation métallique ne vient surcharger la vision d'une construction en bois massif. Cette innovation discrète de fixations vissées bois-métal est essentielle pour réussir ce type d'architecture en petits bois assemblés. Elle n'a été développée et mise sur le marché par la société SFS en 2002.



Fig. 10 rythme dense de chevrons-formant-fermes

L'art de la fabrication

Bien qu'elle soit une variation contemporaine élégante sur le thème des *chevrons-formant-fermes*, cette construction n'aurait sans doute pas pu voir le jour à partir d'assemblages en bois. En effet, l'ondulation de la nappe des entrants suppose que ceux-ci soient constitués en deux parties de part et d'autre du poinçon, ce qui oblige le concepteur à réaliser des liaisons travaillant en traction, très délicates à réaliser en bois. C'est bien l'intégration d'innovations techniques discrètes à des modèles traditionnels qui permet à ceux-ci de se renouveler dans une architecture originale. D'une manière similaire, Anglade renforce la plupart des assemblages bois traditionnel de type enture ou embrèvement par un collage *époxy* qui augmente de manière significative leur résistance mécanique et limite le recours aux assemblages métalliques. Si la démarche d'Anglade revisite l'*art du trait* à l'heure de l'informatique, comme en témoigne la qualité graphique et l'exhaustivité des informations des études disponibles sur son site, elle s'attache aussi à valoriser les caractéristiques physico-mécaniques naturelles des différentes essences, plutôt que de penser en termes de transformations et de traitements chimiques.

A distance de la pensée architecturale postmoderne, qui ne voit dans la technique qu'un catalogue de moyens instrumentaux au service de formes symboliques ou scénographiques indépendantes de leurs conditions d'existence, et d'un art de l'ingénieur qui porterait pour seul récit celui de sa propre performance, le travail d'Anglade s'inscrit dans une culture tectonique de l'architecture qui cherche à dépasser la dualité *werkform / kunstform*¹⁵, c'est à dire entre forme construite et forme artistique. L'origine de cette notion de tectonique, forgée à partir de la racine grecque *tekton* (étymologiquement le charpentier) est un héritage de la théorie de l'architecture germanique développée au 19^e siècle notamment par Gottfried Semper¹⁶, dont la quête était celle d'une ontologie de l'architecture qui ne chercherait plus en dehors d'elle-même ses motifs d'expression. Ce concept de *tectonique* a permis à l'historien et théoricien Kenneth Frampton de renouveler la lecture de l'architecture moderne, trop souvent analysée sous le seul angle de sa spatialité¹⁷.

¹⁵Botticher Karl *Die Tektonik der Hellenen*, (2 Textbände und Tafelband) Potsdam, 1852.

¹⁶Semper Godfried. *Du style et de l'architecture*, Ecrits 1834-1869 Ed. Parenthèses, Marseille 2007.

¹⁷Frampton Kenneth. *Studies in Tectonic Culture : The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, Boston, 1995.

Selon Frampton, la tectonique n'est pas qu'une simple affirmation de la technique de construction, elle ne saurait se limiter à l'expression d'une « vérité constructive » souvent pauvre et muette ; c'est un art de la fabrication, qui exploitant exploite le potentiel d'expression poétique, tactile et sensoriel de la matière, des outils et des métiers de sa mise en œuvre.

Une esthétique du tressage

En ce sens la charpente du réfectoire du collège de Chatte, dans l'Isère, réalisée par Anglade avec les architectes grenoblois R2K en 2004, explore le registre esthétique de la vannerie (*fig. 11, Planche 6*). Cette structure hybride de douze mètres de portée génère une toiture à deux pans surmontée d'un lanterneau de faitage qui repose sur deux pannes longitudinales en lamellé-collé de 25m de longueur, portant de pignon à pignon. Un chevronnage d'environ 1m d'entraxe porte repose sur ces pannes faitières et sur les portiques constituant les façades. Au droit des poteaux de façades, un entrain reprend tous les 5 mètres les efforts de poussée horizontale de l'ensemble de la charpente.



Fig. 11 Collège de Chatte



Fig. 12 Toiture de Zanine Caldas

Entre les chevrons, des planches de voliges croisées fabriquent un motif de tressage inspiré de l'œuvre de José Zanine Caldas (1918-2001), l'architecte et designer brésilien, qui trouvait avec ce dispositif le moyen de ventiler efficacement la sous face de ses toitures (*fig. 12*). Ici, ces planches de voliges croisées fonctionnent comme des étrépillons qui bloquent les chevrons de 22 cm de hauteur et les empêchent de se

voiler sous la charge (*fig. 13*). De plus cette surface « tressée » fonctionne comme un piège à sons au-dessus duquel la sous-face des panneaux de toiture est revêtue d'un absorbant acoustique (*fig. 14*). Ici encore les assemblages métalliques sont dissimulés à mi-bois et simplement vissés, pour effacer toute référence à la construction métallique. Cette charpente a été fabriquée et levée par la Société Dauphinoise de Charpente et Couverture, une entreprise d'une cinquantaine de personnes domiciliée à Vars qui disposait en interne des compétences en ingénierie et des outils de production numérique.



Fig. 13 Pose des étrésillons croisés



Fig. 14 Sous-face « tressée » acoustique

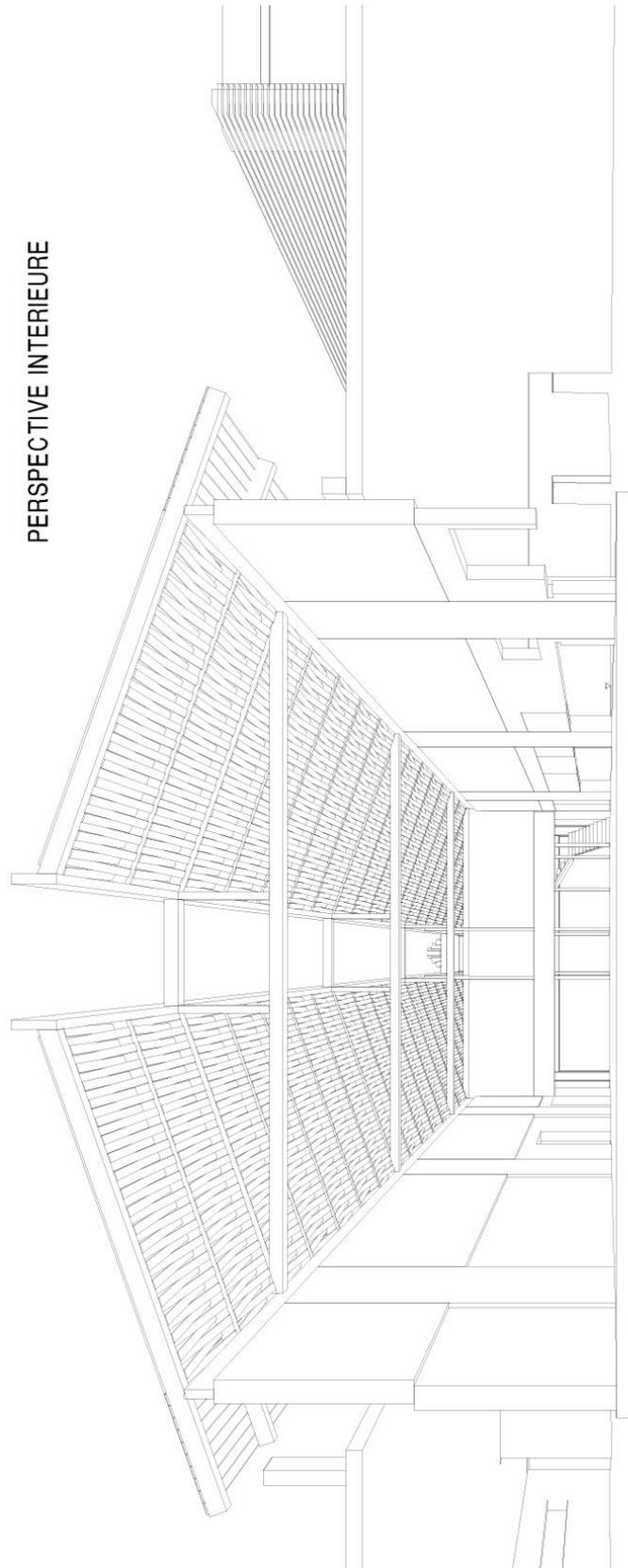


Planche 6 Coupe perspective de la charpente du réfectoire du collège de Chatte

Le monastère bouddhiste Nalanda, réalisé en de 1999 près de Lavaur dans le Tarn avec l'architecte J. Colzani, nous fait découvrir par d'autres moyens le même potentiel expressionniste des charpentes « tressées » (*fig. 15, planche 7*). La Gompa, ou salle de prière, est couverte d'une charpente dense de fermes entrecroisées autour de deux pannes de lamellé-collé portant dans le sens longitudinal.



Fig. 15 Nef de la Gompa du Monastère Nalanda

La section de ces deux pannes vient de ce qu'elles doivent supporter leur poids propre sur une grande longueur, mais elles ne sont pas porteuses hormis dans leur partie en porte-à-faux extérieur. Elles assurent en partie courante le transfert des efforts horizontaux vers les pignons et permettent le montage et la cohésion des petits bois assemblés en *chevrons-formant-fermes* comme dans un système de vannerie. En effet ce sont les petites sections qui portent la toiture, assemblage coplanaire de chevrons en vis-à-vis sur un poinçon, complété par des tirants plats en ciseaux de part et d'autre, assemblés par vissage simple (*fig. 16*).

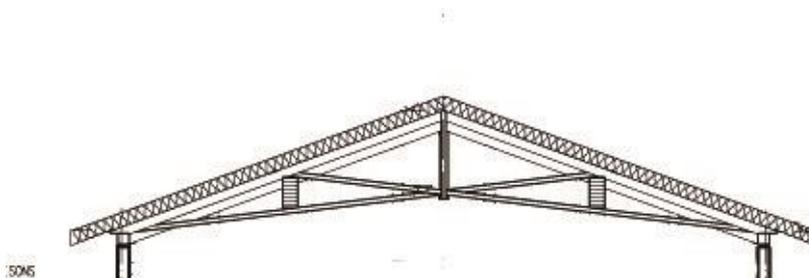


Fig. 16 Coupe transversale sur la ferme et ses tirants en ciseaux

Ce principe de tirants en ciseaux se trouve déjà lui aussi dans certaines charpentes médiévales, comme celle de la cathédrale St Gatien à Tours. Anglade reprend ici un système statique similaire, mais en supprimant le faux entrain que la faible pente de la toiture ne justifie plus (*fig. 17*). La projection horizontale ne laisse aucun vide entre les éléments, mais dessine une nappe à partir d'un assemblage de petites sections croisées bord à bord, se rapprochant ainsi du principe des structures spatiales qui répartissent les déformations grâce à une meilleure solidarité structurelle entre des éléments démultipliés. Même si le son schéma statique puise dans les traditions de la charpente, la validation du comportement, le calcul et même le levage d'un tel ensemble relèvent bien des savoirs de l'ingénieur et nécessitent d'être modélisés en l'absence de références empiriques.

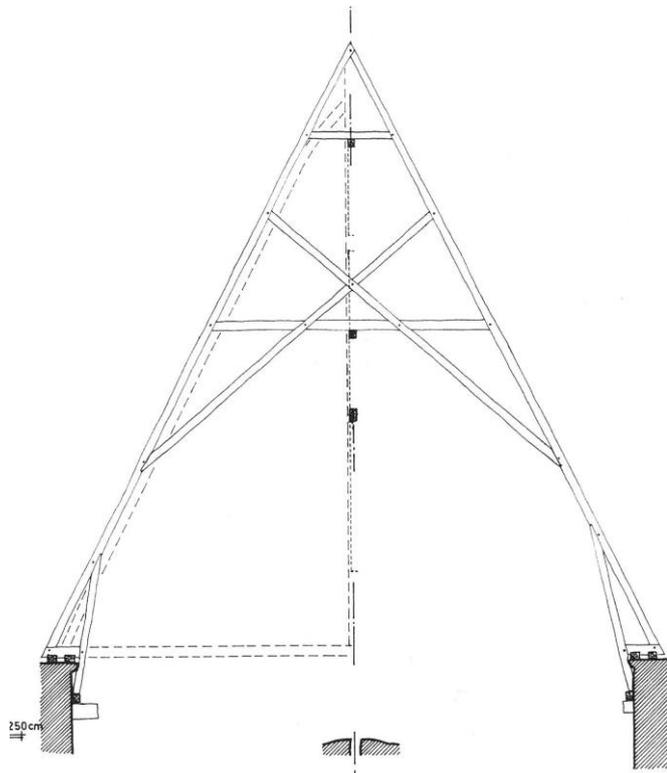


Fig. 17 Ferme avec tirants en ciseaux de la cathédrale de Tours

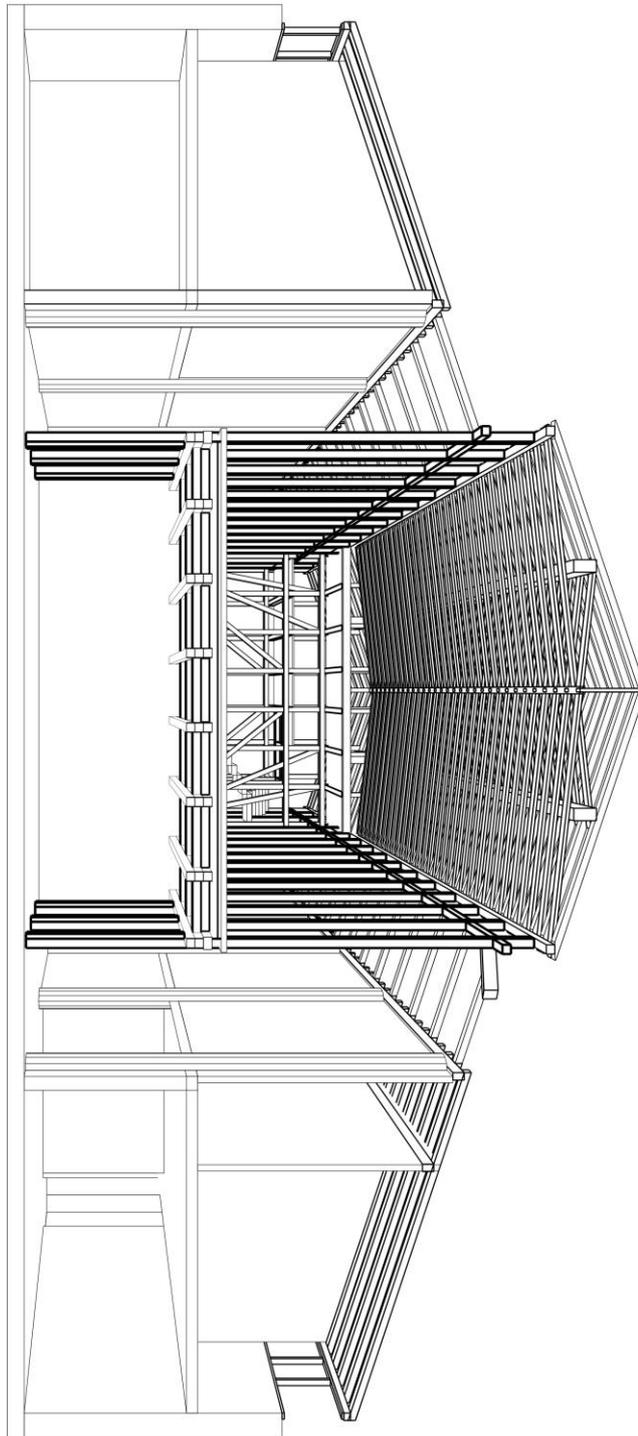


Planche 7 Coupe perspective sur le monastère Nalanda

Expérimentation technique et création architecturale

D'une manière plus générale, en multipliant les petits bois, ces charpentes réduisent les efforts supportés par chaque élément au bénéfice d'assemblages légers, simplement collés ou vissés, où la présence de l'acier s'estompe en faveur d'une architecture de la charpenterie bois. Ces charpentes denses, comme tressées, déploient une esthétique textile dont la légèreté perçue se distingue de la légèreté littérale issue de l'art de l'ingénieur. Elles participent à rapprocher les sciences de l'ingénieur, les innovations technologiques et la culture du charpentier au sein d'une architecture de texture et de sensorialité, expression de la nature de la matière. Anglade nous montre ainsi que l'expérimentation technique peut avoir lieu ailleurs qu'en laboratoire, où de nouvelles matières, de nouveaux composants sont conçus et développés isolément, selon des protocoles scientifiques établis. Cette démarche renvoyait la conception des édifices à l'assemblage cumulatif de sous-systèmes industrialisés, disponibles sur catalogue, dans une logique de *meccano* telle que la modernité la rêvait. Avec Anglade nous comprenons que la création architecturale est elle-même un foyer d'expérimentation technique où des hypothèses de systèmes statiques se formulent et se vérifient en imaginant de nouvelles combinaisons entre les schèmes constructifs traditionnels de la charpenterie. Cette démarche engendre des œuvres à chaque fois spécifiques, dont l'ambition déborde du cadre de leur technicité.

Anglade nous fait alors imaginer ce que pourrait être une architecture de bois caractéristique de sa matière première et fidèle à ses traditions constructives, en les revisitant à l'aune des acquis scientifiques et techniques du 20^e siècle et des outils numériques d'aide à la conception. Parce qu'il valorise l'art du charpentier à partir de petites sections courantes plutôt que les performances des machines capables de « passer en force » avec de grands éléments de bois reconstitué, son travail procède d'un *empowerment* des traditions artisanales par les sciences de l'ingénieur.

Toutefois, cette réflexion n'est ni isolée, ni démiurgique. Elle éclaire un mouvement de fond dans de l'évolution du métier de charpentier depuis qu'il s'est enrichi des sciences de l'ingénieur dans la seconde moitié du 20^e siècle et des outils de conception et de fabrication numérique dans les quinze dernières années. Les petites entreprises de charpente pour lesquelles Anglade réalisait encore les études

d'exécution au début des années 2000 disposent désormais quasiment toutes, on l'a vu, de compétences en ingénierie et de centre de taille à commande numérique dès que leur effectif dépasse la quinzaine de personnes¹⁸. Ces investissements n'avaient bien entendu pas pour objectif de réaliser des formes complexes, innovantes ou singulières, mais d'abord d'améliorer la productivité de l'entreprise en réduisant le coût marginal toujours plus tôt dans la série. Ils ne portent pas en eux-mêmes l'assurance d'une production socialement plus juste ou écologiquement plus neutre, mais promettent des conditions plus agiles, moins massives. Les entreprises capables de réaliser des ouvrages ambitieux peuvent être plus petites, plus nombreuses, et mieux réparties sur le territoire. Elles offrent aux amoureux de la charpente l'occasion de retrouver le goût de l'ouvrage et la fierté du métier dans des conditions économiques acceptables.

Cependant, il n'est pas certain que la surveillance d'un robot de taille soit moins aliénante que celle d'une table de clouage pneumatique au 20^e siècle, ni que la poutre torse en lamellé-collé qui en résulte n'évoque la moindre mémoire de l'arbre. Ces nouveaux outils peuvent aussi conduire à de nouvelles aberrations architecturales, environnementales et économiques, comme on l'a vu par exemple avec certaines expériences formelles récentes très médiatisées¹⁹. On objectera alors que le travail d'Anglade est très éloigné des pratiques artisanales puisque les outils de conception et de fabrication assistées par ordinateur (CFAO) sont des outils industriels. Mais la critique que faisait Ivan Illich de l'aliénation industrielle n'était pas liée à la complexité de l'outil. Sa définition de la *société conviviale* évitait habilement l'écueil d'une vision romantique de l'artisanat telle que celle du mouvement *Arts and Crafts* : « *L'outil est convivial dans la mesure où chacun peut l'utiliser aussi souvent ou rarement qu'il le désire, à des fins qu'il détermine lui-même. [...] Le caractère convivial ou non de l'outil ne dépend pas en principe de son niveau de complexité* »²⁰. L'aliénation s'installe lorsque le processus industriel uniformise et appauvrit les gestes, les pensées et la créativité, dans la seule perspective d'une amélioration de la productivité. Jacques Anglade utilise ces nouveaux outils pour explorer à sa façon

¹⁸ Entretien avec Jacques Anglade, 7 octobre 2015

¹⁹ Comme par exemple la couverture de la place de l'Incarnation à Séville par l'agence Jürgen Mayer H. Voir Pierre Chabard, P. « Metropol Parasol, une ombre sur la ville », *Criticat*, n°9, mars 2012

²⁰ Ivan Illich, *op. cit.* p. 45

les possibilités morphologiques et structurelles de l'architecture de bois en dehors des logiques de standardisation industrielle pour lesquelles ils ont été développés. Il le fait dans le cadre de ses convictions éthiques qui réinterrogent la technique entendue comme l'ensemble des moyens et dispositifs par lesquels nous agissons sur le monde. L'accueil favorable fait à son travail est sans doute significatif de l'évolution de notre pensée sur la technique, conséquence de l'abaissement de notre degré d'acceptabilité des risques liés aux technologies industrielles du 20^e siècle, qu'il s'agisse des risques sociaux par aliénation des hommes ou des risques biologiques engendrés par l'usage banalisé des colles et traitements chimiques. Peut-être ces charpentes sont-elles l'expression lyrique d'un désir d'inventer de nouvelles manières d'agir plus respectueuses des ressources, humaines et naturelles.

--

Toutes illustrations issues des archives de Monsieur Jacques Anglade, avec son aimable autorisation.



WikiHouse
La troisième révolution industrielle à l'épreuve du réel

Résumé

WikiHouse est un projet collaboratif international né à Londres en 2011. Il développe des maisons en contreplaqué, libres de droits, qui peuvent être partagées et modifiées en réseau. Toute personne souhaitant réaliser une maison *WikiHouse* peut télécharger les fichiers *open source*, puis découper les pièces dans un FabLab avant de monter lui-même cette construction en kit. Cette personne peut apporter des améliorations ou modifications au modèle et le remettre en ligne au bénéfice de la communauté. Les membres fondateurs de ce projet revendiquent participer à l'élaboration *Wikipedia des choses*. Plus largement, l'utilisation des réseaux sociaux comme nouvelle plateforme d'échange, l'usage systématique des outils de fabrication numérique et la revendication d'un monde libéré des droits du *copyright* nous permette de considérer le projet *WikiHouse* comme une expérimentation des hypothèses de Jeremy Rifkin, dans le domaine de l'architecture. Mais les présentations disponibles de ce projet souffrent d'un biais de communication sur le mode de la *succes-story*, escamotant les difficultés. Issu du domaine du mobilier, le mode constructif est-il pertinent à l'échelle architecturale ? Comment s'organise cette conception collaborative fondée sur le modèle du *crowdsourcing* ? Les licences *Creatives Commons* lui offrent-elles un cadre juridique satisfaisant ? Ce mode constructif est-il réellement accessible à tous comme il le promet ? Quel est le modèle économique d'un projet qui revendique le partage gratuit de l'intelligence et promet l'émancipation de la société de consommation par le *Do It Yourself* ? Que deviennent le rôle et la responsabilité des architectes dans cette organisation ?

Pour répondre à ces questions, cet article analyse une dizaine de prototypes afin de dresser une évaluation critique de cette expérimentation. Au-delà de la fascination technophile que ces nouveaux objets inspirent, ils sont encore loin de l'efficacité des modes constructifs traditionnels. En revanche les réseaux sociaux du web permettent la mise en place d'une plateforme collaborative d'une inventivité remarquables comparée à nos organisations séquentielles. La gratuité n'est pas un frein à l'intelligence. Mais l'improbable modèle économique de ce dispositif coopératif conduit le projet sur la pente glissante de la franchise commerciale afin d'y trouver les ressources de son développement, engendrant en creux d'importants débats au sein de la communauté.

Dans son dernier ouvrage *La nouvelle société du coût marginal zéro*¹, Jeremy Rifkin, théoricien de la Troisième Révolution Industrielle², émet l'hypothèse que les réseaux sociaux du web, associés à la banalisation des outils de prototypage rapide, révolutionneront les conditions de production des objets de notre quotidien. Il pointe la naissance, parmi la jeune génération, de courants de pensée qui visent à se réapproprier notre capacité à agir sur les choses, à inventer, partager et fabriquer, libérée des droits du *copyright* par lesquels l'industrie des biens de consommation s'assure de juteux bénéfices. Selon eux, cette industrie nous enferme dans un rôle de consommateurs passifs en définissant jusqu'à nos désirs, pour les révoquer et les renouveler quand sa rentabilité diminue, selon le principe de l'obsolescence programmée, qu'elle soit esthétique ou technique.

Ces courants de pensée considèrent au contraire les fruits de l'intelligence humaine, c'est-à-dire la connaissance, les savoirs et les savoir-faire comme un patrimoine commun inaliénable et libre de droits, dont l'idée évoque la lutte que menait l'Encyclopédie contre les corporations de l'Ancien Régime.

Rifkin réunit en un ensemble idéologiquement cohérent, qu'il nomme les *Collaborative Commons*, ces communautés identifiées de manière éparse tels que les réseaux associatifs d'entraide, les communautés de développement des logiciels libres, et de l'*open source* en général, ainsi que les mouvements *Do It Yourself* qui aspirent à se réapproprier la fabrication de nos objets, notamment grâce au réseau des

¹ Rifkin, Jeremy *La société du coût marginal zéro*, Ed. Les Liens qui Libèrent, Paris 2014.

² Rifkin, Jeremy *La troisième révolution industrielle*, Ed. Les Liens qui Libèrent, Paris 2014.

FabLabs, ateliers coopératifs qui mettent à disposition du public un outillage numérique et une assistance pour réaliser des objets. En bref, les *Collaborative Commons* regroupent l'ensemble des actions menées par des communautés solidaires pour s'affranchir d'une économie de marché qui rend ses membres captifs à tous les sens du terme et pour lui substituer une économie du partage.

Le projet *WikiHouse* se revendique de cette démarche. Créé par l'agence londonienne *_00 architecture* (A. Parvin architecte et N. Ierodionou designer) en 2011, il imagine un mode constructif libre de droits, qui peut être partagé, modifié et amélioré. Citant Maynard Keynes qui estimait qu'il était plus facile d'échanger une recette que des gâteaux, les auteurs de ce projet conçoivent de petites constructions simples, dessinées sur le logiciel libre³ *SketchUp* et 'éditables' exclusivement sous forme de pièces en contreplaqué de 18mm d'épaisseur, découpées sur une fraiseuse numérique. Pour faire très simple, toute personne intéressée peut télécharger les fichiers 2D (*fig.1*) représentant toutes les pièces constitutives de la maison et les découper elle-même, dans son garage si elle dispose d'une fraiseuse numérique ou dans un *FabLab* (*fig.2*). Si elle le souhaite, elle peut apporter des améliorations et des modifications au modèle, puis le remettre en ligne au bénéfice de la communauté participant ainsi à une évolution par incrémentation de projet en projet sur le mode *WikiHouse* 1.1, 1.2, 1.3... Elle peut aussi apporter des modifications substantielles susceptibles de constituer un nouveau type, qui deviendra une *WikiHouse* 2.0.

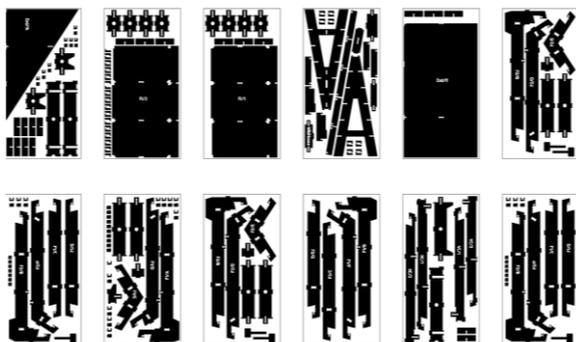


Fig. 1 Nomenclature des éléments



Fig. 2 Fraiseuse CNC

³SketchUp dispose d'une version libre aux fonctionnalités réduites et d'une version payante, cependant les fonctionnalités réduites de la version libre sont suffisantes pour le développement de WikiHouse.

Afin d'ouvrir le projet au plus grand nombre, le kit de construction utilise des assemblages dit *sans clou ni colle ni vis*, constitués uniquement d'emboîtements bois-bois verrouillés par clavetage à la façon du lamellé-claveté de Philibert De l'Orme. D'une certaine manière, toute la technicité est contenue dans la forme des pièces et la construction n'est plus qu'un montage, théoriquement accessible à toute personne sachant lire une notice de type IKEA (fig. 3).

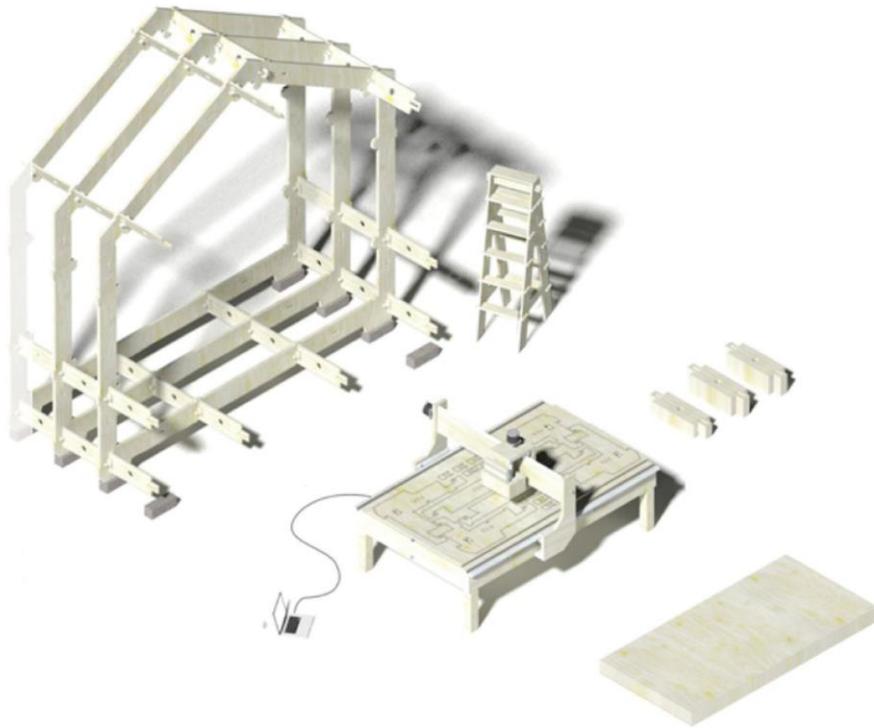


Fig. 3 Montage d'une maison WikiHouse

Ce système constructif est calqué sur celui d'*OpenDesk* qui présente exactement les mêmes caractéristiques, dans le domaine du mobilier. Des modèles de meubles sont disponibles en ligne sous forme de fichiers sources que chacun peut télécharger et fabriquer sur une fraiseuse numérique. Les utilisateurs peuvent aussi modifier ces meubles à leur guise et partager en ligne leurs créations (fig.4). *WikiHouse* est en quelque sorte le prolongement d'*OpenDesk* à l'échelle de l'architecture. Tous deux revendiquent l'élaboration d'un Wikipédia des choses (*Wikipedia of Things*). Cette généalogie qui puise ses racines dans le domaine du mobilier est importante pour comprendre les évolutions de *WikiHouse*.

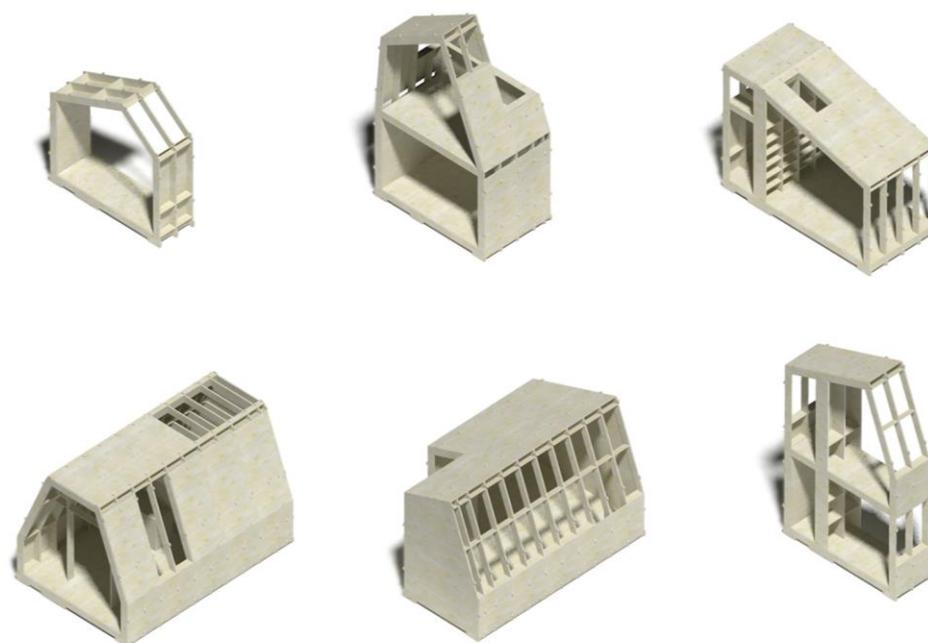


Fig. 4 Variations typologiques

L'objectif affiché des fondateurs de *WikiHouse* est semblable à celui de tous les architectes qui ont travaillé sur les modèles de maisons industrialisées durant le 20^{ème} siècle : imaginer des maisons faciles à construire, jolies et agréables à habiter, au moindre coût. Comme les Modernes avant eux, les architectes fondateurs de *WikiHouse* considèrent que le coût de la construction d'une simple maison est anormalement prohibitif, par la faute d'un système de production inadapté à la demande⁴. Hier, l'industrialisation de masse devait résoudre les problèmes insolubles pour l'artisanat. Aujourd'hui, l'espoir repose sur le changement de paradigme que développe Rifkin. *WikiHouse* est basée sur les mêmes hypothèses spéculatives : “*We believe this could herald in a new industrial revolution [...]. The factory of the future will be everywhere and the designer will be everyone*”⁵ (Nous pensons que cela peut engager une nouvelle révolution industrielle [...] l'usine du futur sera partout et tout le monde pourra être concepteur).

⁴http://www.ted.com/talks/alastair_parvin_architecture_for_the_people_by_the_people?language=fr page consultée le 26 janvier 2016

⁵ <http://www.gizmag.com/wikihouse-print-your-own-home-project/22548/> pages consultées le 26 Janvier 2016 :

Toutefois, à la différence des Modernes, les questions d'habitabilité ou d'adaptation de l'espace domestique aux modes de vie contemporains sont absentes des réflexions. L'approche technologique prime, au service d'un objectif économique. Il ne s'agit pas de « vivre » autrement mais de « faire » autrement.

Née en 2011 sur les bords de la Tamise, *WikiHouse* s'est développée très rapidement dans différents pays sous forme de *chapters*, coordonnés par un individu, un collectif ou une agence d'architecture, d'abord en France, en Nouvelle Zélande, au Brésil, puis un peu partout dans le monde⁶. Ces *chapters* nationaux sont fédérés par la maison-mère londonienne sur une plateforme d'organisation et d'échange, limitée pour l'instant à un simple *Google Drive*. Afin d'éviter qu'une personne mal intentionnée ne s'empare du concept et ne s'en attribue la propriété intellectuelle à des fins commerciales, *WikiHouse* est déposée sous licences *Creative Commons*. Ces licences offrent un cadre juridique à la propriété intellectuelle au sein des communautés *open source* et gèrent sous six formats différents les conditions d'attribution de l'œuvre, de sa commercialisation, et de sa modification. *WikiHouse* est ainsi protégée par des droits qui permettent d'acquérir la conception d'une maison et de s'en servir à des fins commerciales ou non commerciales. Il est aussi possible de la modifier sous réserve que cette nouvelle version soit à son tour partagée selon les mêmes conditions de licence.

Aussi intéressant puisse-t-il paraître, le projet soulève une myriade de questions, tant vis-à-vis de ses caractéristiques techniques propres, qu'au regard du processus de conception collaborative en *open source* sur lequel il repose.

Quelles sont les caractéristiques de la technologie de construction employée ? Quelle est la pertinence technique et économique de ce mode constructif, comparativement aux constructions traditionnelles à ossature légère ? Plus exactement, n'y a-t-il pas un paradoxe à revendiquer un modèle postindustriel qui dépend pourtant de l'industrie des machines-outils et des fabricants de panneaux, pour construire de simples maisons ? Comment ce mode constructif répond-t-il aux exigences de sécurité des personnes telles qu'elles s'imposent à toute construction ? Cherche-t-il à dépasser une proposition d'ossature en contreplaqué et présente-t-il, dans la même logique, des solutions pour les enveloppes et des équipements de finition ? Sur le

⁶ <http://www.wikihouse.cc/community/> page consultée le 26 janvier 2016

plan de l'organisation, comment fonctionne la plateforme d'échange, selon quelles règles ? Comment les expérimentations menées au travers des projets des différents *chapters* sont-elles coordonnées, vérifiées, évaluées ? Comment la connaissance acquise est-elle capitalisée ? Existe-t-il une traçabilité de l'expérimentation ? Quelles sont ses perspectives de développement ? Comment la communauté finance-t-elle son fonctionnement, entendu qu'*open source* n'est pas synonyme de gratuité ? Comment aborde-t-elle la question de la responsabilité du concepteur ?

Plus largement, quelles questions *WikiHouse* pose-t-elle à la figure de l'architecte comme à celle de l'entrepreneur, si chacun peut obtenir, gratuitement ou presque, une conception complète, facilement adaptable, techniquement aboutie, dont l'exécution se limite à son montage ? Quels sont leurs rôles dans ce nouveau modèle, y ont-ils encore une place ?

Afin de tenter de répondre à ces questions, il est nécessaire de dépasser les informations disponibles sur le *web*, rédigées sous la seule forme d'une *success story*. Les promesses du projet *WikiHouse* escamotent systématiquement les difficultés et privilégie une communication positive qui nous abreuve de formules du type : *as sexy as Apple, as open as Linux*⁷. Il ne faut pas non plus sous-estimer la séduction esthétique de ces assemblages qui expriment une technicité aussi astucieuse qu'accessible, donnant à tous le sentiment d'être intelligent.

L'élaboration d'une généalogie de cette expérimentation au travers de la dizaine de projets déjà réalisés, ainsi que leur analyse détaillée, permettent d'en reconstituer une connaissance factuelle. Cette réorganisation chronologique est aussi l'occasion d'observer les évolutions techniques et organisationnelles qui suivent chaque prototype et de tenter d'en comprendre les motivations.

Le prototype de Gwanjiu

Cette recherche généalogique permet d'identifier le *patient zéro* de *WikiHouse* en 2011 à la biennale de design de Gwanjiu, en Corée du Sud⁸. Ce prototype initial est constitué d'une trame de châssis découpés dans des plaques de contreplaqué de 18mm sur une fraiseuse numérique. Il prend la forme d'un volume pas plus gros

⁷<http://www.poc21.cc/in-short/> page consultée le 26 janvier 2016

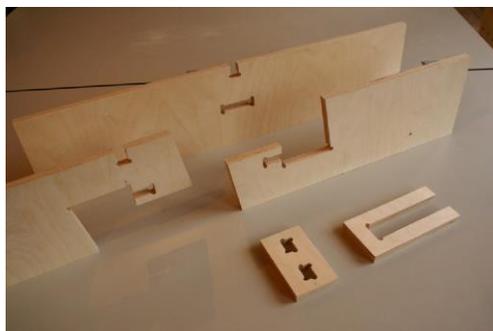
⁸<http://www.architecture00.net/news/1499> page consultée le 26 Janvier 2016

qu'une alcôve, à mi-chemin entre l'échelle du mobilier et celle de l'architecture (fig.5). La trame structurelle répète en série des châssis de bois, sur un entraxe d'environ 60cm, reliés de proche en proche par des entretoises horizontales, de façon très similaire au *balloon frame* nord-américain. Ces tranches répétitives qui définissent quatre faces du volume se déforment pour dessiner des éléments de mobilier intégré, banc et table.



Fig. 5 Prototype de Gwanjiu

Le contreventement est assuré lui aussi par des plaques de contreplaqué, au sol, sur le mur arrière et les joues verticales de la table. Pour dépasser la limite dimensionnelle d'une plaque de contreplaqué standard de 250x150cm, les cadres de la structure sont composés de plusieurs longueurs, assemblées par une technique proche du trait de Jupiter, nommée *S-Joint* en anglais (figs 6-7).



Figs 6, 7 Assemblage par S-Joint des membrures des cadres en contreplaqué

Chaque châssis est ainsi doublé de deux épaisseurs de contreplaqué. Les *S-Joints* de chaque épaisseur sont croisés et décalés pour ne pas répliquer la faiblesse de l'assemblage en un même point. Les liaisons entre les deux faces se font encore par un boulonnage, dont la densité témoigne de la prudence avec laquelle les concepteurs ont abordé ce premier prototype (*fig.8*). La construction présente cependant déjà quelques liaisons clavetées à la rencontre des châssis et de leurs entretoises, en pied et en tête seulement, sans que cette solution soit généralisée.



Fig. 8 Assemblages d'angle boulonnés

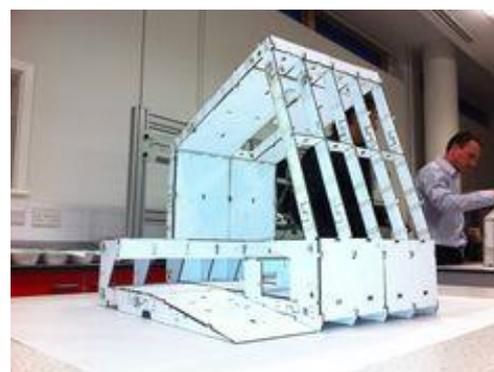


Fig. 9 Modèle éch. 1/5° en carton

Il est intéressant de noter que le projet modélisé en 3 dimensions sur le logiciel *SketchUp* contient toutes les pièces constitutives, leurs découpes et leurs assemblages. Il présente donc une conception technique intégrée et indissociable de la conception architecturale. Ce modèle 3D est d'abord testé à échelle réduite en carton découpé sur une machine de découpe *LaserCut*. Il est ensuite découpé sur fraiseuse numérique, selon la même technologie et les mêmes codes informatiques, dans des plaques de contreplaqué plus épaisses. Le processus de fabrication du modèle au 1/5° en carton et du prototype à l'échelle 1:1 sont rigoureusement identiques (*fig. 9*).

Le prototype de Milan

Un second prototype a été présenté lors du *Hacked Event* à la Rinascente à Milan en 2012⁹. Il s'agit cette fois d'un simple fragment technique, une trame de deux châssis espacés de 60cm et reliés par un jeu d'entretoises, qui préfigure la travée type d'une maison (*fig. 10*). A la différence du prototype de Gwanjiu, les assemblages s'affranchissent désormais de la quincaillerie. Toutes les liaisons apparaissent *sans clou ni colle ni vis*, simplement clavetées. Les châssis sont constitués comme à Gwanjiu de deux plaques de contreplaqué assemblées par des *S-Joints* inversés dos à dos et liaisonnées par un astucieux dispositif de clavettes. Ce mode de liaison sera systématisé par la suite et deviendra pour un temps le signe distinctif de *WikiHouse*. On note aussi le développement d'ergots sur les châssis qui serviront par la suite de supports par enclenchement aux panneaux de contreventement. Ce même démonstrateur a été exposé une nouvelle fois en octobre 2014 au Pavillon de l'Arsenal à Paris¹⁰ (*fig. 11*).



Fig. 10 Prototype de Milan



Fig. 11 Prototype de Milan au pavillon de l'Arsenal

Le prototype de Paris

En Juin 2013, un troisième prototype est imaginé dans le cadre du festival *OuiShare* organisé au *Cabaret Sauvage* à Paris¹¹. Si les deux premiers prototypes réalisés à Gwanjiu et Milan ont été conçus par l'équipe londonienne de l'agence *_00*

⁹ <http://www.domusweb.it/en/architecture/2012/06/19/wikihouse-open-source-housing.html> page consultée le 26 Janvier 2016.

¹⁰ <http://www.pavillon-arsenal.com/fr/expositions/10023-wikihouse.html> page consultée le 26 janvier 2016

¹¹ <http://magazine.ouishare.net/fr/2013/06/ouishare-fest-paris/> page consultée le 26 janvier 2016

architecture, celui-ci est le premier projet du *chapter* France coordonné par Justyna Swat, architecte-ingénieur polonaise enseignante à l'ENSCI. C'est aussi la première fois que *WikiHouse* apparaît dans un événement organisé par la mouvance alternative de l'économie du partage¹². Il s'agit d'une minuscule salle de projection vidéo, capable d'accueillir une demi-douzaine de spectateurs (*fig. 12*). Elle sera par la suite utilisée lors de l'exposition Keith Haring au centre d'art parisien *Centquatre* pour projeter les films de l'artiste. Ce premier projet *WikiHouse* français n'apporte pas de nouveauté technique, mais s'inscrit dans une sphère qui n'est plus celle des biennales de design mais celle des événements des *Collaborative Commons*. L'échelle de ces trois premiers projets les place à la frontière de l'architecture et du mobilier à l'instar du cabinet de travail de Saint Jérôme peint par Antonello de Messine¹³ (*fig. 13*). Ils sont uniquement destinés à former des sous-espaces spécialisés, protégés et confortables, inscrits dans des volumes architecturaux plus vastes.

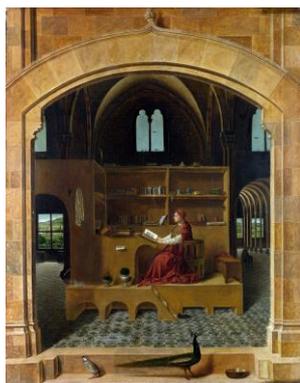


Fig. 13 St Jérôme



Fig. 12 WikiHouse au Cent-Quatre à Paris

Le prototype de New-York

En octobre de la même année, l'équipe londonienne construit à la *Maker Faire* de New-York¹⁴ un pavillon financé par *SketchUp*, constitué de deux corps parallèles de six travées, semblables à celui présenté à Milan un an auparavant. A la différence du prototype de Gwanjiu, l'espacement entre les châssis n'est plus régulièrement de

¹²<http://magazine.ouishare.net/fr/2013/05/wikihouse-architecture-collaborative-open-source/>
page consultée le 26 Janvier 2016

¹³De Messine, Antonello, *Saint Jérôme dans son cabinet de travail*. 1474, Huile sur toile, National Gallery, London.

¹⁴<https://www.youtube.com/watch?v=zod8Rc2cijQ> page consultée le 26 janvier 2016

60cm, mais présente un pas alterné de travées courtes de 30cm et des travées longues de 120cm (*fig. 14*). Les travées courtes fonctionnent ainsi comme des ‘portiques’, selon le vocabulaire de l’architecture, et non plus comme des ‘châssis’, terme issu de celui de la menuiserie. Les concepteurs se sont rendus compte avec le prototype de Gwanjiu que les châssis de 2x18mm d’épaisseur étaient trop légers et présentaient d’une part un risque de flambement sur les longueurs et d’autre part d’importants efforts sur les assemblages. Le rapprochement des châssis deux à deux tend vers une conception de portique qui pallie ces faiblesses. Il résout aussi la difficulté de la pose des panneaux de contreventement sur un support de 2x18mm. En effet, il était difficile de fixer correctement le panneau de gauche et le panneau de droite sur une largeur si faible. Avec une largeur de portiques d’environ 30 cm, on trouve la surface nécessaire pour fixer et solidariser les deux panneaux en un diaphragme continu, tout en réglant le pas de la trame sur la largeur des panneaux de 150cm.



Fig. 14 Prototype de NY, montage en cours

Les ergots présents sur la travée de Milan, destinés à accueillir par enclenchement les panneaux de contreventement, sont désormais simplifiés. Il ne s’agit plus que de simples tenons intégrés à la découpe du châssis, qui s’emboîtent en force dans les mortaises des panneaux. La qualité de cet assemblage tient à une spécificité de

l'usinage fraisé : les angles des mortaises sont légèrement arrondis selon le diamètre de l'outil, tandis que les tenons restent anguleux. Il est donc possible, moyennant un ajustage précis, de faire en sorte que les angles des tenons s'écrasent un peu dans les courbures des mortaises et offrent ainsi une adhérence par frottement efficace, sans recours à la colle ni aux vis. Ce procédé est justement dénommé *WikiHouse Supergrip*¹⁵.

Le prototype de New-York (*figs15, 16*) fait avancer le projet, en apportant des réponses à des questions structurelles qui se posent à l'échelle architecturale. Il optimise aussi les dimensions de la maison en fonction de celles des panneaux pour une meilleure économie de matière. En revanche, il s'agit encore seulement d'une ossature. L'étanchéité de la toiture de ce pavillon est réalisée avec une bâche plastique simplement posée sur les panneaux de contreplaqué.



Fig. 15 Double châssis formant portique



Fig. 16 Panneaux fixés par liaison 'Supergrip'

¹⁵ <https://vimeo.com/104025144> page consultée le 26 janvier 2016

Le prototype d'Auckland

La même année, le *chapter* New-Zealand de *WikiHouse* réalise une petite construction¹⁶ de trois travées qui présente des innovations adaptées aux risques sismiques locaux (*fig. 17*). Les doubles châssis formant portique du prototype de New-York deviennent de véritables caissons fermés d'environ 15cm de large, dont les quatre faces sont assemblées par tenons-mortaises sur le principe de la liaison *Supergrip*. Seules les traverses horizontales sont reliées aux châssis par des assemblages clavetés. Les raccords entre les longueurs de panneaux dans les châssis ne sont plus des *S-joints* mais des assemblages à queue d'aronde. Les premiers, certes très élégants, ne se justifient plus dans le cadre de la fabrication de caissons fermés. Les contreventements sont toujours réalisés par les voiles diaphragmes de l'enveloppe en contreplaqué, mais aussi renforcés par des croix de Saint-André découpées dans un panneau de contreplaqué et assemblées dans l'axe des caissons. La construction demeure toutefois un squelette d'ossature, sans enveloppe.



Fig. 17 Prototype d'Auckland

L'équipe néo-zélandaise de *WikiHouse* développe par ailleurs le logiciel *MatterMachine*¹⁷(*fig. 18*), un outil numérique qui rend la conception paramétrique par ajout d'un *plug-in* à *SketchUp*, sur le modèle de *GrassHopper*¹⁸. Le volume du projet peut alors être remodelé par ses sommets ou ses faces. L'ensemble des pièces

¹⁶ <http://spacecraft.co.nz/history/> page consultée le 26 janvier 2016

¹⁷ <http://spacecraft.co.nz/wikihouse-news/why-mattermachine-really-matters> page consultée le 26 janvier 2016

¹⁸ Grasshopper est un modèleur algorithmique développé pour le logiciel Rhino.

de construction composant le volume, leurs dimensions et leurs angles de découpe s'en trouvent automatiquement modifiés en temps réel dans la nomenclature des pièces. Ce *plug-in* doit encore être paramétré pour déterminer les intervalles de validité des modifications qui peuvent s'avérer constructivement impossibles au-delà d'une certaine taille ou en dessous de certains angles. Mais cet outil développé en *open-source*¹⁹ offre une liberté de conception et permet une simplification importante des tâches à accomplir.

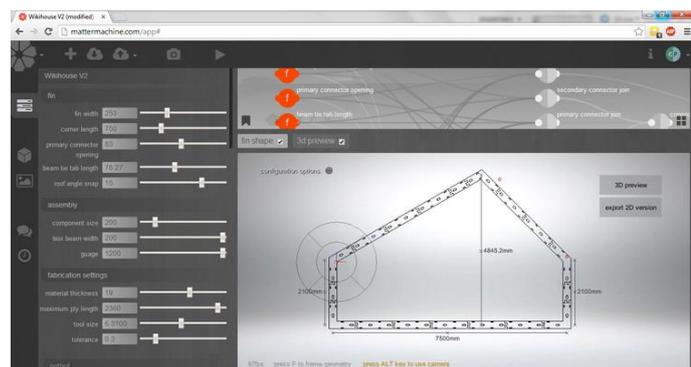


Fig. 18 Capture d'écran de l'interface MatterMachine

Le prototype de Londres

En 2014, l'agence *_00 architecture* expérimente un sixième prototype pour le London Design Festival²⁰. Il s'agit d'une construction à toiture terrasse, étudiée avec le soutien du prestigieux bureau d'études ARUP. Les perspectives du projet initial retrouvées sur le web indiquent que l'ambition première était de réaliser un prototype à R+1 (*fig. 19*), mais l'édifice construit se limite à un seul niveau couvert d'une terrasse (*fig. 20*). Toutefois, ce prototype présente pour la première fois une enveloppe complète, ainsi qu'un système d'équipements techniques. Il reprend le principe de portique caissons élaboré par l'équipe néo-zélandaise de *WikiHouse*, non plus en contreplaqué mais en panneaux de particules, plus économiques.

¹⁹ <http://www.open-electronics.org/mattermachine-is-the-third-industrial-revolution-customized-for-you/> page consultée le 26 janvier 2016.

²⁰ <http://motherboard.vice.com/read/a-tour-through-the-downloadable-diy-smart-home> page consultée le 26 janvier 2016.



Fig. 19 Perspective du projet



Fig. 20 Vue de la construction terminée

Le redimensionnement des structures à partir de ce matériau moins performant conduit à des portiques plus imposants, d'une trentaine de centimètre de profondeur. Le nombre de portiques est également doublé. On retrouve un pas alterné *ab-ab*²¹ comme sur le projet de New-York, mais avec des châssis-caissons²² comme en Nouvelle-Zélande, ce qui revient à multiplier par quatre le nombre de cadres depuis le prototype de Gwanjiu, multipliant la quantité de pièces et d'assemblages comme en témoignent les photographies du chantier (*figs 21-22*). Les *S-Joints* clavetés qui avaient fait le succès esthétique du modèle s'effacent pour laisser place à des liaisons tenons-mortaises, à queue droite dans les angles, ou à queue d'aronde lorsque les éléments sont dans le même plan. Cela laisse penser que le dispositif atteint la limite autorisée par le transfert d'assemblages de menuiserie vers le domaine de la charpenterie, car il génère désormais une complexité en contradiction avec la volonté de simplicité initiale. Tous les assemblages restent simples, mais le nombre de manipulations devient tel qu'il annule l'intérêt du procédé. L'enveloppe est quant à elle réalisée de manière conventionnelle par fixation d'un pare-pluie sur les panneaux de particules, puis par la mise en œuvre de plaques de parements sur tasseaux ventilés. En revanche, le projet est l'occasion d'expérimenter pour la première fois les *wikiwindows* (*fig.23*). Il s'agit de cadres de fenêtres et de portes, découpés dans des panneaux de médium²³ d'environ 1cm d'épaisseur, dont le collage par superposition fabrique des châssis de menuiserie avec les profils de feuillures désirés. Il est donc possible de fabriquer soi-même des châssis de menuiserie sur une fraiseuse numérique. De même, une réflexion assez approfondie est menée sur la notion de *smart home* à partir d'un kit d'équipements techniques géré par un réseau domotique qui pilote ces matériels via leurs adresses IP et les contrôle grâce à des applications de smartphone (*figs. 24, 25*). Cette *smart home* est une illustration de 'l'internet des objets' appliqué à la domotique. Le bureau d'étude ARUP a aussi étudié pour l'occasion un échangeur thermique de ventilation double-flux *opensource*²⁴, téléchargeable et fabricable soi-même sur une imprimante 3D (*Fig. 26*).

²¹ Le pas *ab-ab* ou « trame écossaise » est un système de trame qui alterne des entraxes longs et des entraxes court. Ici 30-150-30-150

²²<https://www.youtube.com/watch?v=L6T2209aGtI> page consultée le 26 janvier 2016

²³ *Medium Density Fibreboard (MDF)*

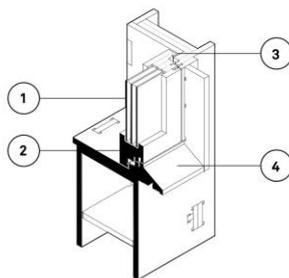
²⁴<http://motherboard.vice.com/read/a-tour-through-the-downloadable-diy-smart-home> page consultée le 26 janvier 2016



Fig. 21 Montage des portiques



Fig. 22 Montage en cours



1. Standard triple glazed unit.
2. CNC cut 'sandwich' frame, 18mm Birch plywood.
3. Capacity to use many different kinds of hinges, handles and seals.
4. No manufactured flashings required.



Fig. 23 Présentation des WikiWindows

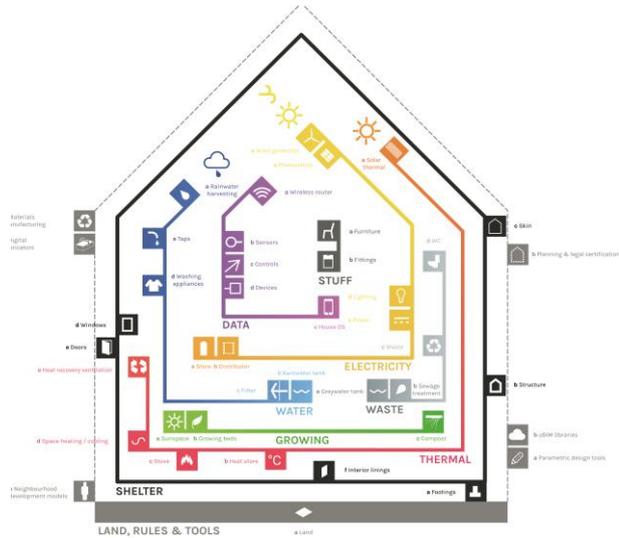


Fig. 24 Le réseau domotique de la Smart Home



Fig. 25 Le smartphone comme terminal de gestion domotique

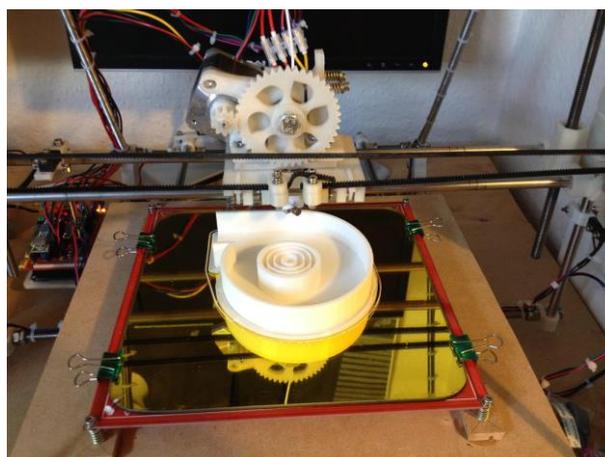


Fig. 26 Echangeur thermique de ventilation double-flux fabriqué sur une imprimante 3D

Le prototype d'Écosse

En septembre 2014, un nouveau projet *WikiHouse* est monté dans l'Ouest de l'Écosse pour une grange. Il franchit astucieusement la limite du R+1 par une jolie structure en A, d'où il tire son nom : *A-Barn* (fig. 27). Cette fois-ci, les concepteurs renouent avec le contreplaqué de 18mm, mais conservent le principe structurel de doubles portiques-caissons rythmant des travées de la largeur d'une plaque de contreplaqué (fig. 28). L'enveloppe est un bardage à clins horizontaux sur tasseaux fixés aux panneaux de contreventement. Cette *A-Barn* est aujourd'hui le seul projet complet accessible sur le *Google Drive* de la communauté. Il est possible de télécharger librement l'ensemble des fichiers de conception et d'édition sur fraiseuse numérique. Le kit téléchargeable s'accompagne aussi d'une notice de montage.



Fig. 27 Montage de la A-Barn



Fig. 28 Bardage à clins horizontaux de la A-Barn

Le prototype de Millemont

Durant l'été 2015, une petite *WikiHouse* est réalisé dans le cadre du POC 21 (*Proof Of Concept 21*). Cette manifestation alternative, en marge de la COP 21, vise à *remplacer les paroles par des actes* et servir de démonstrateur du potentiel créatif des *Collaborative Commons*. Associant la culture du recyclage à celle de la fabrication numérique DIY, ce « camp d'innovation » organisé au château de Millemont a permis de produire douze projets « durables », de l'éolienne *open source* à des kits de jardinage pour l'agriculture urbaine, en passant par un concentrateur solaire, le tout dans un esprit bon enfant qu'on aurait peut-être tort de ranger trop vite entre Gaston Lagaffe et le concours Lépine. La construction *WikiHouse* conçue par Justyna Swat du *chapter France*, reprend tous les principes constructifs élaborés précédemment. Elle s'étire sur 6 travées de portiques-caissons en contreplaqué de 18mm, disposés sur une trame régulière de la largeur d'une plaque de contreventement (*fig. 29*). Cette expérimentation supprime ainsi la lourdeur du double portique vu à Londres. On note aussi l'utilisation pour la première fois d'une fraiseuse numérique *open-source*, fabriquée hors du circuit de l'industrie de la machine-outil, à partir d'informations disponibles en ligne et libres de droit (*fig. 30*). Cette fraiseuse numérique a été installée directement sur le site, dans les communs du château. Elle offre alors une nouvelle flexibilité au projet en rapprochant l'outil du chantier.



Fig. 29 Le prototype de Millemont

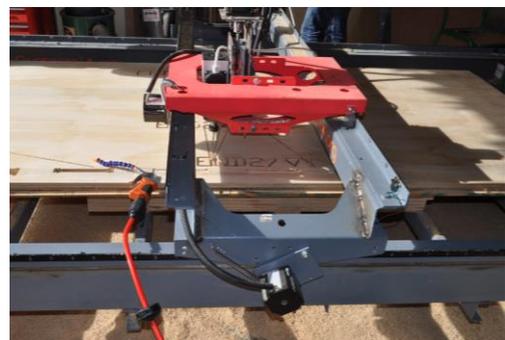


Fig. 30 Fraiseuse CNC open source

Le prototype de Sheffield

Au même moment, l'équipe anglaise construisait près de Sheffield une habitation WikiHouse complète nommée *WikiFarmHouse*²⁵. Condensant les apprentissages des prototypes précédents, cet édifice présente une échelle inédite, en R+1, d'une largeur d'environ 6m (fig. 31). Ces dimensions rendent possible la réalisation d'une maison T4 pour une famille. L'astuce technique consiste en l'ajout d'un porteur dans l'axe du faîtage.



Fig. 31 WikiFarmHouse, habitation sur deux niveaux

Comme pour le prototype de Millemont, la trame se simplifie pour ne plus s'organiser que par des travées de portiques-caissons espacés de la largeur d'une plaque de contreventement, soit environ 1,20m. Les assemblages par clavetage disparaissent définitivement, comme les *S-Joints*, au profit de traverses assemblées à mi-bois. On note également l'apparition de quelques vis discrètes pour renforcer les assemblages à queue droite ainsi que les panneaux de contreventement. Les deux planchers et la toiture sont constitués de solives de 18mm d'épaisseur par environ 25cm de hauteur, portant sur 1,20m de portique à portique. L'épaisseur des 6 faces extérieures est remplie de plaques de polystyrène de 25cm d'épaisseur, comme l'intérieur des caissons formant portiques pour isoler l'édifice. Les joints de l'enveloppe intérieure sont soigneusement recouverts d'adhésif pour assurer

²⁵

<https://awikifarmhouse.wordpress.com/> page consultée le 26 janvier 2016

l'étanchéité à l'air comme dans n'importe quelle construction à basse consommation. Comme au *London Design Festival*, les photographies de chantier font apparaître un foisonnement impressionnant de petites pièces spécifiques qui génère un montage très sophistiqué, en contradiction avec la simplicité revendiquée. A nouveau, l'enveloppe est réalisée de manière conventionnelle par la fixation d'un bardage ventilé sur l'ossature contreventée (figs 32-33). Les équipements techniques paraissent traditionnels, nécessitant encore l'intervention successive de corps d'état spécialisés, sans renouveler l'expérience de la *smart home* de Londres.



Figs 32, 33 Pare-pluie et bardage à clins sur panneaux de contreventement

Trois autres petites choses

Au moins trois autres projets réalisés sur le modèle de *WikiHouse* ne sont pas référencés sur le *Google Drive* de la communauté. En 2013, deux étudiants en architecture réalisent pour leur propre compte une petite maison dans l'Utah²⁶, à partir de châssis *WikiHouse* (fig. 34). Dans une logique d'autoconstruction et de récupération, cette ossature raffinée est habillée d'un bardage de planches recyclées et d'une tôle ondulée. Son absence sur le site de *WikiHouse* tient sans doute à son allure sympathique mais un peu bricolée, qui correspond mal à la ligne esthétique que les fondateurs de *WikiHouse* semblent vouloir garantir. Une fois masqué le raffinement des assemblages savants, on se demande également pourquoi cette construction n'a pas été réalisée en ossature bois légère traditionnelle, certes avec quelques clous et vis, mais sans l'industrie du contreplaqué, ni celle l'assistance des outils à commande numérique.

²⁶<https://www.kickstarter.com/projects/pbeseda/foundhouse-a-mobile-microhouse> page consultée le 26 janvier



Fig. 34 Maison dans l'Utah, sur une base WikiHouse

Une autre petite construction à l'allure frugale et décontractée tranche avec les dernières évolutions sophistiquées des prototypes européens. Réalisée en 2015 par les étudiants de la Faculté d'architecture et d'Urbanisme de l'Université Fédérale de Rio de Janeiro, sous la direction de Clarice Rohde, Andrés Passaro et Marcos Silvano, la *Casa Revista*²⁷ abandonne la figure iconique de la toiture à deux pans extrudée en tunnel par répétition de travées identiques, pour tester un dispositif original de murs à ossature porteuse (fig. 35). Ce petit projet d'un seul niveau renoue heureusement avec les assemblages initiaux par *S-Joints* clavetés et la simplicité de leur montage. Il offre un volume habitable clos, éclairé par une toiture en forme de shed, qui se prolonge à l'extérieur par une terrasse couverte protégée du soleil. L'enveloppe réalisée en tôle ondulée de polycarbonate translucide laisse voir le matériau de construction. Les menuiseries sont réalisées avec des châssis aluminium coulissants du commerce.



Fig. 35 Casa Revistan Université de Rio

²⁷ <http://www.archdaily.com.br/br/773676/casa-revista-a-primeira-casa-fabricada-digitalmente-no-brasil> page consultée le 26 janvier 2016

Un dernier prototype associe intelligemment le contreplaqué pour les éléments de structure à des panneaux de particules pour les surfaces de contreventement. Réalisé en 2015 par l'agence d'architecture française WAO et Clément Langelin, ce pavillon de thé japonisant dans le jardin d'une résidence privée²⁸ (fig. 36) nous confirme la fragilité des panneaux industriels face aux intempéries. Montés un jour pluvieux, ces derniers ont légèrement gonflé, rendant impossible la réalisation des assemblages ajustés au millimètre. Les architectes autoconstructeurs en ont été quittes pour de nombreuses heures de corrections à la lime à bois. Un montage *WikiHouse* a besoin d'une météo clémente.



Fig. 36 WikiTeaHouse

Une évaluation critique

Ce regard rétrospectif sur les cinq années d'existence de l'expérience Wikihouse met en évidence l'évolution du modèle d'origine au gré des prototypes successifs et des ambitions des concepteurs. Différentes hypothèses constructives sont testées les unes après les autres sur un mode incrémental qui accroît pas à pas la complexité des enjeux, du simple squelette d'ossature de Gwanjiu à l'édifice clos, couvert et équipé de Sheffield.

Cette expérience est aussi le support d'un certain nombre d'expérimentations complémentaires ou auxiliaires, sur les outils (c'est le cas du logiciel *MatterMachine* développé par l'équipe néo-zélandaise) ou la mise au point d'une fraiseuse numérique *open source* par l'équipe française de POC 21. On peut facilement

²⁸ <http://www.lemoniteur.fr/article/une-wikihouse-dans-un-jardin-25596004> page consultée le 26 janvier 2016

imaginer qu'elle puisse être l'occasion d'expérimenter des logiciels de modélisation et de calcul de structure comme *Karamba*. *WikiHouse* agrège des innovations, développe ses outils et ses supports dans l'univers de l'*open source* grâce à l'investissement de ses nombreux membres et donne une bonne idée de l'efficacité du *crowdsourcing*. De même, les essais d'échangeur thermique de ventilation double flux répliquable sur une imprimante 3D montrent que même des équipements techniques assez complexes peuvent être produits dans un garage. Enfin, le concept de *Smart House* développé lors du *London Design Festival* concrétise l'internet des objets dans le domaine de l'habitation.

La capitalisation des connaissances acquises est encore très incertaine, mais préfigure tout de même ce que pourrait devenir une plateforme d'échange *open source*. On trouve par exemple sur le *Google Drive* quelques guides de conception et des didacticiels de montage. Par ailleurs un grand nombre de vidéos permet de se familiariser rapidement avec les processus. L'équipe néo-zélandaise met aussi en ligne une note sur l'utilisation de *MatterMachine*, destinée à être améliorée par la communauté au fur et à mesure du développement de l'outil. En revanche, la plateforme souffre encore d'un manque d'organisation et de hiérarchie et les dénominations sous nom de version 1.2, 1.3...4.1 ne sont pas toujours cohérentes entre elles.

Concernant le mode constructif proprement dit, certains points faibles sont surmontés, d'autres non, mais il n'existe pas d'évaluation critique explicite. Tous les retours d'expérience se transforment invariablement en exercice de communication sur les réussites à venir. Pourtant, la complexité technique de la WikiHouse s'accroît de prototype en prototype. Cette sophistication technique réside d'abord dans l'usage de panneaux d'industrie, là où les cadres en bois massif de l'ossature légère traditionnelle suffiraient largement, compte tenu des échelles considérées. La constitution isotrope du contreplaqué fait que seule la moitié des fibres travaillent dans le sens des efforts pour les éléments en flexion ou en compression. Le matériau n'est en réalité judicieux que pour les panneaux de contreventement. Le surdimensionnement de toutes les pièces devient nécessaire pour pallier ce choix d'une matière inadaptée aux sollicitations mécaniques. Mais les fraiseuses numériques issues de l'industrie de l'ameublement sur lesquelles 's'impriment' les

composants *WikiHouse* ne savent découper que des plaques aux dimensions limitées, normalisées et à la qualité contrôlée. Il en résulte que les ces composants sont limités en taille doivent donc être assemblés pour atteindre des dimensions architecturales supérieures. Plus l'échelle architecturale est grande, plus les assemblages deviennent importants, une fuite en avant qui impose un surcroît d'éléments et d'assemblages (figs 37-38). *Errare humanum est, perseverare diabolicum*. Une alternative pourrait par exemple consister à réaliser les composants à la bonne longueur dans de grands panneaux de lamibois type *Kerto*, dont tous les plis sont assemblés à fils parallèles et répondent avec plus de justesse aux efforts de la construction à ossature. Cependant, ces panneaux sont plus chers et leur utilisation en grandes dimensions se heurte au format des fraiseuses numériques courantes.

Au regard du concept de *WikiHouse* qui envisage le montage de ces maisons sans savoir-faire ni outillage particuliers, « aussi simplement qu'un meuble IKEA », le recours à des assemblages par emboîtements, tenons-mortaises et clavetages se justifie certainement. Mais ces assemblages issus de la menuiserie sont à la fois plus fragiles et plus complexes que ceux de la construction à ossature bois traditionnelle. Nous avons montré que les prototypes du *London Design Festival* et de la *WikiFarmHouse* atteignent la limite d'un système constructif né dans le monde du design de mobilier. Ils ne parviennent pas à atteindre l'échelle de l'architecture sans engager un niveau de complexité rédhibitoire.

Un improbable pari économique

Ces prototypes ne sont guère plus satisfaisants en termes d'auto-construction pour les autres ouvrages tels que l'enveloppe et les équipements techniques. La part d'auto-construction que propose *WikiHouse* porte pour l'instant uniquement sur l'ossature bois, qui représente approximativement 30% du coût d'une maison en bois. Si l'on considère que ce coût est composé pour moitié de matière et pour moitié de main d'œuvre, l'économie de l'auto-construction peut être estimée à environ 15%. C'est sans compter que le contreplaqué vaut six fois plus cher que le bois massif. Un mètre linéaire de portique-caisson en contreplaqué nécessite le même volume de matière qu'une lisse de bois massif de 150x50mm, sans tenir compte du ratio de chute. Une construction *WikiHouse* consomme donc à peu près autant de matière



Fig. 37 Complexité des assemblages du prototype de Londres



Fig. 38 Multiplicité des éléments de la WikiFarmHouse

qu'une construction conventionnelle en bois massif, mais engage en sus le coût de la découpe sur machines spécialisées au tarif horaire élevé²⁹. Pour l'exemple Le *FabLab* parisien WOMA facture 108€TTC l'heure de découpe ; il faut environ une centaine d'heures d'usinage pour produire les pièces constituant le prototype de Londres, soit 10 800€TTC. Le coût de production est donc équivalent à 180 heures de charpentiers facturés 60€TTC de l'heure. Considérant qu'une équipe de quatre charpentiers peut monter cette maison en ossature légère classique en une semaine, soit en 140 heures (8400€HT), cette fabrication numérique qui intègre toute la technicité dans les pièces d'un kit à monter soi-même revient plus chère que la main d'œuvre qualifiée dans la filière traditionnelle. On peut alors considérer que l'intérêt économique de *WikiHouse* est pour l'instant nul. Le travail sous qualifié et gratuit des auto-constructeurs ne produit que de la sueur inutile, sauf à considérer le DIY comme un 'loisir créatif'.

Philibert De l'Orme inventa la charpente lamellé-clavetée pour construire avec des petits bois bon marché plutôt qu'avec des pièces maîtresses de bois d'œuvre, quitte à augmenter la part de main d'œuvre. Son modèle était fondé sur une recherche d'équilibre économique entre ressource naturelle et ressource humaine. *WikiHouse* fait le raisonnement inverse, constatant que le coût de la main d'œuvre est très cher en Occident. Il fait le pari d'engager toutes les ressources économiques dans une matière transformée à très haute valeur ajoutée, escomptant ainsi supprimer la main d'œuvre qualifiée au profit d'auto-constructeurs non rémunérés. L'expérience montre cependant que l'équation économique n'est pas favorable pour l'instant et nécessitera de sérieux gains de productivité pour parvenir à l'équilibre. Le développement des fraiseuses numériques *open source* est une piste dans cette direction. Une autre réside dans une expérimentation plus poussée de la construction à partir de panneaux de particules.

Comme toutes les expérimentations similaires menées dans le domaine de la maison en bois industrialisée, telles celles de Konrad Wachsmann³⁰, Jean Prouvé³¹ ou Jean-

²⁹Le fablab WOMA à Paris facture 80€ l'heure de fraiseuse numérique. Il faut plus de 100h de découpe pour le prototype de Londres. Soit *grosso-modo* le salaire mensuel de deux ouvriers charpentiers !

³⁰Berthier "Timber in the building of Jean Prouvé, an industrial material", *op. cit.*

³¹ *ibidem*

Pierre Watel³², il n'existe pas traces d'évaluation économique élaborée au fil des prototypes présentés. Bien que leurs développements expérimentaux de technologies innovantes aient été exemplaires, l'inadéquation entre le prix proposé et le segment de marché visé a toujours été à l'origine de leurs échecs.

La communauté *WikiHouse* paye sans doute de ses difficultés techniques et économiques sa fidélité au concept originel issu du design de mobilier. La radicalité constructive et esthétique qui fait sa marque de fabrique a été son meilleur atout à ses débuts. Elle est désormais le principal obstacle à la réalisation de ses buts affichés. Sa simplicité relève en réalité d'une illusion de représentation. Il n'est pas très difficile de dessiner des notices de montage d'une structure à ossature légère traditionnelle aussi faciles à lire que ceux d'un jeu de construction. Jean-Pierre Watel le fit à son époque, certes avec un style graphique aujourd'hui un peu démodé,³³ au regard des dessins en vogue qui s'affichent sur les pages de *WikiHouse*, mais de manière tout aussi didactique. Par ailleurs, le montage d'une construction à ossature bois courante ne nécessite pas d'outillage plus sophistiqué qu'une visseuse-dévisseuse, finalement utilisée pour les derniers prototypes de *WikiHouse*. La lisse de bois massif de 150 x 50mm, disponible en longueur de 5m et ajustée avec une scie à onglets, n'est pas moins universelle que la plaque de contreplaqué découpée sur fraiseuse numérique. Au moins n'est-il pas nécessaire de la rabouter pour franchir des portées architecturales et ses fibres portent toutes dans le bon sens. Aussi le modèle technologique proposé par *WikiHouse*, n'apporte pas de simplification des techniques de constructions courante. Issu de l'ameublement, il est au contraire très compliqué de l'adapter à l'échelle de l'architecture. Le domaine d'application du concept se limite au gros mobilier habitable pour les aménagements intérieurs, à la micro-architecture événementielle ou de loisirs, et c'est déjà beaucoup. En revanche, au terme de ces cinq années d'expérimentation, on ne peut arguer qu'il représente une solution économique pour le logement ordinaire. Même si des gains de productivité peuvent être découverts dans le futur pour rendre la fabrication numérique concurrentielle, il semble que le concept relève avant tout d'une fascination technophile un peu naïve. Pour finir, le contreplaqué et le polystyrène ne

³²Berthier Stéphane, *L'appropriation de la technologie à ossature bois légère : le travail expérimental de Jean-Pierre Watel*, FabricA n°10, 2016, pp. 12-55

³³ *Ibidem* p.16

sont pas les matériaux les plus écologiques qui soient. *WikiHouse* fait l'impasse sur ce sujet pourtant aussi actuel que celui de l'économie du partage.

Du Google Drive à la fondation Wikihouse

WikiHouse présente pourtant une expérience de conception collaborative passionnante que ses fondateurs ont découverte par nécessité, parce qu'il fallait concevoir et organiser un réseau aux ramifications toujours croissantes. Cette généalogie nous a permis d'observer sur une période de 5 ans un mode de conception alternatif qui illustre la force du *crowdsourcing* et la pertinence de la notion de plateforme collaborative sur Internet. Cette expérience nous montre que les réseaux collaboratifs présentent une force de développement et une agilité formidables comparés aux organisations séquentielles que nous connaissons. L'intérêt du dispositif dépasse de loin le concept de jolies constructions *sans clou ni colles ni vis* à partir de contreplaqué découpé sur une fraiseuse numérique. Il constitue un nouveau cadre d'organisation pour la conception et de fabrication, adapté aux *Collaboratives Commons*.

Justyna Swat explique que le lancement du projet sur une plateforme de partage de fichiers de *Google* a mis en évidence plusieurs difficultés, en termes juridiques, avec les questions de propriété intellectuelle et de responsabilité du concepteur, et en termes d'organisation, de vérification et de validation des apports des uns et des autres.³⁴ Que se passerait-il si une construction s'effondrait sur ses occupants ? Comment organiser le contrôle *in fine* de la qualité des fichiers modifiés par les uns et les autres ? Pour ces raisons, le partage des fichiers, très ouvert entre 2012 et 2014, a été fermé par la suite, ne laissant plus à la disposition du public que quelques fichiers sources de base, mais pas des ensembles complets. Ainsi, les prototypes analysés plus haut (à l'exception notable de la *A-Barn*) ne sont plus accessibles autrement qu'à partir de fichiers pdf, de reportages photographiques et vidéos des chantiers.

Très vite, l'organisation minimale d'un *Google Drive* a montré ses limites et a conduit les membres fondateurs à réfléchir à un cadre juridique et organisationnel.

³⁴ Berthier Stéphane, Entretien avec Justyna Swat, ENSA de Versailles, 8 décembre 2015

Le projet en cours organise *WikiHouse* sous la forme d'une fondation qui administre la plateforme d'échange. Cette organisation sera dotée d'une constitution qui fixe dès son préambule un triple objectif : conserver le caractère commun du savoir, offrir le support de son développement et en assurer la promotion. Elle précise les valeurs et les principes de conception, en cohérence avec l'esprit des *Collaborative Commons* et l'exigence d'accessibilité au plus grand nombre.

Ce texte organique énonce que chacun est libre de télécharger, modifier, utiliser et partager les œuvres dans les conditions de licence *Creative Commons* acceptées au préalable. Il impose aussi aux utilisateurs la connaissance de l'ensemble des lois, règles et codes de construction en vigueur dans leur pays.

Le réseau de diffusion, de promotion et de développement de prototypes s'organise dans le cadre de *chapters* locaux fédérés par la fondation. Leurs membres agréent la constitution et organisent la communauté qu'ils rassemblent, mais ces équipes locales ne peuvent pas être des entités commerciales.

La fondation sera financée de trois manières : par des dons, par des partenariats ponctuels lors d'événements qui payeront les prototypes et par les *royalties* que reverseront les utilisateurs qui utiliseront un modèle à des fins commerciales, par exemple dans le cas d'un architecte qui utilise un modèle pour concevoir un projet qu'il vend à des clients dans le cadre de son activité professionnelle. En revanche, l'utilisation de modèles à des fins non commerciales sera gratuite.

Ce projet de constitution décrit les conditions de licence *Creative Commons* CC-BY-SA³⁵ qui autorisent l'usage à des fins personnelles ou commerciales avec obligation d'en citer les auteurs, la modification et le re-partage sous les mêmes conditions de licence. Désormais, la remise en ligne sur la plateforme commune d'une construction WikiHouse modifiée n'est possible que si cette nouvelle version a fait l'objet d'un prototype vérifié et contrôlé. Une manière de s'assurer que les membres de la communauté ne confondent pas la plateforme avec leur propre disque dur, et que le site ne soit pollué par des centaines de brouillons douteux, tels que ceux qui pullulent aujourd'hui sur le *Google Drive*, avec 496 dossiers de projets pour seulement une dizaine de prototypes construits. Si *open source* ne veut pas dire gratuit, *Collaborative Commons* ne veut pas dire auberge espagnole.

³⁵<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Cette organisation, ce réseau qu'elle coordonne sur le web et la démocratisation des outils de CFAO³⁶, ont un potentiel bien plus large que celui de la construction en *open source* de micro-architecture *sans clou ni colle ni vis*. Elle peut assimiler dans son nouveau paradigme collaboratif à peu près tous les modes constructifs. Rien ne s'oppose à ce que les modèles libres de droits disponibles sur la plateforme soient issus des technologies de l'ossature légère, de l'art de la charpenterie japonaise ou des technologies du bois massif empilé par exemple. Les 198 assemblages en bois de l'élégant inventaire de l'architecte Elias Guenoun³⁷ pourraient être ainsi numérisés dans une banque de données accessible à tous.

Considérant le potentiel de conception paramétrique de *MatterMachine*, les modèles disponibles pourraient être aisément modifiés et adaptés en fonction des besoins dès lors qu'un changement de forme entraîne automatiquement une redéfinition des éléments constitutifs et des assemblages. Avec l'aide de logiciels de structure comme *Karamba*, les dimensionnements des éléments peuvent être réajustés en fonction des nouvelles portées. D'autre part, pour autant qu'on ne limite pas l'outil à la seule fraiseuse numérique mais qu'on intègre les robots de taille, alors les composants de la construction ne seraient plus limités au contreplaqué, mais ouverts aux bois massifs, lamellé-collés et contrecollés. De la même manière que *WikiHouse* génère une nomenclature de pièces à découper, la conception selon cette logique générerait la nomenclature des assemblages à tailler.

La CFAO n'est pas nouvelle. Ce qui est nouveau, c'est sa banalisation et l'idée qu'elle puisse être l'outil de plateforme collaborative *open source*. Ce sont aussi les 'modèles souples' paramétriques, partageables, incrémentables et qui intègrent leur conception technique dans un code source ouvert.

Cette idée fait vaciller les métiers sur leurs fondements. Quid de la propriété intellectuelle de l'architecte et de la notion d'œuvre dans ce contexte ? Quid de son utilité si chacun peut modifier des modèles à grande plasticité ? Quid du rôle des bureaux d'études techniques dans une conception paramétrique capable de redéfinir pour chaque morphologie toutes les sections utiles ? Quid de l'entrepreneur dont le

³⁶Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO)

³⁷Guenoun Elias. *198 assemblages du bois, un inventaire*, Ed. Form(e)s, Choisy-le-Roi, 2014

rôle tend de plus en plus vers celui d'assembleur ? Quel est le modèle économique de cette Troisième Révolution Industrielle³⁸ ?

Pour son Projet de Fin d'Etudes lauréat de l'exposition *100 diplômes pour les industries de la création*³⁹, Clément Langelin a agrégé ces questions dans la conception d'un édifice d'un nouveau genre, basé sur le mode constructif *WikiHouse* et pensé comme une plateforme collaborative réunissant la conception et la fabrication de l'architecture sous une même entité. L'architecte y est repensé comme un prestataire de service ayant accès à un catalogue de 'modèles souples' qu'il participe à élaborer au sein d'une communauté. Ces modèles souples peuvent être adaptés aux conditions particulières des différents projets, en fonction des besoins du client, de la topographie, de l'orientation, des vents dominants ou encore du contexte urbain. Dans une logique de conception paramétrique, les modifications morphologiques entraînent de fait les adaptations techniques nécessaires. L'édifice peut alors être « édité » dans l'atelier sur des machines-outils numériques. Cette simulation pose plusieurs questions éthiques. La première est de savoir si cette société des *collaborative commons* est plus conviviale, au sens de Ivan Illich,⁴⁰ que la société industrielle du XX^{ème} siècle ou au contraire plus aliénante. D'une certaine manière, cette organisation permet aux hommes de conserver le contrôle et la responsabilité de leur outil, donc de leurs actes. Néanmoins la volonté de *WikiHouse* d'intégrer la totalité de la complexité technique dans la conception elle-même constitue une appropriation de tous les gestes des artisans sous forme de codes informatiques transmissibles aux machines. L'économie collaborative et la société du partage peuvent-elles commencer par la concentration absolue du savoir entre les mains du seul *designer* fut-il « *everyone* » ? Notons que cet « *everyone* » doit tout de même être doté d'un assez bon niveau d'études pour maîtriser toute la chaîne informatique qui nécessite un certain nombre d'opérations de conversion de formats et de paramétrage d'outils, en même temps que doué de ses mains pour monter lui-même correctement ces objets complexes. Ce « tout le monde » est loin d'être

³⁸ Rifkin, *La troisième révolution industrielle*, op. cit.

³⁹ Langelin Clément, *Projet de Fin d'Etudes*, ENSA de Normandie, sous la direction de S. Berthier, Juillet 2014 lauréat de l'exposition '100 diplômes pour les industries de la création, Centre Pompidou, Paris, Novembre 2014.

⁴⁰ Illich, *La convivialité*, op. cit.

« n’importe qui »⁴¹. Le risque est alors de finir par constituer un modèle aliénant, en contradiction avec les objectifs initiaux, *as closed as Apple, as complex as Linux*.

Le risque de la franchise commerciale

Le projet de constitution de la fondation *WikiHouse* mentionne dans ses dernières pages une organisation dite ‘à définir dans le futur’ (*to be released in future*) qui prend acte de l’épineuse question de la responsabilité professionnelle et envisage un système collaboratif structuré entre cinq entités distinctes.

Le *WikiHouse Lab* développerait le concept, expérimenterait de nouveaux prototypes, vérifierait les incrémentations apportées par la communauté des *WikiHouse designers*, lesquels seraient agréés pour pouvoir développer des modèles et les inscrire au catalogue. Les *WikiHouse Manufacturers* seraient les lieux de fabrication, tels que les *fablabs*, accrédités pour découper les composants de la construction selon les codes de la communauté. Enfin, les *WikiHouse Builders* seraient des entrepreneurs formés et agréés pour monter des édifices en toute sécurité. Justyna Swat⁴² évoque même la création de *WikiHouse Certifications* attribuées par conventions à des bureaux de contrôle missionnés pour réceptionner les édifices.

Cette réflexion traduit en creux les difficultés jamais énoncées que présentent les premières expérimentations en auto-construction. *WikiHouse* doit faire face aux exigences de sécurité de la construction ainsi qu’aux règles de prudence qui la régissent. Mais, en même temps qu’elle apporte des réponses à ces exigences et à ces règles, l’organisation s’éloigne d’une structure *open source* pour se rapprocher de celle d’une franchise commerciale sur le mode *WikiHouse Resellers*, finalement très fermée. Elle déplace ainsi le concept de l’univers des *Collaborative Commons* qui l’a vue naître vers celui de la société de marché, parce qu’il lui offre à la fois un possible modèle économique et un cadre juridique.

Le concept, est à la croisée des chemins entre son entrée dans l’économie de marché après un développement en mode ‘*startup*’, et une poursuite sur les voies hasardeuses de l’économie du partage. Ce qui se joue est un débat éthique sur les moyens et dispositifs par lesquels nous agissons sur le monde et sur les organisations sociales

⁴¹ Justyna Swat reconnaît d’ailleurs que les équipes de montage des derniers prototypes comportaient un charpentier de métier dont la présence était salutaire pour assurer le levage en sécurité.

⁴² Swat J. *Entretien op.cit.*

qu'ils engagent. Il n'est pas certain que la *Troisième Révolution Industrielle*⁴³ offre les garanties d'émancipation que Jeremy Rifkin nous promet si nous ne faisons pas l'effort de ce débat.

--

Toutes illustrations issues du site internet www.wikihouse.cc, sous licence creative commons

⁴³ Rifkin J. *La troisième révolution industrielle*, *op. cit.*



L'art de l'ingénieur à l'ère numérique
Yves Weinand à l'EPFL

Résumé

Depuis 2005, les recherches du laboratoire IBois de l'EPFL, sous la direction d'Yves Weinand, inscrivent résolument la construction en bois dans l'ère numérique. L'exposition itinérante *Timber Project* présentée à partir de 2010 est un jalon essentiel de cette production. Ces travaux explorent la constructibilité des architectures dites paramétriques à partir de modes constructifs innovants inspirés des traditions de la vannerie (structures tressées) et de l'art de l'origami japonais (structures plissées). Inventions morphologiques et inventions techniques semblent y être coalescentes. Ces recherches s'appuient sur une ambition pluridisciplinaire que permet la nature polytechnique de cette université, à la croisée de l'architecture, des mathématiques et de l'informatique. Le projet d'architecture est défini comme un outil d'expérimentation fédérateur des connaissances scientifiques organisées par discipline et le studio d'architecture est affirmé comme un modèle adéquat pour associer les recherches exploratoires (*curiosity driven*) et les recherches appliquées (*oriented problem*). Ces activités portent aussi une ambition théorique en revisitant le concept de *tectonique* issu de la théorie allemande du XIX^{ème} siècle puis redécouvert par Frampton à la fin du XX^{ème} siècle. L'IBois envisage désormais la tectonique comme un art de la fabrication digitale. Cet article analyse le processus de recherche universitaire qui mène des premières explorations du studio d'architecture jusqu'aux thèses de doctorat et leurs prototypes à l'échelle 1. Cette organisation originale réinvente la pratique du projet dans les écoles d'architecture qui n'y est plus pensée comme mime de pratiques professionnelles. Elle renouvelle aussi la recherche universitaire qui tend à se libérer de ses carcans disciplinaires et accepte l'imagination et la créativité comme origine fertile.

La question pourrait être : y-a-t-il encore quelque chose à inventer dans le domaine de la construction bois en ce début de XXIème siècle ?

L'institut du bois (IBois) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, dirigé par Julius Natterer entre 1978 et 2004, a joué un rôle essentiel dans la reconnaissance du bois comme matériau moderne, capable de rivaliser en performance avec le béton armé et l'acier. Il a aussi formé un corps d'ingénieurs spécialistes des structures en bois internationalement reconnu. De nombreuses publications attestent de cet art de l'ingénieur comme *Holzbau Atlas*¹ traduit en français sous le titre *Construire en bois* en 1987, puis régulièrement réédité. Cette période atteste d'un changement de paradigme dans la construction bois, qui depuis les années 1960 a vu les technologies et les savoirs de l'ingénieur remplacer ceux du charpentier². Alors que Julius Natterer, à la fin de sa carrière universitaire redécouvrait – avec Roland Schweitzer³ – le bois massif et ses vertus écologiques, son successeur, Yves Weinand inscrit résolument les recherches de l'IBois dans l'ère numérique. Architecte-ingénieur de nationalité belge, docteur *es sciences* de l'université d'Aix-la-Chapelle, il explore de nouveaux registres morphologiques grâce aux outils de CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) et aux progrès réalisés dans le domaine des panneaux de bois industriels tels que les LVL (*Laminated Veneer Lumber*) et CLT

¹ Natterer *Holzbau Atlas op. cit.*

² Berthier « *De l'art du charpentier à l'art de l'ingénieur* » *op. cit.*

³ Berthier *Entretien avec Roland Schweitzer op. cit.*

(*Cross Laminated Timber*). Sa double formation lui a donné la possibilité de faire travailler de concert les étudiants du département d'architecture et ceux du département de génie civil à la recherche -d'abord- de ce que l'on pouvait encore inventer en la matière. Le point de départ de la reconnaissance de son travail est l'exposition *Timber Project*⁴, présentée à l'EPFL en 2010 avant d'entamer une tournée internationale. Cette exposition montre de nombreuses maquettes, parfois à grande échelle, qui explorent le potentiel esthétique et technique des structures tressées, tissées, ou pliées à la manière des origamis japonais. La quasi-totalité de ces modèles renonce aux configurations classiques hiérarchisant les éléments selon une logique porté-porteur et s'inscrit dans la tradition des structures spatiales. Ces objets génèrent une esthétique de motifs ou « *patterns* » qui renouvellent la perception de la construction bois dans une actualité architecturale séduisante.

La seconde moitié du XX^{ème} siècle a fait du bois un matériau moderne essentiellement par transfert des connaissances acquises dans le domaine des charpentes métalliques. Tous les assemblages des grandes structures héroïques de cette époque sont d'ailleurs réalisés en acier, palliant ainsi la principale difficulté de la construction en bois traditionnelle. Ces nouvelles formes d'architecture semblent au contraire rechercher une expression architectonique propre au matériau, usant de son élasticité, de sa légèreté comme de sa facilité à se laisser travailler. L'invention morphologique et l'invention technique y sont apparemment coalescentes. Le projet d'architecture semble y être un lieu d'expérimentation plutôt qu'un domaine d'application à posteriori. Afin d'étudier au plus près ces hypothèses nous observerons en détail les objets de cette exposition, les recherches qu'ils ont engagées au sein de l'IBois sous forme de doctorats, jusqu'aux deux réalisations qui concrétisent cette démarche, avec la chapelle Saint Loup en 2008 et le pavillon de Mendrisio en 2013. Nous tenterons de dégager de ce travail qui s'étend sur une décennie les différentes phases qui mènent de la recherche exploratoire à la recherche appliquée et la place qu'y prend la conception architecturale comme outil de recherche. Nous essayerons aussi d'évaluer l'apport de ce travail à l'innovation constructive et architecturale dans la filière bois.

⁴ Weinand *Timber Project*, *op. cit.*

Une ambition pédagogique

Dans un court texte intitulé « the architecture studio as a model ? »⁵ Yves Weinand énonce son ambition d'organiser son studio d'architecture à l'EPFL comme un lieu de recherche hybride pour favoriser des interactions fertiles entre les différentes disciplines concernées par l'architecture.

Toutefois ce texte demeure incantatoire dans la mesure où il ne propose pas de méthode ni d'organisation particulière pour parvenir à ses fins, sinon que le studio de projet réunira des étudiants de génie civil et d'architecture. En l'absence de propositions pédagogiques précises, cette revendication n'offre pas de perspectives nouvelles à un sujet déjà largement débattu auparavant, au point de devenir parfois un poncif au même titre que « les collaborations architectes-ingénieurs » ou la « recherche par le projet ». On soulignera tout de même l'ambition de réunir les approches de la recherche exploratoire (*curiosity-driven*) et de la recherche appliquée (*oriented-problem*) au sein d'un même studio.

Le catalogue de l'exposition *Timber Project*⁶ synthétise 7 semestres de travaux d'étudiants de 2006 à 2009. La première année, très collaborative, réunissait des étudiants d'architecture, de design industriel et de génie civil autour d'un exercice de projet baptisé *raw like sushi* dont l'objet portait sur la conception d'un marché aux poissons à Tokyo. Les projets de cet atelier sont élégants mais restent malgré tout assez convenus. A lire les textes de présentation de cet atelier, nous comprenons que les échanges interdisciplinaires n'ont pas apportés d'innovation notable au processus de projet et se sont même avérés plutôt déstabilisants⁷ pour les étudiants. Les échanges entre disciplines se sont d'ailleurs affaiblis les deux années suivantes pour ne plus concerner que les étudiants d'architecture et quelques futurs ingénieurs qui sont intervenus sur les projets de manière épisodique. Les ambitions de pluridisciplinarité ont donc été revues à la baisse pour s'orienter vers une pédagogie plus classique. Cependant, ce sont ces cinq derniers semestres d'expérimentation qui comportent les aspects les plus intéressants de l'exposition et qui serviront de catalyseurs aux recherches de l'IBois par la suite, de manière plus dissociée entre

⁵ <http://ibois.epfl.ch/page-18293-en.html> page consultée le 9 juillet 2016

⁶ Weinand, *Timber project Op. cit.*

⁷ Berthier, Entretien avec Y. Weinand, *Op. cit.*

d'une part la recherche exploratoire morphologique menée par les étudiants en architecture et d'autre part le développement scientifique dans le cadre de travaux de doctorats. Une nouvelle preuve que même dans les universités prestigieuses, la pluridisciplinarité ne se décrète pas simplement en invitant les gens à s'asseoir autour de la même table mais qu'elle se construit sans doute dans un processus plus long et plus complexe.

Les deux semestres de l'année universitaire 2007-2008 ont été consacrés à l'expérimentation des structures tressées en bois. Après un premier temps de rencontre avec les techniques de fabrication textile (tissage, tressage, tricot), les étudiants ont été amenés à envisager ces dispositifs à l'échelle d'un édifice et d'en réaliser la maquette partielle à grande échelle. Le projet *Tress Arc* (fig. 1) est ainsi constitué d'un arc tressé de quatre panneaux de bois contrecollé 3 plis de 20m de portée pour 5m de flèche, réalisé en maquette à l'échelle 1/3.



Fig. 1 Tress Arc

Ce module peut se répéter n fois pour donner sa longueur à l'édifice. Une enveloppe en polycarbonate fixée sur des montants en aluminium vient assurer l'étanchéité. Les vides du tressage apportent un éclairage naturel rythmé par le pas des panneaux. Ce mode constructif utilise l'élasticité des panneaux dans leur axe longitudinal pour former la courbure de l'arc et dans leur axe transversal pour former le tressage. Cette exploitation de l'élasticité des panneaux contrecollés rappelle bien entendu le travail

que mena Jean Prouvé avec les panneaux Rousseau⁸ même si le nancéen s'était abstenu de les courber sur leur axe transversal.

Le projet *Continuity Tridimensionality* (figs 2,3) est une structure spatiale qui évoque un entrelacement de rubans de Moebius. Elle est faite d'une nappe tressée de quatre boucles de trois lames de contreplaqué chacune, se croisant en un motif carré au sommet. Si la courbure du volume permet une rigidité satisfaisante à petite échelle, la maquette définitive d'environ 3 mètres de haut ne résiste pas au changement d'échelle. Les photographies de l'exposition laissent apparaître les tuteurs qui la supportent, rappelant aux architectes comme aux ingénieurs que le rapport entre résistance et taille n'est pas linéaire et que les motifs de la vannerie sont toujours liés à leur échelle.



Figs 2, 3 Continuity Tridimensionality

D'autres projets comme la *tour à facettes* (fig. 4) sont des tressages seulement figuratifs, qui n'exploitent pas l'élasticité du bois. Il s'agit d'une tour constituée d'un module d'étage fait de deux anneaux de panneaux de bois qui passent alternativement l'un à l'intérieur de l'autre à 8 reprises pour créer un motif octogonal. Cette démarche consiste à définir des formes ou des surfaces complexes à partir d'un unique élément simple répété selon une logique algorithmique. Elle est caractéristique des architectures paramétriques contemporaines que l'on retrouvera souvent dans les semestres suivants.

⁸ Berthier, "Timber in the buildings of Jean Prouvé, an industrial material" *op. cit*

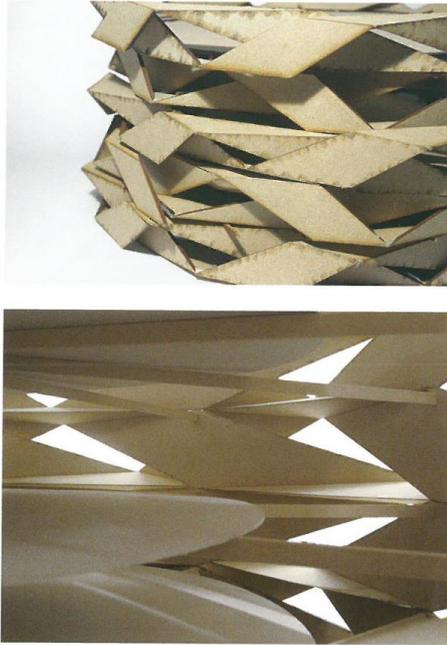
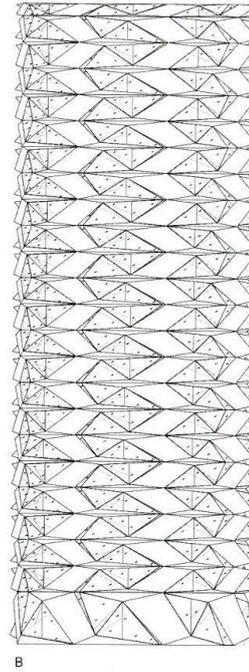


Fig 4 La Tour à facettes



Les deux semestres de l'année 2008-2009 ont pour thème la discrétisation des surfaces complexes. A partir de surfaces quelconques qui ne présentent pas de régularité géométrique les étudiants doivent trouver les moyens de discrétiser la forme, c'est-à-dire de la décomposer en petits éléments, par exemple par triangulation afin d'en déduire un modèle constructible fait d'éléments simples. *V Panel Structure* (fig.5) présente un demi-hyperboloïde découpé en tranche d'environ 1m perpendiculairement à l'axe du volume. Ces tranches alternent des arcs pentagonaux et hexagonaux, dont le profil forme un V par la liaison de deux panneaux.



Fig. 5 V Panel Structure

Ce pli améliore l'inertie du module qui peut alors être réalisé avec des panneaux de faible épaisseur. Ces éléments sont ensuite assemblés à pas décalés de telle sorte que les arêtes des arcs hexagonaux coïncident avec le milieu des faces des arcs pentagonaux. Ce décalage permet d'imaginer la liaison entre les modules par une simple encoche. Il résulte de ce motif constructif une surface texturée au plus proche de l'hyperboloïde, sur laquelle les décalages entre modules offrent une prise de lumière naturelle.

Un principe similaire anime *Discrete Architectural Geometry* (fig. 6) qui se présente sous la forme d'un dôme irrégulier décomposé en tranches d'inégales largeurs. Chacune est un arc plus ou moins large, composé d'une série de panneaux de bois contrecollé pliés dans le sens transversal du module. Encore une fois, les arcs successifs sont juxtaposés à pas décalés de telle sorte que chaque pli supérieur d'un élément coïncide avec le pli inférieur du suivant. A la rencontre de deux modules, une série de losanges vides forment des sheds.

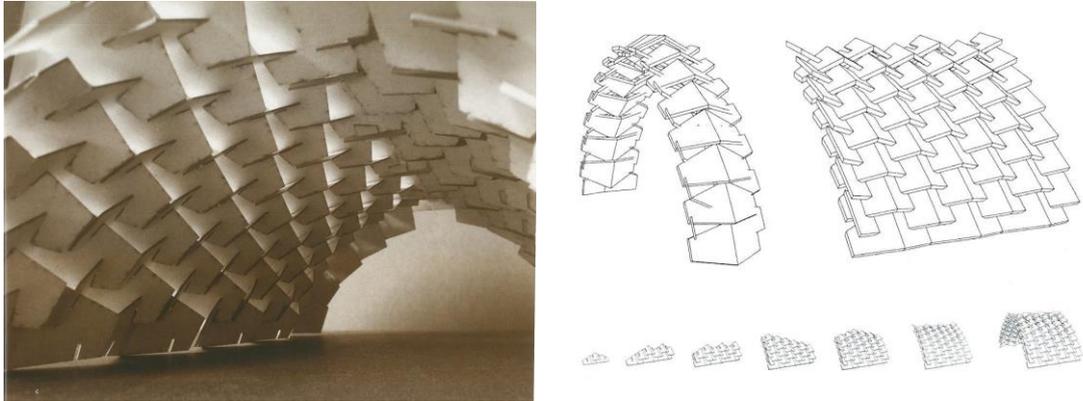
Ici chaque module pris indépendamment est instable, puisque les plis ne s'opposent pas aux efforts. C'est l'alternance des pas d'un module à l'autre qui assure la rigidité dans un système de réciprocité structurelle, du moins à l'échelle de la maquette.



Fig. 6 Discrete Architectural Geometry

De manière assez similaire, un autre projet présente une voûte décomposée en petits éléments pliés qui s'enclenchent l'un dans l'autre, tête bêche, pour constituer les 15 claveaux d'un arc (figs 7, 8). Ces claveaux s'assemblent aussi avec leurs voisins de droite et de gauche pour constituer une surface homogène décrivant une voûte simple à partir de deux petits éléments symétriques dont seul l'angle des encoches varie

selon la position du claveau dans l'espace. A nouveau l'espace vide entre les deux éléments de chaque claveau forme une prise de lumière naturelle et offre une texture séduisante.



Figs 7, 8 Voute en claveaux assemblés

On citera pour terminer le projet *Building Fabric Look Out Tower* (figs 9,10) qui réinterprète l'étonnant schéma statique de trois barres entrecroisées qui ne reposent que sur trois appuis au sol. Il est adapté ici à un motif hexagonal constitué de 12 barres en appuis successifs les unes sur les autres. Ce module constitutif d'un « étage » est ensuite empilé n fois avec une rotation à chaque couche, pour brouiller la lecture. La tour présente ainsi une esthétique de nid d'oiseau, à la texture dense et aléatoire à partir d'un unique élément de base.



Figs 9, 10 Building fabric Look Out Tower

Le propos initial de pluridisciplinarité n'est pas le caractère le plus évident des travaux présentés dans cette exposition. En revanche la question de la géométrie et de la discrétisation des formes complexes domine cette production de « sculptures-structures » spectaculaires, esthétiquement innovantes, assez loin du projet d'architecture conventionnel. En effet, les questions de contexte ou de programme sont très secondaires et ne semblent pas avoir d'autre but que de donner une échelle à ces objets. Tribune de stade ou abribus, c'est selon la taille du personnage ajouté à la maquette.

D'une manière générale les projets tentent de discrétiser des formes complexes par des éléments simples pour en rendre crédible la constructibilité. Enfin, à l'exception de la *Look Out Tower* dont les barres enchevêtrées pourraient être en bois massif, tous les projets exploitent le potentiel des panneaux de bois industriels, des contreplaqués aux contrecollés. Les structures pliées bénéficient du potentiel de CFAO pour décrire les découpes géométriques complexes et les réaliser sur des machines numériques à 5 axes (x, y, z, plus deux supplémentaires imitant les axes d'un poignet humain sur la tête porteuse de l'outil afin de réaliser des coupes d'onglets ou des percements de biais dans l'épaisseur des panneaux.)

Une ambition théorique

Dans un article de 2012, Hani Buri et Yves Weinand exposent de manière assez claire leurs ambitions théoriques. Le titre « The tectonics of timber architecture in the digital age »⁹ fait référence à la notion de tectonique, forgée à partir de la racine grecque *tekton* (étymologiquement le charpentier). Elle est un héritage de la théorie de l'architecture germanique développée au XIX^{ème} siècle notamment par Gottfried Semper¹⁰ dont la quête était celle d'une ontologie de l'architecture qui ne chercherait plus en dehors d'elle-même ses motifs d'expression. Ce concept de tectonique a permis à l'historien et théoricien Kenneth Frampton de renouveler la lecture de l'architecture moderne, trop souvent analysée sous le seul angle de sa spatialité.¹¹ Selon Frampton, la tectonique n'est pas qu'une simple affirmation de la technique de

⁹ Buri, Weinand *op. cit.*

¹⁰ Semper *op. cit.*

¹¹ Frampton *op. cit.*

construction, elle ne saurait se limiter à l'expression d'une « vérité constructive » souvent pauvre et muette ; c'est un art de la fabrication, qui exploite le potentiel d'expression poétique, tactile et sensoriel de la matière, des outils et des métiers de sa mise en œuvre.

L'article de Buri et Weinand revient sur la difficile constructibilité de la *blob* architecture produite durant les premières années de la diffusion des outils numériques 3D. L'échelle de ces formes continues se heurtait aux dimensions des éléments de construction. Cette difficulté conduisait souvent à réaliser des édifices aux facettes grossières, loin de la fluidité quasi organique du modèle numérique. Une autre solution consiste à découper en tranches fines le modèle pour pouvoir le réaliser. De nombreuses œuvres d'architecture paramétriques, comme le pavillon Chanel de Zaha Hadid ou la fondation Seydoux-Pathé de Renzo Piano sont construites sur ce principe de 'saucissonnage' jugé intellectuellement insatisfaisant par les auteurs. Ils précisent que leur travail porte sur la recherche d'une discrétisation algorithmique de ces surfaces complexes pour pouvoir les réaliser finement partir de petits éléments répétitifs dont l'assemblage formerait des structures spatiales. Ces dernières présentent selon eux un état d'équilibre ou d'adéquation intelligent entre forme, schéma statique et mode constructif. Nous comprenons que l'enjeu est d'inventer de nouveaux modes constructifs adaptés aux formes complexes de l'architecture paramétrique comme alternative aux expédients habituellement employés.

Selon Buri et Weinand, les logiciels contemporains facilitent la manipulation des géométries les plus complexes, grâce à leur maîtrise des courbes de Bezier, des splines et des surfaces NURBS (*Non Uniform Rational B-Spline*), jusqu'alors étrangères à la géométrie descriptive. Le caractère paramétrique des modèles de conception ne fige plus les formes mais déterminent ce qu'ils nomment un *génotype*, c'est à dire un intervalle de possibilités à l'intérieur duquel un type de forme et un mode constructif sont cohérents et d'où il sera possible d'extraire de nombreuses formes individuelles qu'ils nomment les *phénotypes*, comme autant d'arrêts sur image'. Les robots de taille à commande numérique permettent ensuite de réaliser les découpes les plus sophistiquées à partir des nomenclatures de pièces extraites du logiciel de conception. Ils voient dans ces outils la possibilité d'inventer un nouvel

âge de la tectonique des structures en bois, après l'âge de l'artisanat et celui de l'industrialisation. Conscients que le travail nécessaire pour mettre au point un modèle paramétrique est immense et se justifie difficilement en terme économique, ils proposent de voir dans le *génotype* un *modèle souple*, paramétré une fois pour toute, et dont l'intervalle de validité pourrait couvrir différents types de besoins, s'adapter à des programmes ou à des contextes variés. Les auteurs énoncent l'élaboration de cette tectonique de l'âge numérique (*digital age*) comme l'objectif prioritaire des recherches de l'IBois. Dans la foulée, les expérimentations sur les structures tissées, tressées et pliées sont présentées comme les nouvelles pistes qui exploitent au mieux les caractéristiques mécaniques du bois pour réaliser ces structures spatiales. Les deux premières exploitent l'élasticité inégale du matériau tandis que la troisième tire parti des panneaux de bois très résistants et que l'industrie sait désormais produire dans des dimensions architecturales.

La recherche à l'IBois

Les recherches exploratoires, menées au sein du studio d'architecture durant les 7 semestres présentés ci-dessus se combinent et/ou se poursuivent scientifiquement au sein du laboratoire de l'IBois, avec plusieurs thèses en cours ou soutenues. Les sujets des thèses portent autant sur le développement de ces modes constructifs innovants, leurs caractérisations mécaniques, que sur la mise au point des outils numériques nécessaires à leur conception et à leur réalisation. En 2009, Ivo Stotz, architecte EPFL a soutenu *Iterative geometric design for architecture*¹², suivi en 2010 par Gilles Couaty ingénieur informaticien INSA avec une recherche de doctorat intitulée *Modélisation géométrique itérative sous contrainte*¹³. Ces deux recherches construisent une méthode numérique de discrétisation itérative des surfaces complexes en s'inspirant du mode de génération des géométries fractales (*figs 11, 12*). Leur but est de développer des solutions techniques pour le dessin et la production de projet architecturaux complexes se basant sur des géométries non-euclidiennes. Les deux thèses présentent une série de prototypes réalisées en bois, à grande échelle, au sein du laboratoire (*fig. 13*).

¹² <http://ibois.epfl.ch/page-20496-en.html> pages consultées le 9 juillet 2016

¹³ *ibidem*

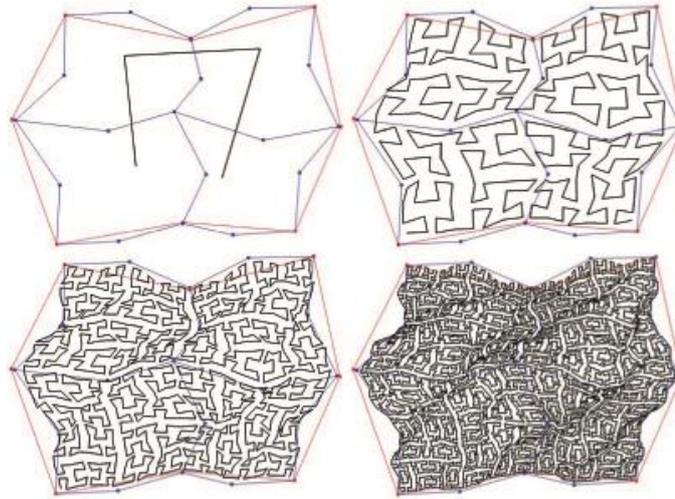


Fig. 11 Etudes géométries fractales

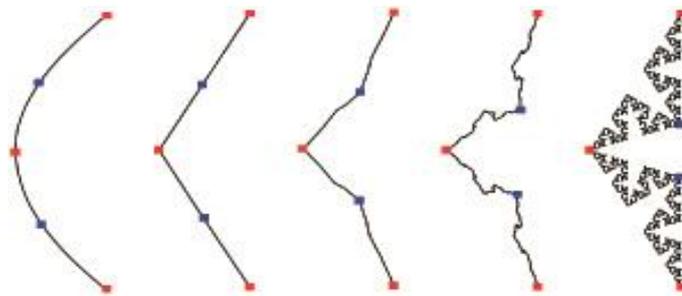


Fig. 12 Etudes géométries fractales

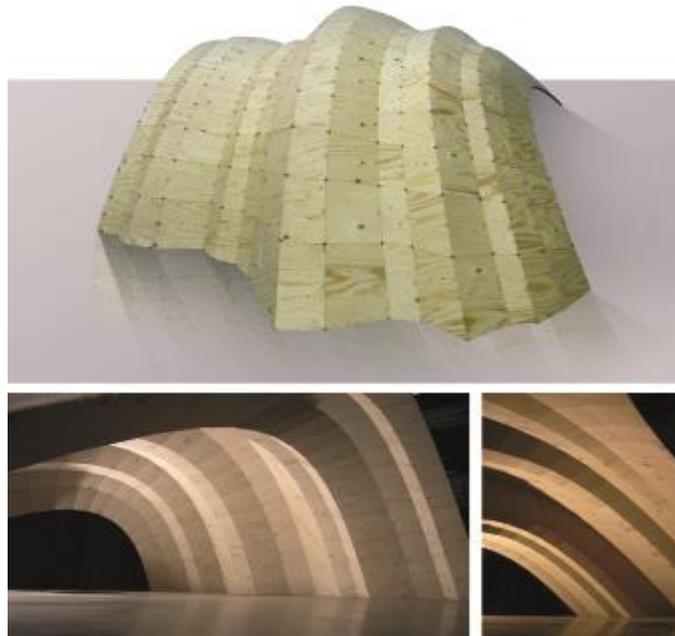


Fig. 13 Prototypat réalisé dans le cadre des travaux de doctorat

Elles illustrent aussi l'intérêt de la réunion des compétences des départements d'architecture, de mathématiques, d'informatique et d'ingénierie civile.

Hani Buri Architecte EPFL a soutenu en 2010 sa thèse *Origami- Folded plate structures*¹⁴ qui porte sur la mise au point de méthodes de modélisation numérique de structure plissées en vue de leur réalisation en panneaux de bois (*fig. 14*). Elle constitue une analyse architecturale, structurelle et mathématique des structures plissées. Ce travail est complété en 2015 par la thèse de Christopher Robeller architecte britannique, auteur de *Integral mechanical attachment for timber folded plate structures*¹⁵ qui élabore des assemblages bois-bois par découpe des bordures des panneaux, à la manière des assemblages à queue d'aronde des menuisiers pour éviter le recours à des connecteurs métalliques rapportés (*fig. 15*). Ces assemblages sont étudiés en termes de géométrie, de mécanique et d'usinage sur CNC. A nouveau une série de prototypes réalisée au laboratoire de l'IBois vient appuyer la démonstration, dont d'intéressants essais sur les assemblages par clips, issus de la plasturgie et transférés vers la construction bois. Ces systèmes offrent notamment la possibilité d'assembler des structures plissées à double épaisseur (*fig. 16*) grâce à des entretoises qui relient les membrures inférieure et supérieure par un simple clipsage.

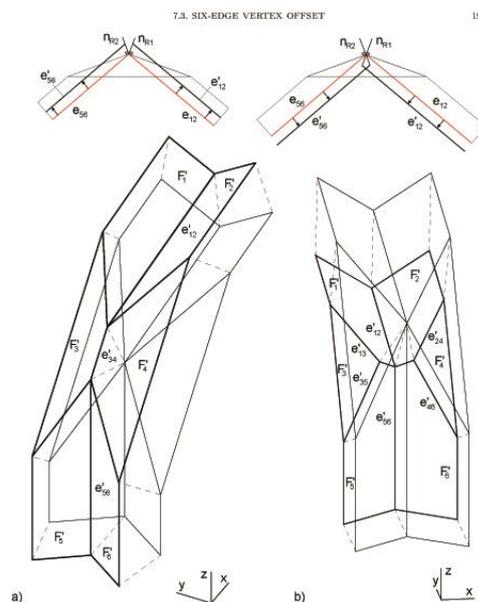


Fig. 16 Epure géométrique des panneaux de structure plissée à double épaisseur

¹⁴ *ibidem*

¹⁵ *ibidem*



Fig. 14 Essais mécaniques sur une structure plissée



Fig. 15 Assemblages à queue d'aronde

Les structures textiles font elles aussi l'objet de recherches approfondies (figs 17, 18). Markus Hudert architecte EPFL a soutenu en 2013 *Timberfabric: Applying Textile Assembly Principles for Wood Construction in Architecture*¹⁶. Ce doctorat étudie les conditions de transfert des assemblages textiles sur les panneaux de bois minces ainsi que les différents types de canevas tridimensionnels adaptés à l'élasticité des panneaux de bois minces. Sina Nabaei en a ensuite étudié les caractéristiques mécaniques dans sa thèse *Mechanical form-finding of timber fabric structures*¹⁷ en 2015. Cette recherche visait à mettre au point un modèleur numérique de détermination morphologique (*form-finding*) des structures tissées qui intègre les caractéristiques élastiques des panneaux.

Ces travaux de doctorat capitalisent les connaissances élaborées au sein du laboratoire depuis une dizaine d'années et permettent aux explorations architecturales initiales de s'appuyer désormais sur des bases scientifiques. Néanmoins, ces recherches n'ont pas encore trouvé de débouchés industriels satisfaisants au sein de la filière bois, malgré deux démonstrateurs très médiatisés, la chapelle St Loup et le pavillon de Mendrisio.

La chapelle St Loup

La chapelle St Loup a été construite à Pompaples dans le Jura Suisse en 2008 par le bureau d'étude SHEL fondé par Yves Weinand et Hani Buri, en partenariat avec l'agence d'architecture Local Architecture, à l'aide des outils et méthodes élaborées à l'IBOIS. Il s'agit d'une petite structure plissée irrégulière dont le développé s'inscrit dans un plan rectangulaire. Poursuivant la référence aux origamis, les deux cours de plis perpendiculaires permettent de décrire une nef intéressante, plutôt basse et large au niveau de l'entrée des fidèles et étroite et haut à l'autre extrémité, où est installé l'autel. Cette particularité est la conséquence directe d'un développé rectangulaire : plus les élévations sont hautes, plus le toit est étroit et vice-versa. Les plis irréguliers rythment l'espace architectural et sa lumière naturelle, tout en définissant sa structure et son enveloppe.

¹⁶ *ibidem*

¹⁷ *ibidem*



Fig. 16 Prototype de structure tressée



Fig. 17 Essais mécanique sur une structure tressée

Cette construction est réalisée en panneaux de CLT, de 40mm d'épaisseur pour les murs et 60mm pour la toiture qui présente une portée maximale de 9m. Son modèle informatique unique a servi à la génération de la forme, à son dimensionnement structurel et à la conception des assemblages. Puis il a été traduit en code d'usinage (G-code) pour la découpe sur une machine à commande numérique. Les différents panneaux constituant chacune des faces de cette structure plissée sont réalisés en panneau de bois contrecollés, assemblés à coupe d'onglet selon les différents angles déterminés par les pliages (*figs 18, 19*). Toutefois les assemblages sont encore assurés par de fines platines métalliques continues, sur toute la longueur des plis, sur la face extérieure du volume. Les panneaux de bois contrecollés ne se suffisent pas à eux-mêmes pour former l'enveloppe étanche d'un édifice. Ils sont donc recouverts d'une membrane plastique sur laquelle une surtoiture de panneaux de 18mm d'épaisseur redouble le volume structurel à l'identique (*fig. 20*).

D'un point de vue strictement technologique ces structures plissées en panneaux de bois contrecollés furent déjà éprouvées dans les années 1960 par Robert Lourdin, avec les projets de l'école maternelle de Gonesse (1960) ou l'église de Rennes (1968) dans le cadre de ses recherches sur les structures spatiales en bois.¹⁸ Les recherches de l'IBois poursuivent l'exploration de leurs propriétés architectoniques grâce aux outils numériques de CFAO qui facilitent désormais la construction de formes géométriques irrégulières.

Le pavillon de Mendrisio

En 2013, l'IBois présente un nouvel édifice démonstrateur sous la forme d'un pavillon exposé à l'école d'architecture de Mendrisio.¹⁹ Cette construction est intimement liée à la recherche de doctorat de C. Robeller. Après Hani Buri qui développait des structures pliées générées par des polygones brisés, ce prototype explore les propriétés architecturales et techniques de structures plissées d'éléments courbes s'assemblant sur leurs arêtes cintrées grâce à des découpes à queue d'aronde minutieusement adaptées à la complexité géométrique de la situation.

¹⁸ Lourdin R. *Structures spatiales en bois, op. cit.*

¹⁹ Savoyat M. « De la forme à la structure ou vice-versa ? » in *Tracés n°12* juillet 2014 pp. 16-19



Fig. 18 Montage de la structure plissée



Fig. 19 Edifice « Origami »



Fig. 20 Enveloppe d'étanchéité sous bardage

Le pavillon de Mendrisio est un simple portique de 13,5m de portée par 4m de largeur pour 3m de hauteur utile (*fig. 21*). Les panneaux de bois contrecollé de 77mm qui le composent présentent tous le même rayon de courbure pour des questions d'économie de réalisation à partir d'un moule unique. Le toit de ce portique est réalisé en trois parties : les deux panneaux courbes d'extrémités, convexes, s'assemblent avec le panneau central, concave. Les deux pignons présentent une courbure concave qui assure la stabilité de l'édifice dans toutes les directions. La double courbure inversée de la toiture offre une rigidité maximale au regard de sa flèche de quelques dizaines de cm seulement, avec un rapport portée/épaisseur d'1/170^{ème}.

Les panneaux de bois contrecollés ont été réalisés par l'entreprise allemande Merk (*fig. 22*). 5 lits croisés de planches de 15,4mm ont été collés successivement puis pressés pour former ces panneaux de 77mm d'épaisseur. Le croisement des fibres du bois a garanti une excellente stabilité de la courbure après pression, sans élasticité résiduelle.

Ces panneaux courbes ont ensuite été découpés et usinés sur un centre de taille à commande numérique pour réaliser des découpes des liaisons à queue d'aronde (*fig. 23*). De la sorte, l'assemblage n'est plus un tiers élément qui unit les deux premiers mais une singularité de la découpe de chaque panneau. Il offre la possibilité architecturale de lignes élégantes évoquant l'esthétique de la menuiserie. Ces assemblages « intégraux » offrent aussi de bonnes caractéristiques mécaniques en répartissant les efforts sur toute la longueur de l'arête tandis que les éléments métalliques ont tendance à concentrer les efforts sur des points particuliers très sollicités. D'autre part, les équerres métalliques utilisées lors de la construction de la chapelle St Loup étaient inadaptées à une configuration de lignes d'arêtes courbes.

D'un point de vue théorique, la modélisation géométrique de cet édifice se présente comme un modèle souple, paramétrable qui autorise les variations dimensionnelles et de courbures des éléments, dans un certain intervalle de validité. L'objet physique dont il est tiré peut être interprété selon les termes d'Antoine Picon comme : « un arrêt sur image obtenu en figeant une géométrie mouvante »²⁰.

²⁰ Picon, A. *Culture numérique et architecture, une introduction* Birkauser, Bâle, 2010, page 75.



Fig. 21 Pavillon de Mendrisio



Fig. 22 Fabrication du pavillon par l'entreprise Merck

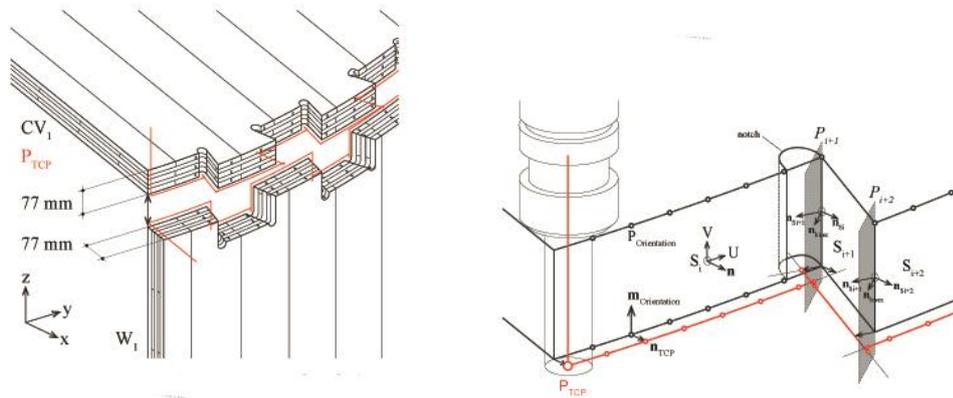


Fig.23 Assemblage à queue d'aronde et usinage

Conclusion

La première conclusion que l'on peut tirer de cette analyse est que le travail de l'IBois porte désormais sur la performance morphologique plutôt que dimensionnelle. Il recherche les moyens de construire les formes non standards que permettent les outils numériques contemporains. La facilité d'usinage du bois en fait un matériau très adapté à type d'exercice, plus que l'acier ou le béton armé. Il porte aussi sur la recherche d'assemblages qui ne nécessitent plus de connecteurs métalliques mais réinterprètent grâce aux outils numériques (et aux colles modernes) les assemblages traditionnels de la menuiserie et de la charpenterie.

L'ingénierie du bois ne semble plus en quête de performances dimensionnelles pour rivaliser avec les matériaux concurrents ; les structures de grande portée ou de grande hauteur sont désormais réalisables en bois et les principaux verrous qui demeurent sont plus d'ordre réglementaire ou économique que technologique.

Le bois qui était devenu un *outsider* de l'ingénierie de la construction dans la seconde moitié du XXème siècle est peut-être en train de devenir le matériau phare de l'architecture paramétrique. L'ingénierie du bois ne se contente plus désormais d'imiter ses aînées mais recherche une technologie propre au matériau, tirant parti de ses propriétés mécaniques singulières et de sa facilité d'usinage. Les publications de l'IBois ne manquent pas non plus de rappeler ses vertus écologiques, même si son utilisation exclusive sous ses formes transformées et collées limite la portée de l'argument.

Toutefois ces recherches ne produisent que très peu de réalisations si on les compare à celles menées par exemple par Robert Lourdin entre 1960 et 1969. En moins d'une dizaine d'année, ce précurseur des structures spatiales en bois, disciple de Robert Le Ricolais réalisa une dizaine d'édifices de grande échelle tels que des églises, écoles ou équipements sportifs constructivement très innovants, sans pour autant bénéficier d'un centre de recherche universitaire. Certes nous ne sommes plus dans la période des Trente Glorieuses et les commandes se font plus rares, néanmoins les applications se font cruellement attendre.

Yves Weinand nous confie qu'il est encore difficile d'obtenir des offres de prix raisonnables de la part des entreprises par la faute, selon lui, d'un manque de

confiance dans la maîtrise constructive de la complexité géométrique.²¹ Il est clair que ces formes complexes exigent des études très poussées avant de pouvoir s'assurer de leur constructibilité sans courir le risque de mauvaises surprises sur le chantier. L'économie théorique des connecteurs métalliques remplacés par des usinages spécifiques des panneaux ou des barres ne semble pas encore rentable. De même l'investissement dans des études détaillées pour la mise au point paramétrique d'un « modèle souple » ne peut s'amortir que sur une série de réalisations. L'idée selon laquelle les outils numériques permettraient de diminuer le coût marginal toujours plus tôt dans la série est contrebalancée par la lourdeur accrue de la phase d'étude et de préparation, avec la multiplication des spécialistes tels que les architectes, géomètres, informaticiens, ingénieurs entre lesquels les organisations collaboratives restent à inventer. Cette phase d'étude tend d'autre part à absorber toute l'intelligence et la capacité d'invention dans le modèle numérique réduisant l'acte de construction à un montage sans histoire, peut-être au mépris des savoir-faire des charpentiers comme le souligne justement Jacques Anglade²². Il est certainement important d'en mesurer les incidences sur l'organisation du travail et ses conséquences sociales. Aucune évolution technologique ne saurait faire l'impasse d'une réflexion éthique et c'est sans doute un des rôles de l'architecture que de cristalliser ces interrogations. Dans une certaine mesure il est possible de rapprocher ces difficultés de celles que rencontre le projet *WikiHouse*²³ dont l'apparente simplicité de construction obtenue grâce aux outils numériques est annulée par la complexe maîtrise de ces derniers. De même le recours systématique à des bois transformés onéreux pour des échelles qui ne le justifient pas vraiment annule les économies escomptées sur le montage de ces structures. D'une manière générale, la fascination pour les outils informatiques semble pousser ceux qui en possèdent la maîtrise rare et précieuse à générer une complexité technophile qui justifie leurs compétences, mais dont le bénéfice par rapport aux modes constructifs conventionnels n'est pas encore démontré. La seconde conclusion porte sur la place de l'architecture dans la recherche universitaire. A défaut d'être parvenu à instaurer un studio d'architecture comme une

²¹ Berthier, Entretien avec Yves Weinand, *op. cit.*

²² Berthier Stéphane, « Les charpentes de Jacques Anglade, une contre-culture constructive », *Criticat n°17*, Mars 2016

²³ Berthier Stéphane, « WikiHouse, la troisième révolution industrielle à l'épreuve du réel », *Criticat n°18*, Octobre 2016

abbaye de Thélème réunissant mathématiciens, informaticiens, ingénieurs et architectes, ces recherches n'en demeurent pas moins une intéressante expérience de la pluridisciplinarité qu'il est possible de relever *a posteriori*.

D'une certaine manière le studio d'architecture en cycle Master fonctionne comme un lieu de recherche exploratoire (*curiosity-driven*) ou la création architecturale sert de catalyseur en formulant des hypothèses-tests sur des modes constructifs originaux et leurs formes architecturales potentielles. Cette démarche s'appuie sur ce que Donald Schön nomme les métaphores génératives.²⁴ Elle procède par analogie à des phénomènes observés dans d'autres domaines et à d'autres échelles, ici les origamis et la vannerie, et teste les conditions de leur transfert dans le domaine de l'architecture. La question clé de la recherche exploratoire selon Donald Schon est *what if?* Que se passe-t-il si ? Les réponses à cette question sont autant d'hypothèses révélées que la recherche appliquée visera à vérifier.

En parallèle, les programmes de recherches appliquées (*oriented-problem*) sur les structures tressées ou plissées caractérisent scientifiquement les modes constructifs de ces architectures au travers d'éléments de théorie et de prototypes destinés à en vérifier la validité. La recherche appliquée se distingue de la recherche fondamentale en ce qu'elle a d'abord pour objectif de résoudre un problème pratique plutôt que de constituer de nouvelles connaissances théoriques. En retour c'est à nouveau la création architecturale qui est sollicitée pour concevoir les démonstrateurs de ces connaissances acquises et capitalisée sous forme de thèses.

La question de la pluridisciplinarité se situe sans doute à l'échelle du modèle de l'université polytechnique plutôt qu'à l'échelle du studio de projet. Ce modèle favorise les rapprochements *ad hoc* entre les disciplines, au gré des besoins de la recherche au lieu de les décréter institutionnellement. Notons que certains des assistants du studio d'architecture sont aussi les doctorants de l'IBois et que c'est probablement par leurs recherches que la pluridisciplinarité s'exprime dans le studio. Nous constatons aussi, de manière assez désinhibante, que plus de la moitié des thèses sont soutenues par des architectes. Leur contenu est pourtant exigeant en

²⁴ Schön *op. cit.*

termes techniques et mathématiques, même s'il est vrai que la géométrie, plus proche de la culture architecturale, y prime sur l'analyse.

Cela doit nous interroger sur l'isolement des écoles d'architectures françaises qui les privent de valoriser leurs compétences de *design* au sens anglo-saxon du terme, à l'interface des autres disciplines scientifiques, au sein d'un ensemble universitaire favorisant les rencontres. Cette position leur ouvrirait pourtant un champ de recherche original en même temps qu'elle leur dégagerait des perspectives plus larges que leur finalité professionnalisante actuelle, centrée sur l'exercice de la maîtrise d'œuvre. La réciproque vaut aussi pour nos écoles d'ingénieurs qui gagneraient à acquérir une culture de création comme outil de recherche exploratoire. La démarche entreprise par l'IBois depuis une dizaine d'année élabore un type de recherche pertinent pour reformuler les limites épistémologiques de l'architecture et de l'ingénierie civile telles que nous les connaissons.

--

Toutes illustrations issues des archives du laboratoire IBois de l'EPFL, avec son aimable autorisation.

PARTIE V

RESULTATS ET DISCUSSION

La rédaction des études de cas sous forme d'articles autonomes impose une relecture croisée et systématique de chacun d'eux afin d'établir des résultats comparables. Pour nommer « expérimentation » ce travail sur la technique à l'échelle de l'architecture, nous devons démontrer qu'il est fondé sur des hypothèses ; qu'il présente des modalités opératoires identifiables en tant qu'expériences ; qu'il fait l'objet d'évaluations ; que ses résultats peuvent être capitalisés sous forme de connaissances.

Nous devons donc reformuler ici notre objectif initial de définition de l'expérimentation en architecture à partir de la série de 7 questions-clés que nous avons formulée à la fin du chapitre consacré à la présentation de notre méthodologie de recherche :

1- Quelles sont les hypothèses que l'expérimentation des innovations techniques vise à vérifier ?

2- Quelles sont les champs d'action et les objets de l'expérimentation des innovations techniques à l'échelle de l'architecture ? Sur quoi agit-elle ?

3-Quelles sont les modalités d'action c'est-à-dire les outils, les organisations collaboratives et les lieux de l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

4-Quelles sont les temporalités de l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

5-Quelles sont les conditions économiques de l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

6-Quelles sont les modalités d'évaluation de l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

7-Quelles sont les formes de capitalisation et de diffusion des connaissances acquises par l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

Ces questions cherchent à identifier les caractéristiques de l'expérimentation dans les processus architecturaux étudiés pour confirmer l'hypothèse principale de notre recherche selon laquelle l'architecture est un milieu d'expérimentation des innovations techniques. Nous tenterons d'en identifier les modalités et d'en repérer les régularités.

Quelles sont les hypothèses que l'expérimentation des innovations techniques cherche à vérifier ?

Les hypothèses de l'expérimentation des innovations techniques s'inscrivent toutes dans des démarches d'innovation. Leurs acteurs cherchent en premier lieu à disposer d'avantages concurrentiels sur le marché de la maîtrise d'œuvre. Nous pouvons poser comme constat préalable que tous les architectes de nos études de cas ont fait le pari d'un matériau *outsider* pour se distinguer professionnellement. Leur travail expérimental vise à démontrer que ce matériau *outsider* permet de construire moins cher, ou plus vite, ou mieux, ou de manière plus performante ou plus écologique, que les filières de la maçonnerie ou de la construction en acier qu'il vise à concurrencer. Dans cette perspective, de nouveaux dispositifs techniques sont envisagés, comme autant d'hypothèses que l'expérimentation en situation de projet devra vérifier. Dans l'expérimentation pratique, l'hypothèse prend la forme d'un pari.

Mais ces hypothèses alimentent aussi des réflexions doctrinales sur nos manières de construire et leurs influences sur les formes architecturales. Ces réflexions confirment que la technique ne doit plus être comprise comme un ensemble de savoirs et savoir-faire inventés uniquement par les sciences de l'ingénieur et applicables *a posteriori* à la composition d'édifices, mais qu'elle est une activité projective qui s'invente aussi dans l'architecture.

L'architecte comme acteur économique

L'architecte, comme n'importe quel acteur économique, doit se positionner et se maintenir sur un marché. Il est donc amené à élaborer des stratégies d'innovation en reformulant les combinaisons de production afin de disposer d'avantages concurrentiels. Ces stratégies placent les architectes dans une situation d'intranquillité créative et les obligent à remettre en question leur production pour l'adapter aux attentes (explicites ou non) de leurs commanditaires. Cette démarche n'a rien de nouveau : l'invention de la voute en petits bois lamellé-clavetés par Philibert de L'Orme a été publiée en 1561 dans un traité intitulé *Nouvelles inventions*

*pour bien bastir et à petits fraiz*¹, signe que depuis toujours la question de l'invention architecturale n'est pas dissociable de l'économie de la construction. L'architecte de la Renaissance faisait le pari (ou formulait l'hypothèse) que les assemblages clavetés de petits bois lui permettrait de construire des charpentes performantes et économiquement avantageuses par rapport aux charpentes traditionnelles faites de grandes pièces de bois d'œuvre.

La recherche d'économie fut l'argument cardinal des tenants de l'industrialisation tel Jean Prouvé, pariant sur la production en série de maisons modèles à l'instar des modèles de voitures, pour faire baisser les coûts de la construction de manière significative en même temps que sur le transfert des méthodes et outils industriels pour en améliorer la qualité. Ces deux facteurs, économique et qualitatif, devaient leur procurer un avantage concurrentiel déterminant. L'investissement de Jean-Pierre Watel dans l'élaboration de modes constructifs industrialisés en bois, d'abord avec les maisons ELCOHA puis dans le cadre des réalisations expérimentales de l'Industrialisation Ouverte, procède de la même logique économique. Jean-Pierre Watel formulait l'hypothèse que le transfert de l'ossature bois légère dont les coûts aux USA semblaient bien inférieurs à ceux pratiqués par la filière de la maçonnerie en France lui permettrait de produire des logements moins chers. Ce mode constructif était compatible avec des modes d'urbanisation dense et de faible hauteur qui lui semblaient être une alternative pertinente à la politique très critiquée des grands ensembles.

C'est encore l'argument de l'efficacité économique que les promoteurs de WikiHouse mettent en avant pour présenter leur modèle dans leur *Ted Talk*² de 2013. Partant du constat que les coûts de construction d'une simple maison sont anormalement élevés, ils défendent l'hypothèse selon laquelle le transfert dans l'architecture de méthodes et outils numériques, déjà éprouvés dans le domaine de l'ameublement, offriront l'opportunité à quiconque de concevoir et fabriquer soi-même sa propre maison, dans le cadre d'une économie de l'entraide et du partage. Ces nouvelles combinaisons de production suppriment ainsi de multiples

¹ De l'Orme Philibert, *Nouvelles inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, (1561), Ed. Hachette BNF, Paris, 2012

² http://www.ted.com/talks/alastair_parvin_architecture_for_the_people_by_the_people?language=fr page consultée le 26 janvier 2016

intermédiaires, qu'une accessibilité désormais immédiate aux savoirs et savoir-faire rend inutiles.

Le développement des grandes structures en bois par Robert Lourdin dans les années 1960 permettaient à la filière bois de concurrencer les filières de l'acier et du béton sur des marchés de construction dont elle était jusqu'alors exclue. L'élaboration de ce savoir a permis à Robert Lourdin d'être l'ingénieur de référence en la matière, pendant au moins deux décennies. Son travail a consisté à démontrer l'hypothèse selon laquelle il était possible de construire en bois et à un coût compétitif, les grandes structures de la modernité héroïque, jusqu'alors construites en acier ou en béton.

Les charpentes de Jacques Anglade retrouvent quant à elles l'art du charpentier et la multiplication des petits bois bon marché à la place des gros éléments de lamellé-collé, parce qu'elles ouvrent le jeu de la concurrence à de multiples petites entreprises en limitant le transfert de valeur aux industriels.

Lipsky et Rollet, comme beaucoup d'architectes aujourd'hui, font le pari que la construction en bois est un atout au service de l'architecture écologique. Sa maîtrise leur donnera un avantage concurrentiel à mesure que le matériau s'imposera comme une alternative incontournable pour remplacer les matériaux énergivores de la modernité. Il s'agit alors pour eux d'être identifiés par les commanditaires comme experts du sujet, donc d'être publiés et reconnus pour cela dans les revues d'architecture et de technique de construction. Quitte à user de dispositifs constructifs surdimensionnés comme ce fut le cas avec l'emploi de modules tridimensionnels en panneaux de bois massif contrecollé sur le campus de Troyes tandis que des ossatures légères conventionnelles auraient suffi. Cette même logique de distinction les conduit à réaliser le premier immeuble de grande hauteur en France, à la Cité Universitaire de Paris et à présenter le projet le plus technologiquement innovant lors du concours « Pour un habitat éco-responsable densifié », exposé à la Cité de l'Architecture en 2009.

Avec Yves Weinand le bois s'affirme dans l'ère numérique. L'IBois travaille sur l'hypothèse selon laquelle le matériau bois est capable de réaliser à des coûts raisonnables les architectures paramétriques contemporaines. A cette fin, ce laboratoire tente de faire évoluer les sciences de l'ingénieur en transférant dans le

monde de la construction les registres techniques de la vannerie, du tissage ou de l'origami japonais. L'IBois fait l'hypothèse d'un changement d'échelle possible de ces dispositifs techniques qui ne fonctionnent pour l'instant qu'à l'échelle de l'objet ou celui du mobilier, mais sont en revanche capables de décrire aisément des surfaces complexes.

L'expérimentation des innovations techniques dans le domaine de l'architecture de bois est bien d'abord fondée sur des enjeux économiques. Cette expérimentation vise à vérifier la pertinence d'hypothèses de techniques alternatives qui présentent potentiellement soit une meilleure efficacité dans le cadre de l'architecture domestique, soit la possibilité de se positionner sur de nouveaux marchés tels que les édifices de grande portée, de grande hauteur, grande complexité, ou encore d'apporter des dispositifs pertinents au regard des nouveaux enjeux environnementaux. Les hypothèses techniques expérimentées s'inscrivent dans cette logique d'innovation selon la définition entrepreneuriale qu'en donnait Joseph Schumpeter.

La technique en projet

En même temps qu'elle est motivée par une stratégie professionnelle, cette démarche expérimentale s'accompagne toujours de réflexions doctrinales qui peu à peu construisent un discours sur la technique. Les hypothèses pratiques sont régulièrement transcendées en éléments de théorie dans les discours que les architectes produisent sur leur œuvre. Elles deviennent alors des réflexions élargies sur la technique.

Les œuvres de Jean Prouvé, Robert Lourdin et Jean-Pierre Watel témoignent de la doctrine moderne qui visait à remplacer l'artisanat par l'industrie et sa logique de standardisation. Elles expérimentent cette transition qui reconfigure non seulement les outils, mais aussi les savoirs, les méthodes, les organisations du travail, et bien entendu les formes architecturales.

Les réflexions contemporaines sur la technique sont surdéterminées par les objectifs de transition écologique. Les risques environnementaux et sociaux de l'industrialisation nous apparaissent désormais critiques. Certains, comme Lipsky et Rollet théorisent un *aggiornamento* écologique de l'agir industriel, pour l'adapter

aux exigences environnementales, pour qu'il soit moins destructeur de ressources, moins énergivore. Mais ils ne remettent pas en cause l'argumentaire économique et qualitatif de l'industrie ni ses structures de production. Leur transition écologique est une transition douce qui suppose *de tout changer pour que rien ne change*.

Les travaux de l'IBois explorent l'hypothèse selon laquelle les outils numériques sont l'instrument d'une révolution dans l'art de bâtir. Ils tentent ainsi de développer un art de l'ingénieur « 2.0 », mais dans une interprétation finalement assez conventionnelle du progrès technique. En revanche le projet WikiHouse critique le caractère socialement aliénant des manières d'agir et de consommer du XX^{ème} siècle et proposent l'alternative d'un artisanat numérique dans lequel les hommes reprendraient la main sur les objets qu'ils conçoivent, fabriquent et consomment. De manière assez proche, le travail de Jacques Anglade propose un *empowerment* du métier de charpentier par les sciences de l'ingénieur, au plus proche d'une matière première peu transformée et d'organisations professionnelles dites des « circuits courts ».

Ces réflexions contemporaines expriment un changement important dans la compréhension que nous avons de la technique. La crise écologique critique les modes de production industriels du XX^{ème} siècle. Dans le même temps, les outils numériques offrent désormais la possibilité d'une dé-massification et d'une dé-standardisation de la production qui peut alors se rapprocher de la souplesse de l'artisanat et de ses organisations sociales « conviviales », favorables à l'épanouissement individuel. Mais ces outils exigent aussi un niveau d'équipement et de formation sans commune mesure avec l'artisanat pré-industriel et rendent le nouvel « artisan-ingénieur » dépendant des industries de l'informatique et des machines numériques.

Ainsi, à partir de ces observations, nous pouvons considérer que parler de technique en architecture n'est pas seulement parler de solutions instrumentales, mais aussi de notre rapport aux ressources naturelles, des conditions de leur transformation, des formes d'organisation du travail et de la nature des artefacts qui constituent nos cadres de vie. Ces hypothèses, qu'elles soient pratiques ou qu'elles engagent des réflexions élargies sur la technique sont les sujets d'expérimentation des innovations techniques en architecture que nous avons observées. Nous devons maintenant

observer ces démarches expérimentales pour comprendre ce sur quoi elles agissent, en décrire les champs d'action et les modalités opératoires.

Quelles sont les champs d'action de l'expérimentation des innovations techniques à l'échelle de l'architecture ? Sur quoi agit-elle ?

Les expérimentations qui visent à tester les hypothèses que nous avons énoncées ci-avant ne se concentrent pas uniquement sur le produit final, c'est-à-dire sur l'objet architectural et son mode constructif mais interrogent tout le processus de conception et de fabrication. Au sein de chacune des études de cas, nous avons constaté que se déploient des réflexions qui interrogent : a) les savoirs, b) les méthodes de conception, c) les modes de collaboration, d) les procédés de fabrication et e) les modes constructifs. Les objets de l'expérimentation pratique se situent dans ces cinq champs d'action.

Savoirs

Le premier champ d'action est celui des savoirs. Les démarches expérimentales observées s'appuient presque toutes sur des transferts de savoirs, extérieurs à la pratique conventionnelle de l'architecture. Parfois il s'agit de transfert de savoirs depuis des domaines technologiques extérieurs à la construction. Dans d'autres cas il s'agit de réinterprétation de savoirs historiques délaissés et revisités de manière originale.

Nous avons montré que le passage de l'art du charpentier à l'art de l'ingénieur est devenu possible à partir du moment où les sciences des matériaux et les sciences de l'ingénieur ont été transférées dans le secteur de la construction en bois. Les savoirs ancestraux et empiriques du charpentier ont été mis en crise par de nouvelles connaissances qui ont assuré la modélisation et la prédictibilité des ouvrages par le calcul. Dès lors l'invention architecturale a pu se libérer de la lente incrémentation de l'empirisme pour expérimenter par simulation des formes et des schémas statiques, alors même que l'histoire ne disposait pas nécessairement de références analogues.

C'est aussi des savoirs scientifiques de physique du bâtiment qu'intègre Jean Prouvé dans ses réflexions et qui le conduisent à utiliser le bois pour ses propriétés

thermiques notamment sa faible conductivité, alors que l'acier ou l'aluminium, ses matériaux de prédilection, présentent le défaut d'une forte conductivité thermique, source de condensation à l'intérieur des bâtiments.

Cette démarche d'intégration de savoirs en physique des matériaux est encore un levier important des expérimentations de Lipsky et Rollet pour des raisons similaires à celles de Jean Prouvé mais augmentées des exigences environnementales contemporaines qui invitent à considérer l'édifice comme un métabolisme qui gère des échanges d'énergie avec son environnement.

Le laboratoire IBois de l'EPFL invente quant à lui de nouveaux savoirs nécessaires à la constructibilité des formes originales issues de l'architecture paramétriques, par croisement des disciplines de génie civil, d'architecture et de mathématiques. Tandis que Jacques Anglade formule une critique raisonnée des savoirs sur lesquels s'est fondée l'ingénierie du bois au XX^{ème} siècle et revisite les savoirs du compagnon-charpentier avec l'aide des sciences de l'ingénieur.

Plus prosaïquement, et même s'il devient difficile à un certain point de distinguer les savoirs des savoir-faire, l'expérimentation impose aussi à ses acteurs de transférer un certain nombre de savoirs pratiques. Les architectures de Jean Prouvé transfèrent vers la construction les savoirs de l'industrie automobile et ses logiques de pièces mécaniques indépendantes assemblées entre elles par des articulations et des joints. De même Jean-Pierre Watel transfère en France les savoirs spécifiques de la charpenterie nord-américaine avec ses sections, ses portées, ses assemblages et ses trames. Plus près de nous, le projet WikiHouse transfère dans le champ de l'architecture de nouveaux savoirs informatiques ainsi que des savoirs anciens de la menuiserie.

A chaque fois ces transferts de savoirs réinterrogent la fabrique de l'architecture et ses caractéristiques morphologiques. Ils ouvrent la voie à des pratiques alternatives. Ces transferts nécessitent aussi de nombreuses adaptations, lesquelles ne peuvent pas toujours être anticipées et se forment dans le processus de projet, dans l'acte d'expérimenter. Nous pouvons donc fixer comme résultat intermédiaire qu'une des principales actions de l'expérimentation porte sur la reformulation ou le transfert de savoirs extérieurs à la fabrique conventionnelle de l'architecture.

Notons que ces transferts ne sont possibles que grâce à la veille technologique à laquelle s'astreignent les concepteurs que nous avons étudiés. Elle est le préalable de toute démarche innovante. On peut citer la connaissance qu'avait Jean Prouvé des méthodes industrielles des années 1950 ou sa curiosité pour les produits novateurs comme les panneaux Rousseau, alors qu'ils ne présentaient *a priori* pas d'intérêt dans son activité de construction métallique. Robert Lourdin réalisa sous sa direction sa thèse d'ingénieur CNAM. Elle portait sur les nouvelles méthodes permettant de réaliser des grandes structures en bois et était alimentée par la mission de veille technologique des bois lamellé-collé que lui avait confiée le CTB (Centre Technique du Bois). De même, Jean-Pierre Watel comme la plupart des architectes du renouveau de l'architecture de bois, a nourri sa connaissance du sujet de voyages d'études dans les pays à forte culture de la construction en bois. Ses implications auprès du CTB pour l'élaboration du DTU ossature bois dans les années 1960, puis auprès du Plan Construction dans le cadre des recherches sur l'Industrialisation Ouverte l'ont placé au plus près des sources de l'information. L'implication universitaire de Pascal Rollet dans les projets Solar Décathlon, aux Grands Ateliers, ou comme directeur scientifique d'AMACO (Atelier Matière à Construire) le situent au centre d'un réseau d'innovation. Cette position lui permet d'actualiser régulièrement sa connaissance scientifique et technique de la construction. De manière sensiblement différente, WikiHouse constitue aussi un réseau collaboratif qui diffuse rapidement les informations à tous ses membres. Il fallait toutefois à ses fondateurs une bonne connaissance des outils de fabrication numérique utilisés de manière courante dans les domaines de l'agencement pour esquisser le projet en 2011 et ce n'est pas un hasard si l'un des deux fondateurs est issu du monde du design de mobilier et cofondateur du projet OpenDesk.

Nous avons aussi noté l'importance de la formation tardive de Jacques Anglade à l'EPFL à la fin des années 1990. Cette formation d'ingénieur a complété sa formation de charpentier et lui a donné accès aux outils informatiques et à une bonne connaissance des dernières innovations en matière d'assemblages. Nous n'en dirons pas plus de l'IBois dont la veille scientifique et technique est dans sa mission même. Simplement, nous devons acter que chacun des acteurs observés est engagé à titre personnel dans une démarche de formation continue ou d'autoformation qui actualise

régulièrement ses connaissances et ses compétences. Précisons ici que cette capacité à la remise en question de son socle initial de connaissances est loin d'être partagée par tous les architectes. Nous devons donc considérer la veille technologique élargie comme le préalable des démarches innovantes parce que ces dernières fonctionnent beaucoup par transfert de savoirs. L'innovation en architecture ne peut venir que de ce qui lui est extérieur.

Méthodes de conception

Après les savoirs, l'autre champ d'action de l'expérimentation que notre corpus met en évidence de manière récurrente est celui des méthodes de conception.

Un aspect commun des méthodes de conception expérimentales est l'importance accordée à la notion d'hypothèse-test (ou *what if?*) formulée par Donald Schön. Ces hypothèses-test expérimentent les connaissances, les outils, les produits, les méthodes etc. recueillis par la démarche de veille technologique. Elles testent ainsi des moyens originaux de surmonter une contrainte, soit parce qu'elle était inconnue jusqu'alors, soit parce qu'il semble désormais possible de la surmonter de manière plus efficace, plus rapide ou plus économique avec ces nouveaux moyens. Les projets servent alors d'expérimentation grandeur nature à ces hypothèses-test, permettent de les formuler clairement, de les adapter et de les évaluer.

Cette démarche est observable chez Jean Prouvé, depuis l'hypothèse-test de constructions en panneaux de façade porteurs préfabriqués jusqu'à celle des toitures en panneaux Rousseau. Jean-Pierre Watel formule pour sa part l'hypothèse-test du transfert de l'ossature légère nord-américaine qui devient selon ses termes un « porte-manteau » capable d'accueillir les différents équipements et les différents revêtements sous formes de composants industriels. Cette métaphore lui permet de décrire un nouvel ordonnancement de l'objet bâti qui engage de nouvelles modalités de construction, jugées plus efficaces. Lipsky et Rollet font de même en choisissant de dessiner les logements étudiants sous forme de « cellules » tridimensionnelles faites de panneaux de bois massif contrecollé, avec réussite à Troyes, mais sans y parvenir à Paris. Toutefois l'opération parisienne de la Maison de l'Inde peut être relue comme l'hypothèse-test de la réalisation d'un immeuble de 7 étages en bois

³ Schön, *op. cit.*

dont une des conséquences de l'expérimentation a été d'abandonner le mode constructif en panneaux contrecollés pour revenir à des moyens plus conventionnels de poteau-poutre, d'ossature légère et de bois lamellé-collé. Notons aussi que le noyau de circulations verticales en béton armé contreventé cette conception à ossature en même temps qu'il renforce l'inertie thermique du bâtiment et peut être construit en temps masqué pendant la préfabrication de la charpente. Le choix final d'une solution mixte bois-béton doit alors beaucoup à la démarche itérative de la conception qui évalue les incidences de l'hypothèse-test initiale « construction par modules tridimensionnels en panneau de bois contrecollé » et complexifie peu à peu la réponse définitive, par synthèse des différents paramètres. Le mode constructif de la maison de l'Inde est avant tout pragmatique, il est le fruit d'une négociation avec les éléments de la situation, à partir d'une hypothèse-test affinée et corrigée peu à peu. Enfin leur projet non réalisé « habitat positif » dessiné dans le cadre du concours « pour un habitat éco-responsable dense » nous renseigne sur les incidences de l'hypothèse-test de l'ossature bois pour la construction d'édifices à énergie positive, comme par exemple la nécessité de recourir à des « murs-poids » afin d'apporter l'inertie thermique nécessaire que la construction bois n'offre pas. Le projet WikiHouse formule et expérimente quant à lui l'hypothèse-test de la constructibilité de maison à partir de plaques de contreplaqué de 18mm découpées sur des fraiseuses numériques et assemblées « sans clou ni colle ni vis ». Les tests de validité de cette hypothèse-test s'étendent sur la dizaine de prototype analysés.

A l'échelle des grandes structures, l'œuvre de Robert Lourdin est une série d'hypothèses-test de tous les types architectoniques des structures spatiales : réseau de poutres croisées, grilles tridimensionnelles, résilles losangées, structures plissées ou voile minces. L'œuvre de Jacques Anglade reconsidère avec les outils de l'ingénierie les types traditionnels comme les charpentes à chevrons-formant-fermes ou les fermes en ciseaux. D'une manière générale, son recours systématique aux charpentes denses à petits bois comme alternative aux structures en bois lamellé-collé est une hypothèse-test récurrente dans son travail. L'IBois d'Yves Weinand expérimente les possibilités de réalisation de surfaces complexes en testant le transfert des motifs ou « patterns » de la vannerie ou des origamis, introduites

d'abord comme hypothèses-test dans les projets de master, sous forme de recherche exploratoire, avant d'être affinées jusqu'aux prototypes des recherches de doctorat. Ces hypothèses-test constituent bien une méthode de conception expérimentale. Elles sont formulées approximativement au commencement des projets, puis peu à peu affinées et adaptées à la complexité des projets. Elles relèvent d'une méthode de conception créative dans la mesure où elles n'appartiennent pas au registre des solutions conventionnelles éprouvées, supposent souvent des transferts et des détournements. Ces hypothèses constructives évoluent dans un processus réflexif qui les adapte, les améliore et les transforme grâce à un dialogue itératif avec les « éléments de la situation ». Elles s'informent mutuellement avec le projet, qui les modifie et qu'elles structurent. En effet, les différentes hypothèses-test que nous venons de citer ne prennent leur forme que dans la singularité de chaque projet, confirmant l'intuition simondonienne que c'est le projet, en tant que milieu, qui fait exister les systèmes de formes techniques. Ces hypothèses-test sont un élément de méthodologie commun à toutes les démarches de conception observées.

Jeu d'acteurs : organisations séquentielles vs organisations collaboratives

Au-delà des questions de méthodes de conception proprement dites, les modes d'organisation entre les acteurs sont un autre enjeu récurrent de l'expérimentation technique en architecture. L'organisation conventionnelle de la maîtrise d'œuvre est organisée sous une forme séquentielle, à partir d'un programme et d'un budget défini par le maître d'ouvrage, entre un architecte qui conçoit l'édifice, des ingénieurs qui en définissent les modalités de construction et des entreprises qui le réalisent sous les prescriptions des premiers. Dans cette logique, les architectes n'ont pas d'influence sur l'élaboration du programme ni celle du budget. Les ingénieurs n'ont qu'une action réduite sur la forme architecturale qu'ils ont simplement vocation à rendre constructible, tandis que les entreprises sont censées exécuter à la lettre les prescriptions de la maîtrise d'œuvre. Autant de ruptures dans la chaîne de réalisation d'un édifice, ruptures énoncées contractuellement sous forme de limite de prestations des uns et des autres, mais qui s'accordent mal avec caractère itératif de l'expérimentation. Cette dernière nécessite parfois de reformuler l'étape 1 parce qu'elle est renseignée de manière pertinente par l'étape 3. Cette organisation

séquentielle est adéquate au schéma de la rationalité technique dans la mesure où elle spécialise les uns et les autres et se structure verticalement, du plus théorique au plus pratique, avec des « effets de cliquet » qui empêchent toute forme de rétroaction.

Les projets de l'agence Lipsky et Rollet sont les plus proches de ce mode d'organisation séquentielle, parce que leur agence importante est, parmi nos études de cas, la plus proche de la production conventionnelle d'édifices. Les architectes n'ont pas de maîtrise du programme, ni du budget. Leurs équipes de maîtrise d'œuvre rassemblent *ad hoc* les compétences d'ingénierie nécessaires, selon les exigences particulières de chaque projet. Toutefois, leurs édifices en bois ont tous été conçus avec Olivier Gaujard, ingénieur partenaire régulier de l'agence, avec lequel s'est nouée une complicité professionnelle au fil des opérations communes. En revanche, dans cette situation conventionnelle, la collaboration avec les entreprises est limitée, voire interdite lorsqu'il s'agit d'un marché public. Le cas du marché privé de la maison de l'Inde montre l'incidence de l'entreprise sur le mode constructif en fonction de son savoir-faire, de ses outils et de son analyse des modalités du chantier. Il n'y a donc pas réellement d'élaboration commune du mode constructif, qui demeure dans une première phase essentiellement prescriptif, et ne peut pas bénéficier du savoir-faire des entreprises. Ensuite ce mode constructif peut être remis en cause lors de l'appel d'offre pour des motifs économiques ; la forme architecturale inchangée, parce que contractuelle et protégée par le permis de construire, risque d'être réalisée à partir d'un mode constructif qui n'était pas celui de sa conception, avec les incohérences organiques que cela peut engendrer. On comprend que ces ruptures séquentielles dans le processus de conception et de réalisation soient défavorables au processus d'expérimentation des innovations techniques en architecture, lequel demandent interactivité, itérativité et récursivité.

Pour cette raison, les formes d'expérimentation les plus intéressantes initient toute des organisations différentes, plus collaboratives que séquentielles. Chez Jean Prouvé, cette organisation passa, jusqu'en 1954, par les Ateliers de Maxéville, qui associaient conception et construction sous une même enseigne. Prouvé a régulièrement écrit sur l'efficacité de cette organisation qui lui permettait de dessiner quelque chose et de le vérifier dès le lendemain sous forme de prototype⁴. Cette forme

⁴ Lavalou *op. cit.*

intégrée de production disparaît malheureusement après que Prouvé ait été contraint de céder son entreprise. Après cette date, il poursuivra son activité en tant que bureau d'étude mais regrettera cette nouvelle situation dans laquelle il se sentait comme un soldat sans armes, c'est-à-dire obligé de confier ses conceptions encore théoriques à des entreprises chargées de les mettre en pratique, sans qu'il puisse lui-même les expérimenter et les mettre au point avant de les diffuser. Sans pouvoir bénéficier du *feed-back* du prototype sur la conception.

Jean-Pierre Watel travailla lui aussi au début de sa carrière sous la forme d'un partenariat de type conception-construction avec l'entreprise ELCOHA et l'ingénieur Philippe Martin pour la mise au point du prototype de la foire de Lille et ses variantes de Halluin et de Bondues. De même, la maison Leymonerie à Linselles, qui lui servira de prototype pour ses réflexions dans le cadre des REX fut élaborée pour un client alors directeur commercial d'une entreprise de charpente, en collaboration avec le bureau d'étude de cette dernière. En revanche notre recherche ne nous a pas permis d'identifier les modes de collaboration et les échanges entre l'architecte et l'entreprise Coquart adjudicatrice du marché de l'opération REX de La Borne de l'Espoir à Villeneuve d'Ascq. Les bilans des REX⁵ font pourtant mention de la possibilité dérogatoire de pré-consultation en phase d'avant-projet. Nous notons simplement que les 14 pages consacrées à ce projet dans cet ouvrage ne mentionnent même pas le nom de l'entreprise ayant réalisé les travaux. En revanche, ces mêmes pages insistent suffisamment sur la dégradation d'une conception pensée entièrement à partir de composants puis réalisée en grande partie selon des modalités conventionnelles pour en déduire que ces pré-consultations, si elles ont existé, n'ont pas été fructueuses au regard des objectifs d'expérimentation de l'Industrialisation Ouverte. En tout état de cause, l'hypothèse des REX selon laquelle un marché de construction pouvait être partagé entre des industriels fournisseurs de composants et des entrepreneurs-poseurs n'a pas été vérifiée.

A l'extrême inverse de l'organisation séquentielle conventionnelle, le projet WikiHouse met en œuvre une plateforme collaborative horizontale de libre-échange de l'information et d'incrémentation des solutions constructives par les membres de

⁵ Charon, Grèzes *op. cit.* pp.132-145

la communauté, qui conçoivent et construisent eux-mêmes les prototypes. Le rythme de production de ces derniers, les améliorations successives qu'ils présentent apportent la preuve de l'efficacité d'un système collaboratif ouvert, gratuit et non-hiérarchique. En revanche ce système s'avère inadapté au cadre législatif de la construction, parce qu'incapable d'identifier les responsabilités des uns et des autres. Le projet de fondation WikiHouse tente de pallier ce défaut congénital en se rapprochant d'une organisation industrielle et commerciale classique. WikiHouse pourrait alors se développer, non plus dans le cadre d'un modèle *open-source* fondé sur le partage libre et gratuit de la connaissance, mais comme une société commerciale avec ses designers, ses fabricants, ses poseurs agréés et ses organismes de certification, mais en dévoyant ses objectifs initiaux fondés sur l'économie du partage.

A l'échelle des grandes charpentes bois, notre recherche s'est heurtée au fait que nos études de cas portaient sur des ingénieurs qui agissent contractuellement en tant que co-traitants d'architectes mais dont l'influence sur les projets présentés a été déterminante. Cette situation est assez logique dans la mesure où les édifices en question sont des constructions de grande échelle pour lesquelles la maîtrise de la structure est déterminante, mais pas seulement. Elles portent aussi des réflexions originales sur la technique qui forment les expressions architecturales, empiétant ainsi sur le partage théorique des tâches entre architectes et ingénieurs. Nous n'avons malheureusement que très peu d'informations qui nous permettraient d'identifier des modalités d'organisation significativement différentes de l'organisation conventionnelle de la maîtrise d'œuvre. Toutefois nous avons constaté l'attachement de Robert Lourdin et Jacques Anglade à citer les entreprises qui ont réalisé ces charpentes remarquables et à nous parler avec respect de leur art du levage sans lequel leurs conceptions seraient restées théoriques.

L'IBois de l'EPFL montre une organisation universitaire de départements et de laboratoires structurellement très différente des collaborations professionnelles ci-avant décrites. Plutôt que d'organisation collaborative, il convient de parler d'organisation pluridisciplinaire dont le caractère fécond doit nous interroger sur l'isolement des écoles d'architecture en France, lesquelles ne disposent pas ou très peu d'accès aux savoirs techniques de pointe, tandis que les écoles d'ingénieurs

françaises souffrent d'une méconnaissance des savoirs de conception ou de *design* au sens anglo-saxon du terme. Les spécialisations étanches de la rationalité technique par « disciplines » puis par « professions » ne sont pas favorables à l'expérimentation. Elles freinent donc l'innovation en la privant de son principal levier. Reste alors seulement la possibilité, à l'intérieur de chaque profession ou de chaque discipline, d'améliorer ou d'optimiser des dispositifs existants. Cependant comme le notait justement Niels Bohr : « ce n'est pas en essayant d'améliorer la bougie qu'on a inventé l'électricité⁶ ».

Nous pouvons conclure par le constat que quasiment toutes les démarches expérimentales observées tentent, d'une manière ou d'une autre de rompre avec les organisations séquentielles spécialisantes pour initier des organisations collaboratives plus horizontales, mais ces tentatives se heurtent régulièrement aux structures juridiques et contractuelles qui encadrent et normalisent l'acte de bâtir.

Procédés de fabrication

Le quatrième champ d'action de l'expérimentation est celui des procédés de fabrication. Chez Jean Prouvé, le transfert des procédés de fabrication est une nouvelle fois très clair avec l'outillage industriel qu'il met en œuvre pour fabriquer ses édifices. Avec lui, le bois découvrait les méthodes de production industrielle de la construction métallique. Konrad Wachsmann était allé encore plus loin que lui avec l'usine de la *General Panels Corporation* qui était un outil industriel entièrement dédié à la fabrication en série des panneaux de la *Packaged House*. Aucune des grandes structures spatiales de Robert Lourdin n'aurait pu voir le jour sans les procédés de fabrication, de transport et de levage de l'ère industrielle. Des grands arcs de bois lamellé collé de la patinoire de Grenoble aux nappes tridimensionnelles des hangars d'Honfleur en passant par la rosace plissée de l'école de Gonesse, ces charpentes modernes sont toutes fabriquées, transportées et levées par des procédés mécaniques.

Jean-Pierre Watel passa vingt ans de sa carrière professionnelle à doter une technologie artisanale de procédés de fabrication industrielle, en décomposant le mur à ossature bois selon des dimensions qui visaient à trouver le meilleur compromis

⁶ Bohr Niels, *citation apocryphe*

entre les dimensions des tables de clouage pneumatique et celles des panneaux modulaires de ses édifices. Mais aussi le meilleur compromis entre la dimension de ces panneaux préfabriqués et les possibilités de transport, de levage mécanique ou de manutention. Toutes ces considérations sur les procédés de fabrication règlent des dimensions, donc des trames et des types de composition architecturales. Lipsky et Rollet poursuivent exactement la même recherche en misant sur la préfabrication de modules qui visent à résoudre les mêmes équations et dont les dimensions trament leur architecture. Cette question des procédés de fabrication est au cœur de projet WikiHouse qui repense toute la chaîne de production mécanisée du XX^{ème} siècle à partir des machines à commandes numériques. Dès lors toute la conception de l'édifice s'en trouve renouvelée, dans ses dimensions, ses trames et ses modalités d'assemblage. Plus encore, l'organisation sociale du travail, qu'il s'agisse de celui de la conception ou de celui de la préfabrication s'en trouve potentiellement modifiée, tout comme sa répartition sur le territoire. Elle présente une alternative à l'organisation concentrée de l'industrie du XX^{ème} siècle et relocalise la production à des échelles qui étaient celles de l'artisanat. Cette conscience des incidences sociales des différents procédés de fabrication est aussi un aspect cardinal du travail de Jacques Anglade. Ce dernier vise par ses constructions à renouveler les procédés de fabrication traditionnels pour favoriser les entreprises de charpente de taille modeste. Dans le même temps, cela fabrique des architectures originales qui portent la marque de leur mode de fabrication. D'une certaine manière Anglade en tire les mêmes hypothèses de dé-massification et de désindustrialisation que les acteurs de WikiHouse, mais sans leur fascination technophile. C'est par ailleurs cette même fascination technophile que l'on retrouve à Lausanne, dans les travaux de l'IBois, qui ne s'envisagent qu'avec la précision et la dextérité des procédés de fabrication numérique, imaginant des constructions hypercomplexes s'assemblant au millimètre pour transmettre les efforts sur des lignes minces mais continues, en faisant l'économie de pièces d'assemblage métallique.

De manière récurrente, un premier aspect de la réflexion sur les procédés de fabrication porte sur la recherche de précision, d'une part dans la perspective d'une construction qui s'assemble « clic-clac » supprimant ainsi les difficultés du chantier,

d'autre part parce que ces assemblages aux tolérances minimales sont aussi le gage d'une construction de qualité, solide, étanche et donc pérenne.

Mais tout au long de notre recherche, nous avons aussi identifié que la question des procédés de fabrication n'est pas dissociable de celles des formes d'organisations du travail et de leurs conséquences sociales et culturelles. Prouvé et les modernes nous parlaient du confort du travail en usine, Jean-Pierre Watel dessinait le monteur de ses constructions en blouse et gants blancs tandis qu'à l'arrière-plan un maçon en salopette se brisait le dos à charrier le sable dans une bétonnière. Anglade dépeint ces mêmes usines avec l'œil sombre d'Ilich, pour revendiquer l'épanouissement convivial du charpentier maître de son art, donc de ses actes et de ses choix, tandis que WikiHouse imagine un mode de production tellement simple que construire sa maison deviendra un jeu accessible à tous, de 7 à 77 ans ; dans l'économie du partage, grâce aux procédés de fabrication numérique, travailler c'est s'amuser. Notons tout de même qu'il s'agit d'un point de vue de trentenaires occidentaux, urbains et diplômés.

De manière systématique, notre recherche montre que l'expérimentation tente régulièrement d'opérer des transferts de procédés de fabrication issus d'autres champs de production, qu'il s'agisse du secteur automobile ou de celui de l'ameublement, ou encore redécouvre des procédés tombés dans l'oubli. Ces transferts opèrent dans une quadruple perspective a) d'augmentation de la qualité de la construction, b) d'abaissement de ses coûts, c) de facilitation de la constructibilité et d) d'amélioration du confort physique et psychologique du travail.

Produits et modes constructifs

Le cinquième champ d'action de l'expérimentation porte sur les modes constructifs, entendu comme des configurations d'assemblages de produits. Dans le cadre notre corpus, il est clair que l'analogie au *meccano* a joué et joue encore un rôle central. Ce mode constructif suppose trois choses : la première est une standardisation des éléments de la construction qui se présente sous forme de composants, de semi-produits ou de sous-systèmes industrialisés ; la seconde est la normalisation dimensionnelle des éléments ; la troisième est une autonomie de l'assemblage mécanique, lequel n'appartient plus aux éléments assemblés comme pouvaient l'être

le tenon et la mortaise. Les éléments tels que les poutres, solives, pannes, panneaux etc. deviennent des produits transformés, parfois composites. Les assemblages sont désormais des tierce-parties, extérieures à ces produits et prennent le plus souvent la forme de connecteurs métalliques, depuis le simple clou jusqu'aux assemblages tridimensionnels mécano-soudés. Cette démarche inspirée des processus industriels a d'abord conduit les architectes à imaginer l'édifice lui-même comme un produit destiné à être fabriqué en série. Les travaux de Jean Prouvé, comme ceux de Konrad Wachsmann avant lui illustrent cette doctrine. L'échec de ce système un peu trop rigide a ensuite fait évoluer les réflexions vers des édifices singuliers réalisés à partir de composants industriels, dans le cadre des travaux de l'Industrialisation Ouverte. Les travaux de Jean-Pierre Watel témoignent de cette période. Ce que nous constatons aujourd'hui est plutôt une domination des semi-produits, fabriqués industriellement mais adaptables *ad hoc* selon les formes et les dimensions des projets, comme nous l'avons pu l'observer dans les travaux de Lipsky et Rollet. Enfin les outils informatiques font apparaître la notion de modèle souple, paramétrique, dans lesquels les modifications de la forme et des dimensions du projet modifient en temps réel la nomenclature des pièces constitutives exécutées sur des machines à commandes numériques. La notion de standardisation dimensionnelle s'estompe. Ce dernier cas de figure a été identifié grâce à nos analyses du projet WikiHouse et des travaux de « génotype » développés à l'IBois. Dans le détail, cette évolution historique du couple produits/mode constructif en régime industriel se présente ainsi :

Jean Prouvé utilisait le bois en tant que panneaux d'industrie dans ses panneaux de toiture ou encore dans ses panneaux de façades dont la préfabrication composite en faisait des sous-systèmes industriels. Ces panneaux étaient toujours raccordés entre eux par des éléments métalliques comme les profils-serreurs des baraquements militaires qui « pinçaient » les panneaux de façade entre eux. D'une manière générale, Prouvé utilisait les produits en bois pour leur légèreté et leurs propriétés physiques, mais les ossatures de ses édifices sont le plus généralement en métal (acier ou aluminium), plus performants à section égale. L'interview de Jean Prouvé recueillie dans le catalogue de l'exposition « Maisons de Bois⁷ » de 1979 indique

⁷ Gauzit *op. cit.*

clairement que le matériau était pour lui un matériau nouveau, issu de l'industrie de transformation, assemblé non plus selon les traditions de la charpenterie mais selon des procédés modernes transférés de la construction métallique. C'est encore cette logique de construction *meccano* que l'on retrouve chez Jean Pierre-Watel, à partir du transfert du mode constructif nord-américain revisité par le concept d'Industrialisation Ouverte. Il expérimentera les possibilités de préfabriquer ce mode constructif sous forme de composants standards, de panneaux à dimensions normalisés, de sous-système industrialisé, tels que les planchers *Nailweb* ou les poutres treillis bois-métal. Dans son travail, les panneaux d'industrie de type contreplaqué ou OSB assurent certes le contreventement de l'édifice, mais ils solidarisent aussi les différents sous-systèmes préfabriqués pour en faire des éléments indéformables le temps de leur transport et de leur montage. Ce raisonnement d'une construction par assemblage de produits préfabriqués, couverts par des règles de standardisation dimensionnelle, conduit Jean-Pierre Watel à formuler la métaphore de l'ossature « porte-manteau » qui influence la composition architecturale de ses édifices en dissociant radicalement la structure de l'enveloppe, comme à Villeneuve d'Ascq. Ce que Jean-Pierre Watel expérimente durant vingt ans, c'est la faisabilité d'un nouveau mode constructif, à partir de produits de construction, issus de procédés industriels.

C'est toujours ce qu'expérimentent Lipsky et Rollet à partir des panneaux de bois contrecollé à Troyes. Ces panneaux existent sous forme de semi-produits caractérisés mécaniquement et physiquement, normalisés, mais leurs conditions de mise en œuvre, leurs compatibilités techniques avec les autres produits de la construction, les autres corps d'état ainsi que les modes de composition architecturale qu'ils engagent sont encore mal connus en France. Les conditions techniques d'utilisation de ces produits en situation complexe, comme l'écriture architecturale qu'ils déterminent sont des sujets de recherche et de développement qui ne peuvent être menés qu'à l'échelle de l'édifice. Cette étape est aussi celle de la mesure de l'efficacité d'une innovation technique comme le montre l'évolution du projet de Maison de l'Inde. Cette expérience témoigne du fait qu'assez souvent les produits industriels présentent un manque de souplesse qui ne leur permet pas de s'adapter facilement aux

conditions particulières d'un chantier, pour des raisons de transport ou de stockage tampon sur site. Leurs arguments théoriques de qualité, rapidité et précision doivent être vérifiés lors de cette étape que Pascal Rollet assimile à un travail de 'recherche finalisée'.

Cette étape d'expérimentation des innovations techniques à l'échelle de l'édifice est aussi un aspect passionnant du projet WikiHouse. Elle permet de tester et d'évaluer la pertinence des hypothèses attractives sur lesquelles WikiHouse est fondé. Ces hypothèses considéraient qu'il était possible d'imaginer un kit de construction à découper exclusivement dans des plaques de contreplaqué de 18mm d'épaisseur, puis à monter soi-même avec un outillage réduit à un simple maillet grâce à un jeu astucieux d'assemblages clavetés. Le modèle proposait de dépasser la limite dimensionnelle des plaques de contreplaqué en créant des châssis fait d'une double épaisseur à pas alterné d'éléments afin que les raccords de longueur effectués avec des S-Joints ne constituent pas un point faible de la construction, chacune des liaisons étant doublée par un élément continu. Les prototypes successifs indiquent que peu à peu, ces châssis qui se présentaient comme des pièces de menuiserie se sont complexifiés pour devenir de véritables portiques, comme des sous-systèmes de construction. Les assemblages clavetés se sont effacés pour laisser la place à des liaisons à emboîtement, plus complexes et moins séduisantes. Le dernier prototype ne parvient même plus à éviter que les panneaux de contreventement soient vissés. Une nouvelle fois, la spéculation théorique initiale fondée sur l'émergence de nouveaux outils capables de transformer aisément des produits réputés disponibles et bon marché dans le but de faire baisser le coût de la construction a dû être entièrement révisée à l'épreuve du réel.

Dans le domaine des grandes structures, notre couple produits/mode constructif se comporte de manière assez différente car la question de la série industrielle y est moins critique qu'à l'échelle des constructions du quotidien. L'art de l'ingénieur exploite les outils industriels d'abord pour leurs performances dimensionnelles et pour la fiabilité contrôlée des produits qu'ils fabriquent. Mais on retrouve à la grande échelle les mêmes problématiques de récursivité entre produits industriels innovants et mise au point de mode constructif. Les grandes structures de Robert Lourdin ne sont possibles que grâce à l'expérimentation dès les années 1960 des bois lamellé-

collé et contrecollés. Ils présentaient l'avantage d'être, à résistance égale, plus légers que leurs équivalents métalliques, diminuant ainsi l'influence de leur poids propre sur le dimensionnement des charpentes, mais aussi les contraintes de transport et de levage. La célèbre question de Buckminster Fuller : Combien pèse votre bâtiment ? » est la question centrale de l'art de l'ingénieur. Robert Le Ricolais la reformulait sous la forme d'un *credo* devenu célèbre : « portée infinie, poids nul ». Robert Lourdin ne dit pas autre chose lorsqu'il affirme lors de notre entretien avoir, en tant qu'ingénieur, toujours cherché à employer le moins de matière possible. L'engagement à expérimenter un art de l'ingénieur des structures bois ne doit donc pas être seulement recherché du côté d'un attachement sensible ou culturel au matériau mais bien parce que le matériau présente un avantage déterminant du point de vue de l'ingénieur : la légèreté. Comme chez Prouvé, les assemblages sont indépendants des éléments, et systématiquement métalliques. Nous pourrions dire que le mode constructif des grandes structures en bois de Robert Lourdin est identique à celui des grandes structures en acier à ceci près que les barres issues de l'industrie sidérurgique sont remplacées par des barres plus légères issues de l'industrie de transformation du bois. Un point méconnu de ces expérimentations portait sur la mise au point délicate d'assemblages bois-métal, d'une part parce que les deux matériaux présentent des coefficients de dilatation différents et d'autre part parce que le bois est plus fragile que l'acier ou le béton et nécessite donc des surfaces d'assemblage plus importantes pour transférer les efforts sans fissurer la matière au droit des fixations. Les nouveaux produits de l'industrie de transformation ont occasionné un renouvellement radical de l'art de construire des charpentes en bois, tant en termes de mode constructif qu'en termes de morphologie architecturale si tant est que nous puissions ici distinguer les deux aspects, notamment lorsqu'il est question de structures spatiales qui tiennent leur rigidité de leur forme.

C'est en questionnant le bien-fondé de ces modes constructifs qui associaient des membrures en bois avec des assemblages métalliques que Jacques Anglade imagine une approche originale qui renouvelle l'art du charpentier que la seconde moitié du XX^{ème} siècle avait négligé. La densité de petits bois dans les charpentes de Jacques Anglade permet de diminuer les efforts dans les assemblages et de « miniaturiser », voire de supprimer les connecteurs métalliques. En effet les progrès des assemblages

par collage époxy améliorent significativement les transmissions des efforts dans des assemblages traditionnels bois sur bois comme les embrèvements, dont la taille est par ailleurs simplifiée par les outils numériques. Ces innovations techniques influencent aussi les produits utilisés. Elles sont favorables à l'emploi des bois massifs, non transformés et non traités, favorables aux circuits courts.

Cette recherche créative entre produits, modes constructif et forme architecturale est aussi au cœur du travail de l'IBois de l'EPFL. Ces recherches exploitent les produits les plus modernes de l'industrie de transformation du bois comme les grands panneaux de contreplaqué structurel (LVL ou *Laminated Veener Lumber*) ainsi que les panneaux de bois contrecollés cintrés. Elles inventent des modalités d'assemblages radicalement différentes de celles du XX^{ème} siècle qui dissociaient toujours les pièces de bois d'une part de leurs jonctions métalliques d'autre part. Un des enjeux de leur travail est de réintégrer l'assemblage à la pièce de bois elle-même, grâce aux découpes numériques pour faire l'économie de pièces mécano-soudées aussi spécifiques qu'onéreuses. La construction en bois tente désormais de faire l'économie de ses interfaces en acier, partie réputée la plus chère d'un devis de charpente moderne. Ces nouvelles modalités d'assemblages ne répartissent plus les efforts en de rares points singuliers comme avec les platines métalliques, mais en multipliant ces points dans les constructions inspirées de la vannerie ou en répartissent les efforts de long des arêtes des objets plissés. Nous observons donc une disparition de l'interface métallique au profit d'une nouvelle écriture architecturale entièrement en bois avec, comme dans le cas du projet WikiHouse, un certain nombre de questions quant au changement d'échelle, de celle du meuble vers celle de l'édifice. De même, Les démonstrateurs de l'IBois ne dépassent pas encore l'échelle de petits pavillons. Mais dans tous les cas, le couple produits / mode constructif est le point nodal de l'expérimentation d'une nouvelle architecture, laquelle n'est ni seulement la cause, ni seulement la conséquence de ces innovations. Par exemple les formes des structures de l'IBois ne sont pas la réalisation trait pour trait de la Blob architecture mais inventent une autre écriture architecturale fondée sur la discrétisation géométrique des surfaces complexes à partir d'éléments simples et répétitifs. L'expérimentation de nouvelles techniques est source de créativité architecturale.

Modes constructifs hybrides

La dernière observation que nous pouvons tirer de nos études de cas concernant l'analyse des modes constructifs expérimentaux porte sur la confirmation de l'hypothèse de « créolité technique » dont parle David Edgerton.

Dans les manuels de construction, souvent organisés par filière constructive ou par parties d'ouvrage, on peut observer une certaine homogénéité des systèmes techniques. Certains ouvrages traitent des structures en bois, d'autres en béton ou en acier. Des manuels différents traitent des enveloppes, d'autres encore des équipements techniques. Tous, dans leurs spécialisations, envisagent des systèmes techniques homogènes, dont les éléments constitutifs sont contemporains les uns des autres, fabriqués dans les mêmes conditions de production. Leur conception est toujours justifiée en termes de performances mesurables. Pourtant, cette cohérence est beaucoup plus difficile à identifier dans les œuvres architecturales étudiées.

Les maisons prototypes de Jean Prouvé sont réalisées avec des outils industriels mais comme des œuvres uniques d'artisanat. Sa maison personnelle à Nancy est un bel exemple de l'architecture « créole » de David Edgerton, faite d'éléments industriels, mais réassemblés dépareillés, par nécessité économique. C'est d'ailleurs lors de sa construction que Prouvé découvrit les panneaux Rousseau destinés au marché agricole et les détourna de leur usage initial avant qu'ils ne deviennent un composant récurrent de son architecture métallique industrielle. Et que dire avant cela des panneaux de façade de la maison du Peuple de Clichy donc les tôles étaient bombées par des ressorts à matelas⁸ ?

Jean-Pierre Watel a quant à lui tenté d'industrialiser la maison à ossature bois à partir de mode constructif innovant avec les maisons ELCOHA avant de revenir à la vieille technique artisanale américaine du *balloon frame*, mais en essayant de l'industrialiser faute de savoir-faire artisanaux en France. L'aventure de l'Industrialisation Ouverte et de sa politique des composants a abouti au compromis des produits industriels semi-finis qui nécessitent toujours des savoir-faire artisanaux pour l'ajustage de leurs assemblages in situ. Le chantier comme lieu d'assemblage *meccano* est un mythe, il

⁸ Reichlin Bruno, « Pensée technique, techniques de pensée » in collectif Jean Prouvé, *la poétique de l'objet technique*, Vitra design Museum GmbH, 2004, pp. 28-47

y a toujours une nécessité plus ou moins importante de façonnage manuel. Les grandes structures spatiales de Robert Lourdin ont été réalisées par quelques charpentiers de métier qui ont accepté de moderniser leur pratique. Elles ont été rendues possibles par le transfert des sciences de l'ingénieur vers le métier de charpentier et non l'inverse. Les charpentes industrielles d'aujourd'hui sont encore souvent montées par des charpentiers formés à la tradition.

A l'inverse, Lipsky et Rollet réalisent à Troyes un immeuble de logements étudiants en panneaux de bois contrecollé sans que l'emploi de ce matériau industriel et sophistiqué ne soit justifié par la complexité de l'édifice. Des murs à ossature légère en bois, à l'américaine, auraient été suffisants pour réaliser cette construction de deux étages. Cette technologie désormais banale aurait permis une concurrence plus large, gage de prix meilleurs. En revanche, ces panneaux auraient été pertinents pour réaliser les 7 niveaux de la Maison de l'Inde à la Cité Universitaire de Paris, finalement construite à partir d'une variante économique de l'entreprise, en ossature poteau-poutre associée à des murs à ossature bois en pignons et des planchers en lamellé-collé. Mais ce système hybride a nécessité un noyau central en béton pour assurer son contreventement. De plus, sur les deux chantiers, les conceptions à partir de constructions préfabriquées tridimensionnelles ont été abandonnées par les entreprises, faute de possibilité de stockage tampon *in situ*. A Troyes les volumes des chambres sont assemblés au sol sur un atelier forain avant d'être levés, tandis qu'à Paris cette logique tridimensionnelle est simplement abandonnée. Le petit édifice est réalisé avec une technologie innovante inutile tandis que le grand qui aurait pu justifier le recours à l'innovation est construit avec une technologie hybride éprouvée, plus adaptée au contexte de ce chantier et au savoir-faire de l'entreprise Rubner. Un autre exemple est le concours « Pour un habitat éco-responsable dense » exposé à Paris en 2009. Il imaginait une grille structurelle en bois associée à des noyaux de contreventement fait de murs-poids en gabions de gravats issus des démolitions du site. Des salles de bains préfabriquées comme des sous-systèmes industriels s'inscrivent dans ces noyaux archaïques. La façade en bois de l'édifice donnant sur le parc témoignait d'une rusticité presque champêtre tandis que la façade sur l'avenue De Lattre était revêtue de tubes sous vide capteurs d'énergie solaire des plus *high tech*.

Mais de toutes nos études de cas, le travail de Jacques Anglade est sans doute le plus représentatif de cette hybridation de niveaux technologiques, en renouant avec l'art du charpentier, augmenté des sciences de l'ingénieur, mélangeant les combles à chevrons-formant-fermes, les réseaux de poutres croisées sous-tendues issues de la culture des structures spatiales et les fermes médiévales en ciseaux. Les petites sections de bois massif rencontrent lorsque cela est nécessaire une poutre maitresse en lamellé-collé. De même les assemblages traditionnels à queue d'aronde –réalisés sur des machines numériques- sont renforcés par collage époxy et côtoient les ferrures métalliques brochées. L'art du charpentier a assimilé les technologies industrielles et les outils numériques pour retrouver son histoire.

On citera encore les assemblages clavetés de WikiHouse comme un surgissement d'un passé qu'on croyait révolu, dans un processus de fabrication numérique. Les plus sophistiquées des machines de l'industrie sont utilisées dans des logiques artisanales, individuelles qui tendent au bricolage. Les assemblages découpés par des fraiseuses numériques exigent encore des ajustages à la lime à bois pour compenser les variations d'hygrométrie. Le levage de ces constructions « à monter soi-même » ne se fait encore pas sans charpentier de métier.

Ces mêmes vieux assemblages à queue d'aronde, abandonnés dans l'architecture depuis au moins cinquante ans et qui n'existaient plus que dans l'ébénisterie se retrouvent aujourd'hui dans les travaux des laboratoires de l'IBois à l'EPFL, désormais capables de relier l'intersection de deux surfaces courbes, grâce à la maîtrise géométrique qu'offrent les outils numériques. La recherche de modes constructifs pertinents pour concrétiser les formes de l'architecture paramétrique conduit les chercheurs à analyser et comprendre les assemblages ancestraux de la vannerie et les pliages savants de la tradition japonaise de l'Origami.

De la même manière que David Edgerton ne perçoit la « créolité » des techniques qu'en déplaçant vers les usages le regard de l'historien des techniques habituellement techno-centré, notre démarche qui a consisté à observer les techniques depuis l'architecture et non l'inverse nous conduit aussi à constater ces phénomènes d'hybridation créative. Ils infirment une nouvelle fois l'hypothèse dominante d'un progrès linéaire et homogène des techniques fondé sur l'organisation *top-down* de la rationalité technique. L'architecture n'est pas qu'un simple domaine d'application

des techniques de construction. Elle est aussi le milieu dans lequel elles s'inventent par l'expérimentation.

Pour conclure cette partie, nous devons retenir que l'expérimentation des innovations techniques en architecture ne concerne pas seulement l'adaptation de nouveaux produits à des schèmes architecturaux existants pour en améliorer les performances techniques ou économiques. Chacune de nos études de cas montre que l'investissement porte aussi sur un renouvellement des savoirs, des méthodes de conception, des organisations collaboratives, des procédés de fabrication et des modes constructifs, comme une sorte de chaîne organique.

Quels sont les outils de l'expérimentation ?

Notre recherche nous a permis d'identifier l'usage régulier d'un certain nombre d'outils communs aux différentes études de cas. Il y a d'une part les outils de représentation et de prédictibilité de la complexité et d'autre part les outils de prototypage de cette complexité. Soit l'étape de formulation de l'hypothèse puis l'étape de sa vérification.

Outils de conception

Conformément à la tradition du métier d'architecte, la représentation du projet comme modélisation de la complexité demeure un premier outil incontournable. La première expérimentation d'une innovation technique passe par sa représentation complète en dessin. Dans nos études de cas, ces représentations accordent une large place à l'axonométrie qui permet de visualiser en 3 dimensions le comportement d'un élément par rapport à l'ensemble dans lequel il s'inscrit. Elles s'appuient aussi sur le détail constructif à grande échelle. Le travail de dessin est alors une tentative de contrôle de la constructibilité de l'édifice, dans une logique prescriptive. L'étape future de la réalisation est envisagée comme une étape d'exécution d'ordres dessinés. Ces dessins visent à ne laisser aucun « blanc » à l'interprétation de l'entrepreneur. Cette situation est assez logique en déduction même du fait qu'une modalité innovante n'est pas connue ; elle ne peut donc pas s'établir sur des conventions ou des retours d'expérience partagés entre les acteurs. De ce point de vue-là, le projet architectural est un outil de connaissance.

Depuis une génération, les outils de CAO ont renforcé le pouvoir de contrôle du dessin sur le projet, notamment en facilitant les représentations en 3 dimensions. Peu à peu, avec WikiHouse ou avec les projets menés par l'IBois, la production de coupes et de plans devient inutile puisque le modèle 3D contient d'emblée toute les informations. Le projet est représenté en un seul « document » qui est la maquette numérique, laquelle peut contenir toutes les échelles de conception et toutes les informations de morphologie et de réalisation.

A notre surprise, et même avant les développements des outils numériques, la maquette physique ne paraît pas avoir été un outil particulièrement déterminant dans la conception de dispositifs expérimentaux. Il y a très peu de photographies de maquettes dans les archives de Jean Prouvé. L'unique maquette du travail publié de Jean-Pierre Watel est surtout un modèle didactique présentant la grille d'ossature légère de la maison Leymonerie, mais à petite échelle, sans grande information constructive. Nos recherches n'ont par exemple pas identifié de production de maquette de détails constructifs. Cette particularité est sans doute propre à notre corpus, dans la mesure où nous savons par ailleurs l'importance qu'accordent à cet outil un bon nombre d'architectes contemporains engagés dans des démarches expérimentales comme Renzo Piano, Herzog & De Meuron ou encore les japonais de SANAA à Sou Fujimoto. Mais les modélisations numériques contemporaines offrent désormais une alternative efficace à la réalisation longue et laborieuse de maquette d'études difficilement modifiables. La complexité de l'édifice que le concepteur tentait de tenir toute entière en pensée était conçue et représentée à travers une série de dessins complémentaires qui s'informaient et se contrôlaient mutuellement. La reconstitution de la totalité de l'objet, à partir de la lecture simultanée de ses différentes représentations fragmentées demandait une dextérité intellectuelle spécifique à la culture de l'architecte pour pallier le risque d'incohérences entre les différentes représentations en plans, coupes et détails. Les maquettes numériques de Jacques Anglade, de WikiHouse ou de l'IBois simplifient désormais cette tâche d'interprétation et autorisent un accroissement des informations embarquées dans la représentation, jusqu'à celles concernant l'usage des éléments de construction. Nous ne reviendrons pas ici sur l'émergence des sciences de l'ingénieur et du calcul comme outils de prédictibilité du comportement des structures, mais nous devons noter qu'à nouveau les outils numériques renforcent cette prédictibilité, à condition que les schémas statiques observés soient déjà intégrés dans les règles de calcul. A défaut, une des missions de l'expérimentation est d'élaborer ces méthodes de calcul, comme le fit Robert Lourdin avec les structures spatiales ou comme le fait aujourd'hui l'IBois à travers ses thèses de doctorat. De même Jacques Anglade nous confiait la difficulté qu'il rencontre à traduire par le calcul algébrique les effets de frictions importants que génèrent ses

charpentes denses et qui lui permettraient, s'il pouvait les modéliser, de réduire encore le dimensionnement des pièces et des assemblages.

Outils de prototypage

Jean Prouvé dans ses Ateliers de Maxéville pouvait se passer d'études très détaillées parce qu'il disposait d'une équipe d'ouvriers qualifiés, dirigée par son frère, qui exécutait les prototypes à partir de quelques esquisses de principe⁹. Les retours d'expérience de ces premiers essais lui permettaient de mettre au point l'objet dans un processus itératif entre l'atelier et la planche à dessin. Le cas Prouvé est une logique industrielle accomplie où la conception, le prototypage et la production sont réalisés dans un même lieu. Parmi nos études de cas, le terme de prototype n'est d'ailleurs véritablement adéquat qu'avec le travail de Jean Prouvé. Les premières maisons ELCOHA de Jean-Pierre Watel dont celle présentée à la foire de Lille sont plutôt des démonstrateurs, c'est à dire des objets postérieurs au prototype, sur lesquels les mises au point ont été effectuées. Les démonstrateurs sont des prototypes aboutis destinés à convaincre le marché de la pertinence de l'innovation avant sa production régulière. Sans doute les ateliers d'ELCOHA ont été le lieu de nombreux prototypage d'éléments mais notre recherche ne nous a pas permis de les identifier. Les structures spatiales de Robert Lourdin comme les charpentes de Jacques Anglade s'apparentent plutôt à des démonstrateurs qu'à des prototypes, mais la frontière entre les deux définitions est ténue puisque l'échelle de ces édifices et leur économie ne permettent pas d'élaborer des prototypes complets avant la livraison du démonstrateur, exécuté sur le chantier comme lieu imparfait d'expérimentation. En théorie le véritable prototype est un objet-martyr destiné à subir les tests et à recevoir les mises au point, les modifications ou les adaptations dans un processus itératif avec la conception dont il est un outil. Il peut ne porter que sur des fragments de construction, dans lesquels s'expérimentent un concept, une technique, un assemblage, un matériau etc. Son objectif est toujours la vérification des hypothèses de conception et de faisabilité pratique, en fonction des possibilités des outils et de l'habileté des hommes. Il est aussi un indicateur du coût de production en fonction

⁹ Lavalou, *op. cit.*

du temps passé, déduction faite des gains de productivité espérés dans le cadre d'une fabrication banalisée. La difficulté dans le domaine de l'architecture est qu'un édifice innovant est un prototype qui a obligation d'être satisfaisant, sans droit à l'erreur puisqu'il est aussi l'objet final. D'où la prudence de l'action, d'où les lenteurs de l'innovation. La logique de la conception prescriptive qui se donne pour mission de remettre des études de conception dans lesquelles « tout est prévu » ne parvient jamais tout à fait à ses fins. La réalité est toujours plus complexe que sa représentation.

Les outils numériques, parce qu'ils synthétisent désormais mieux la complexité, diminuent les risques de la réalisation, sa part d'inconnu et donc le recours au prototypage. Nos études de cas montrent qu'ils n'en annulent pas la nécessité, pour quatre raisons.

La première est que notre mode d'élaboration des connaissances est incrémental et procède par sédimentation des retours d'expérience. De plus, à la différence d'un ordinateur, un grand nombre des informations que l'intelligence humaine agrège est recueilli par des voies cognitives, c'est-à-dire qui engagent notre corps. Par exemple, même si WikiHouse a bénéficié d'outils de modélisation numérique performants, il a fallu passer par le prototypage pour se rendre compte du caractère inapproprié des assemblages de menuiseries à l'échelle de l'architecture comme des sections insuffisantes des châssis initiaux. C'est aussi le prototypage qui a peu à peu régularisé une trame de portiques épais, calée sur la trame des panneaux de contreventement etc. Chaque prototype corrige les erreurs du précédent et s'attache à améliorer le dispositif, pas à pas. Tous ces aspects auraient certes pu être anticipés par la modélisation mais notre esprit seul ne peut pas tout. Il a besoin aussi de tous nos récepteurs corporels pour appréhender pleinement le réel.

La seconde est que si la modélisation numérique rend un peu moins nécessaire le prototypage en contrôlant mieux la complexité, elle le rend aussi beaucoup plus facile grâce aux outils de prototypage rapide comme les imprimantes 3D et les fraiseuses numériques. Une pièce dessinée sur ordinateur peut être prototypée très rapidement, sans la lourdeur de mise en route d'un processus de fabrication qui nécessiterait la réalisation de moules ou de gabarits. Ainsi, réaliser le prototype d'une WikiHouse est plus rapide et moins coûteux que celui de la Maison des Jours Meilleurs. Ce

prototype ne nécessite pas plus de place que l'encombrement de la fraiseuse elle-même. Le prototype WikiHouse de Millemont est réalisé dans un atelier installé *ad hoc* dans les communs du château qui accueillait le festival POC 21. Les autres prototypes l'ont été dans des « FabLabs » urbains pas plus grand que les ateliers de menuiseries d'antan.

La troisième raison favorable au prototypage est que la conception architecturale ne sait pas très bien anticiper la compatibilité entre un dispositif innovant et les procédés de fabrication, les outils, les savoirs faire et les métiers disponibles pour le mettre en œuvre. La conception peut maîtriser à merveille la synthèse géométrique et technique des éléments mais échouer par méconnaissance de leur condition de mise en œuvre. Les assemblages de WikiHouse ont un degré de tolérance si faible qu'ils n'acceptent pas les variations d'hygrométrie. De même il est difficile d'anticiper que toutes les clavettes pourront être frappées correctement, sans que la trajectoire du maillet ne soit bloquée par une traverse ou un panneau. L'ordre du montage, la stabilité provisoire de la charpente en cours de chantier sont aussi susceptibles de compromettre la conception. Jean-Pierre Watel a rencontré des problèmes plus graves encore d'adéquation entre le mode constructif à ossature légère et les conditions d'organisation des métiers de la charpente, en France, dans les années 1970. Prototyper c'est aussi vérifier les capacités du réel (au sens large) à accueillir de nouvelles idées, c'est se donner les moyens identifier au plus tôt les « fausses bonnes idées ». Ainsi la conception doit aussi être capable de prototyper les conditions particulières du chantier parce que l'érection d'un bâtiment est en partie fonction de son lieu d'édification.

La quatrième raison de la nécessité du prototypage est celle de l'élaboration de nouvelles règles scientifiques. C'est la raison des prototypes de l'IBois d'Yves Weinand qui visent à vérifier par l'expérience les hypothèses scientifiques soutenues dans ces recherches de doctorat. Ces expérimentations n'ont lieu ni dans des usines, ni sur des chantiers mais dans des laboratoires équipés de machines performantes, de banc d'essais et d'instruments de métrologie. Les prototypes sont certes des moyens de vérifications géométriques des assemblages complexes mais surtout des moyens de déterminer leurs caractéristiques mécaniques et d'en établir des constantes. Ils servent aussi la vérification de la transmission des efforts dans des structures spatiales

qui les répartissent de manière non-intuitive sur leurs surfaces globalement continues.

Les ATEx de Lipsky et Rollet sont aussi des prototypes qui participent à l'élaboration de nouvelles règles de construction même si nous pouvons regretter que leur objectif soit avant tout prudentiel. Ces expérimentations ont lieu pour partie dans les laboratoires du CSTB, et pour partie sur les chantiers lorsque l'élément ou le sous-système de construction soumis à appréciation ne peut pas être dissociée de l'ensemble auquel il s'intègre. Plus largement, les règles de construction s'écrivent et s'actualisent à partir des retours d'expériences des premières périodes expérimentales comme nous avons pu l'observer avec le renouveau de la maison à ossature bois en France. Mais cela se passe de manière assez diffuse, selon les remontées de sinistres, sans que nous ayons pu identifier des protocoles de suivi expérimental sur la durée, destinés à observer la performance ou la pérennité de tel ou tel dispositif.

Nous devons donc accepter que le processus d'expérimentation des innovations techniques en architecture ne soit pas réductible à un protocole simple et régulier. Il est pris dans le réseau complexe de l'architecture en tant que milieu, dans lequel il interagit. Le projet d'architecture est son fil conducteur. Il met en œuvre des outils de représentation et des outils de prototypages, utilisés parfois de façon itérative mais le plus souvent de façon séquentielle. Ces expérimentations sont aussi dépendantes des lieux dans lesquelles elles s'inscrivent, en fonction des questions qu'elles cherchent à résoudre. Le chantier est toujours un lieu incontournable de ce processus expérimental, avec la difficulté que les essais-erreurs n'y sont pas (trop) permis. Cette exigence explique la domination des logiques prescriptives et autoritaires sur les logiques ouvertes et collaboratives. Toutefois, malgré cette difficulté qui fait de chaque édifice un cas singulier, notre recherche a mis en évidence que les acteurs de l'expérimentation s'adaptent à cette situation fragmentée et poursuivent malgré tout leurs expérimentations sur des temporalités plus longues.

Quelle est la temporalité de l'expérimentation ?

Chaque projet étudié dans notre recherche se présente comme une séquence expérimentale courte, dépendante des spécificités du programme, du site, des acteurs et de l'économie de l'opération. Elle apparaît d'abord comme une démarche pratique, pragmatique, les mains dans le cambouis pourrions-nous dire. Elle vise à faire en sorte qu'un dispositif innovant particulier puisse « marcher », qu'il puisse s'intégrer à l'ensemble technique en même temps qu'aux schèmes architecturaux du projet. La synthèse est simultanément technique, morphologique et esthétique. Pour ses baraquements militaires de 1939, Jean Prouvé cherche à assembler entre eux des panneaux de bois avec des profils-serreurs métalliques qui jouent aussi le rôle de raidisseurs. Avec sa propre maison à Nancy, il cherche à adapter la forme de la toiture à l'élasticité des panneaux Rousseau dont elle est constituée. A Ermont, ses recherches visent à mettre au point le conformateur qui servira à réaliser des panneaux sandwichs cintrés comme unique module de construction. Jean-Pierre Watel s'acculture à l'ossature légère nord-américaine avec la maison Leymonerie après avoir tenté d'inventer un mode constructif industriel avec ELCOHA. Il intègre à ce mode constructif artisanal des éléments nouveaux comme les poutres treillis bois-métal pour obtenir des portées plus conformes aux aspirations de l'époque, dans une démarche d'appropriation et d'adaptation.

Et ainsi de suite pour chacun des projets observés dans chacune de nos sept études de cas. Nous avons tenté de recueillir patiemment et avec le plus de précision possible ces mille petites choses plus ou moins signifiantes, souvent dépendantes des particularités de chaque projet, pas toujours systématiques ou conceptuelles. Néanmoins, elles dessinent un tableau beaucoup plus cohérent et régulier qu'on ne pouvait le percevoir initialement. Elles font ressortir, de projet en projet, l'opiniâtreté des architectes étudiés, au-delà et malgré les spécificités de chaque projet.

De la souplesse des panneaux Rousseau découverte (peut-être un peu par hasard) lors de la construction de sa maison à Nancy au grand voile mince de la buvette d'Evian, Jean Prouvé a expérimenté avec constance le potentiel technique de ces panneaux industriels. De la nappe tridimensionnelle d'un hangar sur le port d'Honfleur au

paraboloïde hyperbolique de la piscine d'Aulnay-sous-bois, Robert Lourdin a mis une dizaine d'année à explorer les possibilités de réalisation de structures spatiales en bois, développé un art de l'ingénieur spécifique au matériau qui a renouvelé radicalement les métiers de la charpente et ses expressions architecturales. Des premières maisons ELCOHA à l'opération REx de Villeneuve d'Ascq, Jean-Pierre Watel a œuvré pendant vingt ans à développer l'industrialisation de la maison à ossature bois. Des logements étudiants de Troyes à la maison de l'Inde à Paris, Lipsky et Rollet ont poursuivi la même expérimentation de la construction industrielle en bois, à l'échelle de l'habitat collectif, en testant la faisabilité des différentes solutions possibles. Du prototype de Gwanjiu à celui de Sheffield, l'équipe de WikiHouse à mener avec constance, durant cinq ans, une expérimentation régulière sur un mode constructif entièrement numérique, de la conception à la fabrication. Ils ont développé la notion de « modèle souple » ainsi qu'un nouveau type de conception collaborative qui questionne l'organisation conventionnelle des métiers de l'architecture et de la construction. Charpente après charpente, Jacques Anglade a expérimenté un art du charpentier original fait de petites sections et de bois massif, comme une alternative critique à la production du XX^{ème} siècle, laquelle avait selon lui, certes atteint des performances inégalées, mais aussi un peu perdu son âme dans des procédés aliénants. Des premiers travaux de master sur les structures tressés ou plissés aux thèses de doctorat de Markus Hudert et d'Hani Buri, les travaux de l'IBois sont une expérimentation décennale de nouveaux modes constructifs qui s'attachent à identifier les conditions de constructibilité de l'architecture paramétrique.

Ces travaux, pris isolément pourraient apparaître très éloignés de la démarche scientifique, comme autant d'expériences à n=1, singulières, subjectives et non reproductibles. Pourtant, si l'on prend la peine de les observer sur une temporalité longue, ces expérimentations témoignent bien d'un projet, mené avec régularité : celui de l'invention de modèles d'architecture industrielle chez Prouvé ; celui de l'élaboration des structures spatiales en bois pour Lourdin ; celui d'adaptation de la construction à ossature légère nord-américaine aux conditions de production française pour Jean-Pierre Watel ; celui de la fabrication d'immeubles de grande échelle respectueux de l'environnement grâce à la construction bois pour Lipsky et

Rollet ; celui de l'invention d'un art du charpentier renouvelé, attentif à ses ressources naturelles et humaines pour Anglade ; celui de l'invention des modes constructifs de l'architecture paramétrique pour Yves Weinand. Malgré la singularité de chaque projet observé, les architectes conduisent sur le long terme des expérimentations ciblées sur des sujets circonscrits, avec une constance étonnante. En même temps, ces analyses d'édifices expérimentaux dont la production s'étend sur plus de cinquante ans nous permet de relativiser le rythme de l'innovation qui s'inscrit toujours dans une histoire des techniques, dans une généalogie de l'invention. Cette conscience du temps est un important outil critique contre la *doxa* contemporaine de l'innovation qui a intérêt à effacer l'histoire pour mieux promouvoir sa production « révolutionnaire ». Nous avons montré que le principal mode constructif de l'architecture écologique en bois, vanté comme une innovation depuis la fin des années 1990, remontait en fait aux années 1960 et qu'il était lui-même un transfert de la technologie artisanale du *balloon frame* nord-américain inventée au XIX^{ème} siècle, oubliant au passage la somme des connaissances produites au sujet de son industrialisation par Konrad Wachsmann dès les années 1920. Les panneaux de *cross laminated timber* sont certes une innovation contemporaine mais qui s'est construite sur la base d'une invention des années 1950. Les architectures paramétriques contemporaines comme le dernier pavillon français à l'exposition universelle de Milan sont, d'un point de vue structurel, des structures spatiales, théorisées par Robert Le Ricolais dans les années 1960 à l'Université de Pennsylvanie, expérimentées en bois par Robert Lourdin en France avant 1970, par Frei Otto en Allemagne (Halle de Mannheim 1976) puis par Julius Natterer en Suisse pour ne citer qu'eux. Ces outils numériques ne sont pas non plus tout à fait nouveaux, puisque le département d'architecture du MIT lançait son premier *paperless studio* il y a 25 ans tandis que les outils de fabrication numérique et la robotique sont utilisés dans l'industrie automobile depuis le début des années 1980. Notre recherche nous montre que l'innovation technique en architecture est une lente sédimentation d'expérimentations successives et de croisements d'informations, guidée par *the slow pace of mental adaptation*¹⁰.

¹⁰ Edgerton, *op. cit.* p.141

Quelle est l'économie de l'expérimentation ?

Notre recherche nous a permis de mettre en évidence plusieurs type d'économie de l'expérimentation. Une première est celle de la R&D privée, propre aux agences d'architecture. Une seconde est celle des politiques publiques de soutien, soit à la filière bois dans le cadre des REx, soit à la construction durable plus récemment avec l'appel international à idées « Pour un habitat écoresponsable dense ». Une troisième est celle des *collaboratives commons* dont WikiHouse est un exemple et qui repose sur l'économie du partage. Une quatrième repose sur l'économie de la recherche universitaire à l'IBois de l'EPFL.

R&D et industrie

Dans les milieux industriels, la R&D est un investissement qui mise sur la reproductibilité future de la chose expérimentée. Nous pouvons revenir à l'exemple des panneaux de bois contrecollés développés par l'entreprise Rousseau pour la réalisation desquels le fabricant a mis au point des outils spécifiques tels que les presses à panneaux. Elle s'est aussi associée avec P. Gauthier qui a apporté les éléments scientifiques nécessaires à la caractérisation des collages à fils croisés. Sans nul doute de nombreux essais d'abord artisanaux ont été effectués avant que la mise au point du produit devienne satisfaisante et offre une réponse simple, robuste et bon marché pour la construction de parois intérieures de silo à grains. Notons que cette entreprise était spécialisée dans la construction de hangars agricoles, aussi le développement de ce produit s'effectuait pour un secteur qu'elle connaissait donc bien. Cette phase d'expérimentation et de mise au point était un investissement qui escomptait la rentabilité d'une production en série sur un marché identifié. Ces produits innovants étaient protégés par des brevets d'invention qui garantissaient à l'entreprise une situation de monopole provisoire sur leur diffusion.

C'est aussi cette logique de R&D amortie dans une production en série que revendiquaient les architectes modernes lorsqu'ils défendaient le principe de modèles de maisons industrialisables. Cette organisation devait dégager le temps et les moyens financiers pour développer la maison comme un produit, en la dotant de toutes les innovations nécessaires aux attentes du marché. Selon l'argument-clé de

l'époque, ces nouveaux moyens de production permettraient d'atteindre le niveau de qualité observé dans la fabrication d'une automobile.

Les études de cas de notre corpus nous montrent qu'en architecture malheureusement l'économie de l'expérimentation ne déborde que très rarement du cadre de l'économie du projet dans lequel elle s'inscrit. Aucune des maisons de Jean Prouvé pourtant protégées par de nombreux brevets d'invention n'a connue de développement en série susceptible de constituer un type industriel rentable. C'est le principal reproche que firent les investisseurs qui s'associèrent aux Ateliers de Maxéville. Ils demandaient moins de prototypes et plus de production¹¹. Mais sans doute les premiers intéressaient beaucoup plus l'esprit créatif de Prouvé que leur production industrielle elle-même. Jean-Pierre Watel reconnaissait que les maisons ELCOHA furent développées par passion de l'architecture et de la technique, sans accorder les moyens nécessaires au développement commercial du produit pour amortir le coût des recherches sur une production massive. Avant eux, la *Packaged House* de Gropius et Wachsmann avait connu le même sort.

Robert Lourdin a longtemps tenu un double rôle d'ingénieur-conseil dans le développement des bois collés auprès des industriels de la charpente et de maître d'œuvre en charge de la conception d'édifices innovants. Cette situation lui a permis d'élargir son champ d'action en étant à la fois celui qui prescrit la construction et celui qui s'implique dans le développement des innovations technologiques nécessaires à sa réalisation. Toutefois ses structures spatiales sont restées quasiment des pièces uniques et ses recherches en la matière ont cessées au milieu des années 1970. Si le marché des constructions en bois lamellé-collé a connu une croissance exponentielle à cette période, ce fut sous des formes de charpentes conventionnelles en portées et travées, plutôt que sous les formes complexes et onéreuses de structures spatiales, lesquelles sont restées des œuvres exceptionnelles d'architecte-ingénieur. Les compétences acquises par Lipsky et Rollet en matière de construction en panneaux de bois contrecollés lors de l'expérience des logements étudiants de l'université de Troyes n'ont pas été « rentabilisées » sur d'autres opérations depuis. Cette expérience peut même être considérée comme économiquement négative

¹¹ Collectif. *Catalogue des expositions et du projet global Jean Prouvé 2012*, « Histoire et témoignages » Musée des Beaux-Arts de Nancy, 2012, pp. 69-146

puisque les architectes ont conçu leur projet de la Maison de l'Inde sur cette hypothèse, avant de devoir redessiner une seconde fois le projet avec la technologie proposée par l'entreprise adjudicatrice du marché. Pour terminer, les expérimentations aussi passionnantes soient-elles de l'IBois ou de WikiHouse sont toujours au stade du prototypage et n'ont pas encore trouvées de débouchés rentables ni engagées de production régulière.

La difficulté de l'expérimentation en architecture tient d'une part à sa fragmentation sous des séquences de projets différents les uns des autres, sans gage de reproductibilité. Elle tient d'autre part au problème de la multiplicité des acteurs, entre des maîtres d'ouvrage qui souhaitent avant tout livrer leurs opérations dans les coûts et les délais prévus, des entreprises soucieuses de dégager des bénéfices immédiats sur leurs mises en chantier et des concepteurs désirant faire œuvre, dont l'attachement à l'innovation est parfois plus au service de motivations personnelles, voire de stratégie de distinction, qu'au service immédiat de leurs clients. Par exemple construire les logements étudiants de Troyes avec des panneaux de bois contrecollé était une expérience intéressante pour les architectes qui « apprenaient » un nouveau matériau sur un édifice de taille modeste. En revanche le gain est moins évident pour le maître d'ouvrage dont l'opération aurait peut-être été moins chère avec des techniques de construction bois éprouvées et tout aussi écologiques. La difficulté de la R&D en architecture tient à la complexité de l'intéressement des uns et des autres qui n'est pas nécessairement partagé ou simultané. A nouveau, les structures classiques d'organisation de la maîtrise d'œuvre montrent leurs limites puisque les honoraires attribués à une opération ne financent qu'elle-même. L'investissement au-delà de ce qui est immédiatement utile à la mission n'est gagé sur aucune garantie de reproductibilité. Toutefois les organisations alternatives que nous avons pu observer n'apportent pas non plus de preuves convaincantes d'une meilleure efficacité économique. En revanche, considérant le long terme, les investissements de Robert Lourdin sur les constructions en bois lamellé-collé ont réellement renouvelé la filière bois ; les réflexions de Jean Prouvé puis Jean-Pierre Watel sur les logiques de constructions *meccano* à partir de produits ou semi-produits industriels sont aujourd'hui assimilées dans la construction courante ; nul doute que les travaux d'Anglade, de l'IBois de Weinand ou ceux de WikiHouse porteront aussi leurs fruits

de manière diffuse à travers la généralisation des outils numériques de conception et de fabrication. Mais la logique industrielle de R&D qui conduit à la production de brevets d'invention, lesquels garantissent une position de monopole provisoire sur leur exploitation n'est pas adaptée aux structures de production de l'architecture. Celui qui prend le risque d'une expérimentation fragmentée et étirée dans le temps n'est pas toujours de ceux qui en tireront les bénéfices. L'exemple de Jean-Pierre Watel est à ce titre édifiant puisqu'il n'a pas bénéficié des retombées de son travail de développement du mode constructif à ossature légère malgré le 'second souffle' que les problématiques environnementales contemporaines ont donné à cette technologie. A la différence des entreprises de la même période qui sont encore en activité aujourd'hui et bénéficient du renouveau de la filière, les agences d'architecture pionnières de ce mode constructif n'ont pas su conserver et transmettre le capital accumulé par ces expériences.

Politiques publiques de soutien à l'innovation

Notre corpus indique cependant qu'un certain nombre de tentatives publiques ont été organisées pour pallier cette difficulté structurelle à financer les opérations de recherche et développement. Elles sont des façons de mutualiser le coût de l'expérimentation en le partageant entre les acteurs privés et les pouvoirs publics. Nous devons d'abord citer les nombreuses références au soutien qu'apporta Eugène Claudius-Petit à Jean Prouvé et à son engagement dans la production industrielle d'édifices. Toutefois nos recherches ne nous ont pas permis d'identifier des formes originales de ce soutien, autres que des commandes publiques au cas par cas. Il semble que Jean Prouvé a avant tout agi en entrepreneur pariant sur la reproductibilité future de ses solutions constructives dont l'expérimentation fut financée sur fonds propres. En revanche, les opérations REx de la période de l'Industrialisation Ouverte sont bien une tentative de structurer la recherche et le développement dans la construction d'édifices sur une grande échelle, grâce à une politique interventionniste typique des ambitions de l'Etat français de l'époque. Nous avons montré que cette politique volontariste ne s'est pas réellement traduite dans les faits, autrement que par la mise sur le marché de quelques commandes publiques de soutien à une filière naissante, nommées un peu vite « réalisations expérimentales ». Elle n'est pas

parvenue à structurer un mouvement de recherche et de développement collectif et partagé, sinon entre le groupe d'architectes impliqués dans les REx-bois, mais de manière informelle, sans qu'il nous ait été possible de mettre à jour les restitutions de ces échanges. L'absence d'implication des maîtres d'ouvrages, tout comme la réaction défavorable des entrepreneurs à l'idée de dissocier les marchés de fournitures des marchés de poses, montrent que les REx n'ont pas su créer de situation d'intéressement partagée entre les acteurs.

De même, l'opération Villaboïis est considérée comme un échec pour la filière par tous les acteurs rencontrés. Qu'il s'agisse des REx ou de Villaboïis, les objectifs économiques tendus qui visaient à démontrer que la construction en bois était meilleur marché que la construction maçonnée n'ont pas permis de dégager les financements nécessaires à l'expérimentation préalable (et structurée) de modes constructifs encore méconnus.

Plus récemment, sous l'influence du Grenelle de l'Environnement de 2007, l'appel à idées « Pour un habitat écoresponsable densifié » présenté en 2009 lors de l'exposition « Habiter écologique » à la Cité de l'architecture à Paris s'inscrit dans cette logique de soutien public à la R&D en architecture. Parmi les 8 équipes concourantes¹² une majorité avait fait le choix d'expérimenter les atouts supposés de la construction en bois au sein d'un « métabolisme » global à l'échelle de l'édifice. Ces projets, dont celui de Lipsky et Rollet que nous avons analysé, présente les avantages du bois en termes de filière de production vertueuse, de modalités de chantier optimisées, mais aussi en termes de performances thermiques. Ils ont permis de pousser assez loin la connaissance du comportement du matériau au sein d'une nouvelle génération d'édifices. Mais cette connaissance est restée théorique, projetée et simulée sans être expérimentée en pratique. Selon la logique de fragmentation de l'expérimentation que nous avons mise en évidence, Lipsky et Rollet ont par la suite réalisé dans le quartier de Lyon-Confluence un édifice qui exploite ces connaissances acquises en termes de métabolisme climatique, mais ils l'ont réalisé en béton armé et non en bois. En revanche la maison de l'Inde est un grand immeuble à structure bois qui reste beaucoup plus conventionnel du point de vue de la gestion climatique et

¹² Ces 8 équipes sont : 1-Borchet-Lajus-Pueyo, 2-Fabienne Bulle, 3-Mario Cuccinella, 4-Herault-Arnod, 5-Olavi Koponen, 6-Lipsky+Rollet, 7-Philippe Madec, 8-Wolfgang Ritsch

thermique. Dans l'exercice classique de la maîtrise d'œuvre l'expérimentation n'est jamais tout à fait réalisée à fonds perdus mais sa reproductibilité est partielle et fragmentée, et reste dépendante d'une logique d'opportunité. Néanmoins, ce sont bien leurs investissements dans des démarches expérimentales qui ont permis à Lipsky et Rollet d'être identifiés par les maîtres d'ouvrage comme des partenaires qualifiés pour réaliser soit le premier immeuble d'habitation à énergie positive à Lyon, soit le premier immeuble de grande hauteur en bois, à Paris.

L'économie du partage

En marge de l'organisation conventionnelle de la maîtrise d'œuvre, WikiHouse s'inscrit dans l'économie du partage des *collaborative commons*. Ses expérimentations sont financées par des partenariats avec les éditeurs de logiciels ou des fabricants de panneaux de contreplaqué, voire par l'investissement de bureaux d'études comme Arup qui font ainsi l'acquisition d'une technologie naissante. Elles sont surtout financées par l'investissement bénévole des nombreux *makers* que compte la communauté WikiHouse. La mise en partage de la connaissance acquise, sur le principe de *l'open-source* est à l'opposé de la politique des brevets d'invention. La rapidité des prototypes successifs de WikiHouse a démontré la vitalité de ce mode d'organisation. Toutefois l'essoufflement récent du projet et les débats qui partagent la communauté montrent les limites de ce modèle économique fondé sur la gratuité. Nul doute qu'un grand nombre de développeurs bénévoles puisse se sentir « ubérisé », ou simplement trahis par celles et ceux qui verraient bien WikiHouse devenir une sorte d'IKEA de la maison individuelle.

L'économie de la recherche universitaire

Une dernière forme de modèle économique de l'expérimentation est celle de l'IBois de l'EPFL et s'inscrit dans une logique universitaire. Elle est financée par les deniers fédéraux, dans le cadre de programmes de recherche. Nous n'avons pas mis en évidence de partenariats avec des industriels ou des entrepreneurs privés. Si ces derniers existent, ils ne sont ni rendus publics ni mentionnés dans les thèses publiées. Nous ne sommes donc pas dans un modèle anglo-saxon d'université entrepreneuriale vers laquelle des industriels transfèreraient une partie de leurs investissements de

R&D. Notons simplement que la réalisation de la chapelle St Loup à Pomplales ainsi que le futur théâtre de Vidy sur les rives du Léman à Lausanne, dont la livraison est prévue fin 2017, sont des exemples intéressants d'application grandeur réelle des recherches menées à l'IBois. Ces démonstrateurs sont financés dans un cadre conventionnel de marché de construction. Ils sont réalisés en partenariat avec des architectes extérieurs à l'IBois, lequel ne peut pas, tout comme en France, être un acteur économique de la maîtrise d'œuvre. La chapelle St Loup a ainsi été réalisée avec l'agence Local Architecture et Shel, le bureau d'études privé d'Yves Weinand crée en association avec Hani Buri pour l'occasion ; le théâtre de Vidy sera réalisé en partenariat avec l'agence Atelier Cube de Lausanne.

Quelles sont les modalités de l'évaluation de l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

L'évaluation est une étape nécessaire de l'expérimentation. Pour être plus précis nous pourrions même dire que l'expérimentation est en soi une évaluation d'hypothèses originales. La grande majorité des sources restituant les expérimentations étudiées dans notre corpus sont produites par ou avec les expérimentateurs eux-mêmes. Il semble assez clair que le risque majeur dans le traitement des résultats de l'expérimentation soit le biais de promotion, au détriment d'une mesure objective de la pertinence ou de la faisabilité des dispositifs originaux objets de l'expérience. Il nous a fallu reconstruire ces objets expérimentés par des analyses constructives détaillées, détachées des discours promotionnels de l'innovation.

Nous pouvons cependant distinguer plusieurs formes d'évaluation dans le cadre de notre corpus. La première est celle de l'auto-évaluation par les concepteurs ou les industriels, au sein de processus expérimentaux scientifiques ou non, qui génèrent des itérations « essai-erreur ». La seconde est l'évaluation par le « marché » selon la réussite ou l'échec commercial de telle ou telle solution innovante. La troisième est l'évaluation scientifique à des fins de normalisation, c'est-à-dire lorsqu'un procédé innovant est accepté au sein des règles en vigueur, ou bien lorsqu'il justifie une révision de ces dernières. La quatrième forme d'évaluation est celle de la critique architecturale qui apprécie la pertinence d'un dispositif constructif innovant en l'interrogeant au regard des schèmes architecturaux dans lesquels il s'inscrit, en questionnant les manières d'agir qu'il engage et les qualités architecturales qu'il fabrique.

L'auto-évaluation dans le processus d'expérimentation

L'auto-évaluation de l'expérimentation est celle réalisée par le concepteur lui-même qui apprécie s'il a atteint ou non son objectif. Elle porte sur la performance technique et économique, mais aussi esthétique d'une solution nouvelle. Cette démarche a été

décrite en détail par Donald Schön comme le moteur de l'itérativité de la recherche, comme la preuve de la réflexivité du praticien tandis que le schéma intellectuel de la rationalité technique ne voulait le voir qu'en simple exécutant. Nos analyses des différents prototypes d'un même architecte sur le long terme témoignent de cette faculté d'auto-évaluation et d'améliorations successives des propositions. Cette phase d'auto-évaluation est nécessaire mais insuffisante car elle n'est pas crédible d'un point de vue scientifique, dans la mesure où l'expérimentateur est à la fois juge et partie. Nous avons aussi montré que les aspects négatifs de l'expérimentation étaient régulièrement escamotés dans des scénarios de communication promotionnelle qui visent à soutenir coûte que coûte les efforts investis. Il faut aussi souligner que dans une démarche industrielle, l'auto-évaluation d'une technologie ou d'un mode constructif en cours d'élaboration relève parfois du secret professionnel. Il n'est dans l'intérêt de personne de révéler les défauts d'un procédé en cours d'élaboration tant que celui-ci n'a pas atteint un niveau de maturité convaincant. Mais il faut aussi pouvoir assez rapidement prototyper ses idées pour en poursuivre l'évaluation.

Dans le champ de l'architecture, ce prototypage passe par la réalisation d'un édifice-test qui nécessite de convaincre un maître d'ouvrage qui financera l'opération. Jean-Pierre Watel connaissait sans doute mieux que quiconque les limites de la construction à ossature légère mais devait nécessairement communiquer positivement sur le sujet afin de trouver les financements de ses prototypes successifs. Le principe de conception collaborative de WikiHouse qui s'appuie sur le *crowdsourcing* présente à priori des avantages significatifs en croisant un grand nombre de regards différents sur le même objet. Cependant nous avons pu constater que cette auto-évaluation collective restait toujours à l'intérieur de la communauté qui demeurait solidaire dans ses discours promotionnels. Il nous a fallu décortiquer par l'analyse constructive les différents prototypes successifs pour comprendre ce qui ne marchait pas dans le prototype n en observant les modifications opérées sur le prototype $n+1$. Bien que peu documentée et difficilement traçable, cette procédure d'auto-évaluation est essentielle à la démarche incrémentale de mise au point des innovations par séquences d'expérimentations successives.

L'évaluation scientifique et la normalisation

Les évaluations scientifiques des innovations qui visent à leur normalisation sont assez facilement traçables. Elles portent sur la conformité des dispositifs proposés au regard des exigences de solidité, de pérennité et de sécurité des personnes. Elles vérifient aussi la validité des performances mesurables annoncées par les fabricants. Il faut néanmoins distinguer les procédures d'évaluation et de normalisation de produits ou systèmes, réalisés à l'initiative des industriels dans des conditions de laboratoire avant leur mise sur le marché, différentes des évaluations de ces innovations mises en œuvre en situation complexe d'édifices et qui interagissent avec les autres parties constituantes.

Les produits et les systèmes industrialisés sont évalués en France par le CSTB dans ses laboratoires et par ses commissions avant de recevoir les certifications qui leur garantiront l'agrément des compagnies d'assurances. La plupart des produits rencontrés dans nos études de cas, qu'il s'agisse des bois lamellé-collé de Robert Lourdin, des panneaux Rousseau de Jean Prouvé, des *Cross Laminated Timber* de Lipsky et Rollet ou des fixations par vis autoforeuses utilisées de Jacques Anglade sont passés par cette étape d'évaluation à des fins de normalisation. La procédure semble *a priori* claire, efficace et scientifique. Pourtant le rapport de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Techniques (OPECST) conduit par le député Jean-Yves Le Déaut et le sénateur Marcel Deneux intitulé « Les freins réglementaires à innovation en matière d'économie d'énergie dans le bâtiment : le besoin d'une thérapie de choc »¹³ publié en juillet 2014 se montre extrêmement critique à l'égard de l'action du CSTB, qu'il juge globalement contreproductive. Bien que son sujet soit sensiblement différent du nôtre, il nous apporte de précieux renseignements sur les procédures d'évaluation. Les auteurs dénoncent une organisation hyper-centralisée et endogame dont la lenteur semble plus relever de l'obstruction administrative à l'innovation sous l'influence de groupes de pression, que d'une sage prudence motivée par le principe de précaution. Ils

¹³ Le Deaut Jean-Yves et Deneux Marcel, *Les freins réglementaires à l'innovation en matière d'économie d'énergie : le besoin d'une thérapie de choc*. Rapport parlementaire de l'OPECST du 9 juillet 2014 <http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/rap-off/i2113.pdf>

constatent que la France est régulièrement en retard dans la certification des innovations par rapport à ses voisins germanophones et scandinaves. Nous l'avons aussi constaté avec notre étude de cas sur les projets de Lipsky et Rollet qui ont pu construire en France en panneaux de bois contrecollé cinq ans après leur mise sur le marché par des industriels allemand et autrichien, et en recourant à une procédure d'ATEX pour les façades. De même le premier immeuble de 7 étages est construit en France quelques années après des immeubles équivalents en Autriche, en Allemagne ou en Grande-Bretagne, en raison d'une évolution tardive de la réglementation incendie. Les parlementaires constatent avec étonnement que les membres des commissions sont surtout des professionnels issus des industries et des majors du bâtiment qui interviennent gracieusement à titre d'experts pour évaluer les produits innovants de leurs concurrents. Le rapport pointe la sous-représentation, voire l'absence d'universitaires dans ces commissions. Jean-Yves Le Déaut (député de Meurthe et Moselle) signale d'ailleurs avec regret que des établissements universitaires comme l'ENSTIB d'Epinal ou régionaux comme le CRITT ne soient pas associés aux procédures d'évaluation des procédés innovants issus de la filière bois, malgré leur excellent niveau d'expertise.

Ils dénoncent aussi le coût très important de ces évaluations, qui avantage les grands industriels établis et rendent l'innovation plus difficilement accessible aux jeunes entreprises. Par analogie avec l'Allemagne, l'Autriche, la Suède et la Finlande prises comme étalons de comparaison, le rapport préconise la fin du monopole d'un CSTB à la fois prescripteur de normes et prestataire d'expérimentations lucratives et demande que l'institution se concentre sur ses rôles d'établissement des réglementations et de conseils, laissant à des laboratoires indépendants, proches des universités, le soin d'évaluer la conformité des nouveaux produits aux règles en vigueur.

D'autre part ce même rapport remarque la faiblesse des connaissances scientifiques en matière de physique du bâtiment, discipline pourtant devenue essentielle dans le cadre de la transition énergétique. Cette faiblesse de la modélisation scientifique de la physique du bâtiment fabrique des conditions d'évaluation empiriques et tâtonnantes dignes des médecins de Molière, laissant place à beaucoup d'arbitraire dans les décisions, malgré leurs formulations savantes. Nous avons pu faire un

constat similaire lorsque nous interrogeons Robert Lourdin sur l'absence de lame d'air ventilée dans les panneaux de façade de Jean Prouvé. Il nous précisait alors ceci : « il n'y a pas de connaissance scientifique réelle sur cette question de lame d'air dans les bardages en bois, mais avec l'expérience nous savons que nous avons moins de problèmes s'il y a une lame d'air ventilée que s'il n'y en a pas. Cela ne veut pas dire que certains bâtiments construits sans cette lame d'air ne se portent pas très bien même trente ans plus tard. Mais la normalisation tend à éliminer les solutions les plus problématiques pour ne conserver que celles qui présentent le moins de risques. Ça marche comme cela le progrès en France, vous savez... »¹⁴. C'est aussi comme cela que la construction à ossature bois légère s'est peu à peu codifiée, rédigée sous forme d'un DTU qui s'est imposé comme unique façon de faire acceptée par les compagnies d'assurance, sauf à investir des sommes importantes dans des ATEx. A nouveau, ces expérimentations onéreuses ne sont pas envisageables sans perspectives d'amortissement à terme, c'est-à-dire sans réplique massive et industrielle. Bien que cette première incursion dans le monde de la normalisation soit encore extérieure à l'architecture, c'est-à-dire à la mise en œuvre de ces matériaux, produits et systèmes en situation complexe, elle nous apprend tout de même que toutes ces règles qui s'imposent avec autorité à la fabrique de l'architecture, dans le schéma vertical de la rationalité technique décrit par Donald Schön, ne sont pas toujours élaborées avec l'objectivité et l'impartialité scientifiques qu'elles revendiquent.

Le problème s'aggrave encore au sujet de leur condition de mise en œuvre et ce même rapport parlementaire devient accablant lorsqu'il s'agit d'évaluer les performances des édifices eux-mêmes. Les enquêtes menées constatent l'absence de protocole de vérification des hypothèses normatives en situation réelle, d'analyse des retours d'expérience en dehors des remontées de sinistres transmises par les compagnies d'assurance. Elles constatent que les évaluations en situation réelle ne sont que des évaluations de la conformité à la norme, rarement voire jamais des évaluations *a posteriori* de la pertinence ou de la performance du dispositif normalisé.

Nos études de cas menées sur un sujet différent nous conduisent à peu près au même constat. Nous pouvons revenir tout d'abord sur l'occasion manquée des REx de

¹⁴ Berthier, Entretien avec Robert Lourdin *op. cit*

mettre en place un protocole d'analyse et d'évaluation de la construction à ossature bois à partir d'un corpus d'édifices témoins. A ce titre le fichier synoptique de maisons à ossature bois réalisé par l'Ecole d'Architecture de Nancy sous la direction de Jean-Claude Bignon et François Lausecker est beaucoup plus précis et rigoureux que les bilans des REx publiés par le Plan Construction, lequel, à la fois juge et partie, tend à assurer la promotion de ses actions plutôt que de les évaluer. Encore une fois, si les REx ont nourri les bonnes pratiques ultérieures, c'est avant tout par les lentes remontées des sinistres qu'elles ont occasionnées plutôt que par une évaluation objective et scientifique des résultats de l'expérimentation. Mais à mesure que les bonnes pratiques s'établissent grâce à l'expérimentation, elles se calcifient dans un processus de normalisation, lequel interdit peu à peu de faire différemment de ce qui est réglementairement admis. Ainsi, des règles initialement édictées pour éviter de mal faire s'avèrent être aussi un frein aux volontés innovantes de bien faire.

Les expérimentations de Lipsky et Rollet, ou bien celles de Jacques Anglade s'inscrivent dans une économie classique de la construction d'édifices et ont donc une obligation à la conformité. Celle-ci s'obtient soit parce que l'expérimentation reste dans les limites d'interprétation de la norme, soit parce qu'elle la complète à la marge, grâce à des procédures onéreuses d'ATEX. Une expérimentation technique qui n'est pas acceptable du point de vue des règles normalisées de la construction reçoit ainsi une évaluation négative, quelles que soient ses performances objectives par ailleurs. Le rôle du contrôleur technique est de dire la conformité à la norme édictée en amont, pas de se livrer en tant qu'expert à une analyse de risques propre au cas particulier considéré.

La radicalité du modèle WikiHouse se heurte par exemple à tous les codes établis, qu'il s'agisse des modalités de conception comme des systèmes techniques. Son modèle fondé sur l'économie du partage ne dégage pas les ressources financières nécessaires à l'obtention des différentes certifications requises. La forte complexité constructive du prototype de Londres, et la lourdeur architecturale qui en découle, sont sans doute liées à la présence pour la première fois dans l'équipe d'un bureau d'étude conventionnel qui a œuvré à faire d'une WikiHouse une construction conforme, au moins d'un point de vue mécanique. Les derniers travaux de la communauté, tout comme le projet de fondation WikiHouse, ont porté quasi

exclusivement sur l'adaptation du modèle aux normes en vigueur, pour qu'il puisse être certifié, sans succès pour l'instant.

Les expérimentations de l'IBois de l'EPFL présentent un cas particulier, hors secteur de la maîtrise d'œuvre, dont les conditions d'évaluations sont typiques de la recherche scientifique. Les expérimentations y sont des constructions de dispositifs destinés à vérifier des hypothèses théoriques, mécaniques et morphologiques. Ces expérimentations passent par la réalisation de prototypes testés sur bancs d'essais qui en caractérisent les propriétés mécaniques. L'ensemble de la démarche scientifique est intégré à des thèses de doctorat soutenues devant des jurys, c'est-à-dire évalué par des expertises indépendantes, avant d'être publiées. En revanche, le nombre insignifiant d'édifices réels tiré de ces recherches ne nous a pas encore permis d'observer le processus de normalisation.

L'évaluation par le marché

Une troisième forme d'évaluation s'effectue par les faits, ou par la « sanction des marchés » pour reprendre un terme d'économiste. Elle porte essentiellement sur le rapport coût/bénéfice d'une innovation. De ce point de vue-là, il faudrait donc reconnaître que les expérimentations menées par Jean Prouvé, Konrad Wachsmann, Jean-Pierre Watel et les pionniers du renouveau de l'architecture de bois en France furent toutes des échecs. De même, l'absence de construction de structures spatiales par Robert Lourdin au-delà du milieu des années 1970, le caractère isolé des travaux de Jacques Anglade, l'enlisement actuel du projet WikiHouse ou encore le très faible nombre d'applications des modes constructifs élaborés ces dix dernières années à l'IBois devraient nous conduire à considérer que toutes ces recherches sont infructueuses. Mais il n'aura heureusement échappé à personne que ces « marchés » ne sont ni objectifs ni intelligents, mais plutôt irrationnels et grégaires. Il n'aura non plus échappé à personne que les logiques constructives contemporaines doivent beaucoup à des hommes comme Jean Prouvé. L'engouement récent pour la « grande innovation » des panneaux de bois contrecollés qui s'appellent désormais *Cross Laminated Timber Panels* oublie qu'ils sont les descendants directs des panneaux Rousseau mis au point dès les années 1950. De même, la technologie de la maison à ossature bois contemporaine est celle que développèrent Jean-Pierre Watel et

quelques autres dans les années 1970, simplement améliorée et augmentée de nouvelles performances thermiques. Les structures spatiales élaborées par Robert Lourdin sont désormais de retour sur la scène architecturale grâce aux outils numériques qui facilitent leur conception et leur réalisation. L'Histoire nous dira si les travaux d'Anglade, de WikiHouse ou de l'IBois connaîtront la même fortune sur le temps long. Mais en tout état de cause, notre recherche nous indique que l'innovation s'inscrit dans le long terme, par sédimentation, malgré les phénomènes médiatiques qui tendent à nous faire croire à l'immédiateté de l'invention et de son acceptation.

L'évaluation par la critique architecturale

L'évaluation par la critique architecturale vise à considérer l'innovation technique au sein des schèmes architecturaux. Notre recherche a montré qu'il est assez rare que la critique architecturale se concentre sur la question technique. Les écrits de Reyner Banham tels que *Theory and Design At The First Machine Age*¹⁵ ou *The Architecture Of The Well Tempered Environnement*¹⁶ restent aussi majeurs qu'isolés. *The shock of the Old, Technology and Global History since 1900*¹⁷ de l'historien David Edgerton s'inscrit aussi dans cette tradition anglo-saxonne d'une réflexion critique et philosophique sur la technique, sur sa nature, sur ce qu'elle engage en termes architecturaux, culturels et sociaux. Alors que ces enjeux étaient développés dans les revues d'architecture françaises jusqu'à la fin des années 1970, la critique architecturale contemporaine s'est beaucoup appauvrie depuis, cédant le plus souvent soit à l'hagiographie lorsqu'il s'agit d'études de cas historiques, les écrits sur Jean Prouvé en témoignent, soit à la promotion d'agence sous forme de « publi-reportage¹⁸ » futuro-centrés, annonçant la prochaine révolution sur un rythme bimensuel. Dans les deux cas, l'habileté rhétorique du commentaire mondain cache mal son inculture technique et l'absence de généalogie historique. Nous avons toutefois cité les *Deux essais sur la construction*¹⁹ d'Alain Dupire ainsi que les

¹⁵ Banham Reyner, *Theory and Design in the First Machine Age*, Praeger 1960

¹⁶ Banham *L'architecture de l'environnement bien tempéré*, op. cit.

¹⁷ Edgerton, op. cit.

¹⁸ AMC Hors-série Novembre 2016. Lipsky+Rollet architectes, portrait d'agence.

¹⁹ Dupire, op. cit.

réflexions sur la ‘tectonique’ menées par Cyrille Simonet et Jean-Pierre Chupin²⁰ mais qui sont des développements d’un concept forgé par le critique américain Kenneth Frampton²¹. Quelques articles de Pierre Chabard^{22,23}, Valery Didelon²⁴, d’Emilien Robin²⁵ ou d’Ariane Wilson^{26,27} paru dans la revue *Criticat* témoignent tout de même de l’existence d’une réflexion critique sur la technique dans notre pays. Nous espérons que nos articles sur les charpentes de Jacques Anglade ou sur le projet WikiHouse participent à cet effort. Ces réflexions tentent d’évaluer, par un travail indépendant d’enquête et d’analyse constructive, la pertinence d’innovations techniques au-delà de leurs discours promotionnels, de discerner leurs motivations et ce qu’ils impliquent pour la culture architecturale. Ce mode d’évaluation interroge le sens de nos actes sans accorder à l’innovation technique de vertus *a priori*. Néanmoins la compréhension technique détaillée des objets analysés est une étape nécessaire sans laquelle le propos ne parvient pas à dépasser le commentaire superficiel. C’est précisément ce que dénonçait déjà Reyner Banham pour qui le propos sur la technique des architectes modernes d’Europe continentale était : « semblable à celui que tiendraient des anglais discutant dans leur langue de politique française, tout en restant sur le sol anglais »²⁸.

²⁰ Chupin, Simmonet, *op. cit.*

²¹ Frampton Kenneth, *Studies in tectonics cultures, op. cit.*

²² Chabard, Pierre « Métropol Parasol, une ombre sur la ville » *Criticat* n°9 mars 2012

²³ Chabard, Pierre « Les structures d’un monde meilleur » *Criticat* n°5 mars 2010

²⁴ Didelon Valery « Retour à la pierre » *Criticat* n°6 Septembre 2010

²⁵ Robin Emilien « Le maçon espagnol » *Criticat* n°15 mars 2015

²⁶ Wilson Ariane « Objectif Terre » *Criticat* n°13 mars 2014

²⁷ Wilson Ariane « Date de péremption, voir l’emballage » *Criticat* n°17 mars 2016

²⁸ Banham, Reyner, *Architecture of the well tempered environment, op. cit.*

Quels sont les modes de capitalisation et de diffusion des connaissances acquises par l'expérimentation des innovations techniques en architecture ?

Les connaissances formulées par l'expérimentation technique en architecture sont pour partie des connaissances positives au sens scientifique du terme. Pour une autre partie, les objets expérimentés que cette activité produit agrègent un grand nombre de connaissances, différentes des données mesurables, classées par disciplines scientifiques. Elle se diffusent par des modes cognitifs mal identifiées par la recherche conventionnelle. Ces formes atypiques de connaissance sont d'une part contenues dans les édifices eux-mêmes, exploités sous forme de « références » et d'autre part contenues dans « l'expérience » personnelle des architectes.

Des connaissances positives

Parmi les connaissances positives que l'expérimentation des innovations techniques génère on citera tout d'abord les brevets d'invention, plutôt rares dans le monde de l'architecture. Notre recherche a permis d'identifier ceux déposés par Jean Prouvé tout au long de sa carrière ainsi que celui de Jean-Pierre Watel sur les *essentes* de terre cuite fixées sur rail aluminium, déposé en 1981 en partenariat avec Les Briqueterie du Nord. Notons cependant que Renzo Piano connaîtra une meilleure fortune avec ce type de procédé expérimenté et breveté pour l'IRCAM en 1990. Notre recherche n'a pas permis de mettre en évidence de brevet d'invention pour les maisons ELCOHA mais il est très probable au regard de la logique industrielle dans laquelle ce projet a été développé qu'il ait été protégé ainsi.

Les manuels de construction bois sont une seconde forme de capitalisation des connaissances positives produites par l'expérimentation, de *Holzhausbau – technik und gestaltung*²⁹ de Wachsmann en 1930 à *Holzbau Atlas*³⁰ de Natterer en 1979. Cependant, à l'exception de l'investissement de Robert Lourdin dans le tome VI de *l'Encyclopédie des métiers de la charpente*³¹, aucun des architectes de notre corpus

²⁹ Wachsmann *Holzhausbau – technik und gestaltung, op. cit.*

³⁰ Natterer *Holzbau Atlas op. cit.*

³¹ Coll. *Encyclopédie des métiers de la charpente op. cit.*

n'a pris part à de tels ouvrages. On citera toutefois la participation de Roland Schweitzer à la seconde édition de *Construire en bois*³² mais son rôle a été limité à la rédaction d'une introduction culturaliste. Il faut attendre le développement du CNDB et la mise en place en 1993 de ses publications *Détails bois* puis *Séquence Bois* et de ses formations continues pour trouver une forme de vulgarisation des connaissances en France, adaptée au public des architectes. Mais ces connaissances agrègent bien, de manière ordonnée et vérifiée, les fruits des expérimentations antérieures, incrémentés au fil des retours d'expériences sans qu'un lien direct puisse être établi avec les différentes expérimentations. Elles finissent toutefois par constituer un savoir partagé.

Les thèses de doctorat soutenues à l'IBois sont aussi une forme de capitalisation de connaissances positives, la plus universitaire par définition. Ces thèses visent à caractériser scientifiquement les nouveaux modes constructifs élaborés par le laboratoire, à l'interface entre les départements d'Architecture, de Génie Civil et de Mathématiques. Elles sont elles aussi destinées à faire évoluer les règles de construction sous la sollicitation de nouveaux types de morphologies architecturales. La dernière forme de capitalisation de connaissances positives est l'ensemble des textes de normalisation qui régissent la construction contemporaine en bois. C'est une forme de capitalisation qui digère et assimile les autres formes préalablement décrites. On citera notamment l'implication de Jean-Pierre Watel dans la rédaction du premier DTU « construction à ossature bois » ou encore la participation active de Robert Lourdin à l'élaboration des règles de calcul des charpentes en lamellé-collé et dont la présence au sein des organes de normalisation a été constante tout au long de sa carrière. De même, l'ATEX obtenu par Lipsky et Rollet pour la façade ventilée des logements étudiants de Troyes participe à cette sédimentation de l'expérimentation dans la normalisation.

D'une manière plus générale, nous avons pu constater que l'expérimentation interroge toujours la norme même si elle ne la fait pas évoluer immédiatement. La maison des Jours Meilleurs n'aurait pas reçu l'agrément de du ministère du logement au motif que son plan n'était pas conforme aux normes d'habitation de l'époque. De même le projet WikiHouse se heurte à toute la procédure normative de la production

³² Natterer *op. cit.*

architecturale. Ces « échecs » provoquent des situations d'étonnement qui invitent à questionner la pertinence des règles en vigueur. A l'échelle des grandes structures, les assemblages denses de Jacques Anglade ou les structures tressées de l'IBois oblige les ingénieurs à reconsidérer la prise en compte des forces de friction dans le calcul des structures. Le système de normalisation est assez cohérent dans ses principes et intègre peu à peu les innovations d'abord acceptées provisoirement sous forme d'avis technique ou d'ATEX avant de rentrer dans les DTU qui édictent les règles de construction dite « traditionnelles ». Chacun comprendra bien la sage prudence de la lenteur de la normalisation. La critique formulée par le rapport de l'OPECST ne porte pas sur la procédure elle-même mais sur son objectivité et son impartialité, constatant qu'elle est détournée au profit de jeux de pouvoirs de la part d'industriels en position dominante sur le marché et qui font obstruction à l'innovation de leurs concurrents potentiels.

Toutefois, ces textes normatifs isolent la question technique des enjeux architecturaux qui l'ont vu naître. De ce fait, la technique paraît objective et « aculturelle » mais il n'en est rien et nous soutenons une nouvelle fois que tous les dispositifs techniques innovants que nous avons étudiés se sont développés au sein de projets d'architecture, par invention ou par transfert, avant d'en être isolés à des fins de caractérisation scientifique. L'architecture est bien un milieu d'expérimentation des innovations techniques, contrairement au dogme de la rationalité technique qui voudrait que tout cela vienne d'en haut, dans un schéma vertical, des grands principes scientifiques vers les sciences appliquées puis vers l'architecture comme domaine d'application. En réalité la technique est une construction culturelle. Il faut pour s'en convaincre observer les formes non positives de connaissances que notre recherche a mis en évidence.

Des connaissances sous forme de références architecturales

Les édifices expérimentaux ou édifices-prototypes que nous avons étudiés capitalisent des connaissances de natures diverses, technique, esthétique, culturelle, économique etc. qui sont tissées entre elles dans la complexité du projet. Ils constituent la grande base de données des « références » des architectes, lentement

compilée et sédimentée dans les publications d'architecture, revues, monographies et expositions.

Chacun des édifices analysés dans le cadre de ce travail est une référence qui peut communiquer ses connaissances embarquées pour autant que l'on la fasse parler comme nous l'avons tenté au fil de nos sept études de cas. Ces références architecturales nécessitent un savoir-faire d'analyse (historique, constructive, de composition etc.) et d'interprétation. Elles nous renseignent sur les situations de cohérence entre un mode constructif et les dimensions économique, esthétiques, spatiales, de composition architecturale, dans un contexte programmatique et géographique donné. Elles nous informent aussi sur les compatibilités physiques et dimensionnelles entre les différents éléments architectoniques de la construction, de leurs modalités d'assemblage et de composition. Nous avons assez largement décortiqué ces relations de compatibilité entre toutes choses au sein de chacune des études de cas pour nous en convaincre : c'est bien le projet, en tant que milieu, qui fait exister les systèmes de formes et donc fait naître les dispositifs techniques dont ils sont consubstantiels.

Mais ces analyses de « références » mettent aussi en évidence un aspect qui n'est pas porté par les formes de connaissances positives que nous avons énoncées plus haut. Elles permettent de prendre conscience que les choix techniques des architectes étudiés sont influencés, et parfois surdéterminés, par des réflexions doctrinales qui évaluent les manières d'agir et tentent de formuler des alternatives. Ces informations à propos de la portée théorique de l'expérimentation sont principalement contenues dans les œuvres elles-mêmes. C'est vrai de Jean Prouvé atterré par le retard de l'organisation artisanale du secteur du bâtiment et qui travailla à transférer les méthodes de la production industrielle de son époque. C'est vrai de Robert Lourdin qui intégra les sciences de l'ingénieur à la conception des charpentes en bois. C'est vrai de Jean-Pierre Watel convaincu de l'absurdité urbaine et économique des grands ensembles construits dans la filière monopolistique du béton armé et qui essaya de proposer un modèle d'habitat dense mais de faible hauteur, construit en bois, parce qu'il avait observé aux USA que ce mode de construction était meilleur marché. C'est vrai de Lipsky et Rollet qui travaillent à rendre la construction industrielle contemporaine plus écologique en investissant dans le matériau bois. C'est vrai de

Jacques Anglade dont le travail formule une critique sociale et écologiste des conditions de production industrielle du XXème siècle et tente de retrouver l'art du charpentier en renouvelant ses pratiques, notamment grâce aux outils numériques. C'est vrai des membres de la communauté WikiHouse qui visent à se réapproprier la fabrication de leurs habitations grâce aux outils numériques contemporains et tente d'inventer un mode constructif accessible à tous, sans savoir-faire particulier. C'est vrai encore de l'IBois d'Yves Weinand convaincu que les outils numériques libéreront la créativité architecturale et s'attache à inventer des modes constructifs en bois, adaptés à leur potentiel théorique.

De la même manière ce sont les œuvres expérimentales elles-mêmes qui portent les informations relatives à l'hybridation des niveaux technologiques différents, à la « créolité » constructive. Ces dimensions relatives à la portée théorique de l'expérimentation ou à la nature hybride des œuvres ne sont lisibles que dans les œuvres, rarement dans les connaissances positives qui en sont tirées et qui se reformulent dans le schéma de la rationalité technique.

Des connaissances sous forme d'expérience professionnelle

Un dernier mode de connaissances non positives repose dans les individus eux-mêmes, dans ce que l'on nomme leur « expérience », de même racine étymologique qu'expérimentation. De même, il est dans le langage courant de parler d'une 'personne expérimentée'. Cette aptitude est celle de la capacité à établir les négociations avec les éléments de la situation, avec la complexité du projet, au cas par cas, dans une logique créative et réflexive. Elle offre l'agilité et la souplesse nécessaires pour adapter les principes et les règles de l'art aux différents contextes rencontrés.

Cette compétence professionnelle, essentiellement individuelle et incrémentale, a bien un mode de transmission, principalement oral : tous les architectes de nos études de cas ont enseigné, à l'exception notable de Jean-Pierre Watel qui donna malgré tout de nombreuses conférences dans les écoles. Le plus célèbre de ces cours est bien entendu celui que Jean Prouvé donna au CNAM entre 1957 et 1970³³. Jean-Louis Cohen a montré qu'il n'était pas organisé de manière scolaire, avec un plan

³³ Archieri, Levasseur, *op. cit.*

rigoureusement établi, mais avant tout animé par la culture technique et la curiosité du nancéen³⁴. Il n'en existe pas de photocopié, encore moins de manuel, de ce cours qui pourtant captivait son auditoire. La restitution la plus complète que nous en connaissons est l'ouvrage d'Archieri et Levasseur qui est une reconstitution du cours à partir des notes prises par les élèves et des croquis préparatoires que Jean Prouvé réalisait sur ses carnets, avant de les dessiner à la craie sur le tableau noir de l'amphithéâtre. Le plan qu'en donne les auteurs est un peu un inventaire à la Prévert qui accorde une grande place à l'analyse de références de bâtiments ou d'objets techniques divers. Ce cours ne présente pas de trace d'organisation selon la logique de la rationalité technique depuis les principes scientifiques jusqu'aux applications ; les connaissances transmises y sont toujours des connaissances en situation de projet, à partir desquels Jean Prouvé retraçait les idées, les méthodes, les procédés et les outils nécessaires à leur élaboration. Robert Lourdin enseigne encore aujourd'hui la science des structures en bois au CHEC à Paris (Centre des Hautes Etudes de la Construction). Un extrait de ce cours, présenté lors d'une conférence à l'ENSA de Versailles en 2012³⁵, nous indique l'importance qu'il accorde lui aussi à la présentation des connaissances sous forme d'études de cas complexes. Si Jean-Pierre Watel n'a pas enseigné autrement que sous forme de conférences données dans les écoles, ses confrères du renouveau de l'architecture de bois tel que Pierre Lajus ou Roland Schweitzer ont été des enseignants reconnus, à Bordeaux pour le premier, à Paris et Lausanne pour le second. Le cours de Schweitzer a longtemps été le seul cours d'architecture bois donné dans les écoles d'architecture françaises. Florence Lipsky et Pascal Rollet sont tous deux enseignants titulaires des ENSA. Le second est aujourd'hui un acteur incontournable de l'enseignement par l'expérimentation dont le succès du prototype *Canopéa* au concours Solar Décathlon 2012 en est une preuve par l'exemple. Jacques Anglade a enseigné quelques années les structures à l'ENSA de Montpellier, avant de renoncer à faire cours « devant soixante-dix ordinateurs portables ouverts » selon ses propres termes, preuve des limites des enseignements spécialisés donnés sous forme de cours *ex-cathedra*. Il a en revanche répondu avec beaucoup d'enthousiasme à notre invitation pour participer à un

³⁴ Cohen, Jean-Louis, « Des mains qui... voit, cours du CNAM 1958-1971 » in Collectif *Jean Prouvé, la poésie de l'objet technique*, Vitra design Museum GmbH, 2004

³⁵ ENSA Versailles, 16 Mai 2012

workshop constructif *Archaic box : back to basics* organisé à l'ENSA de Versailles en février 2017. L'enseignement est l'activité principale d'Yves Weinand dont la charge à l'EPFL se partage entre des cours de structure bois au département de Génie Civil, un atelier de projet au département d'Architecture, dont est issue la production présentée dans l'exposition *Timber Project* et son activité de directeur de l'IBois. Nous pouvons aussi considérer que la plateforme d'échange de WikiHouse est d'une certaine manière une plateforme pédagogique, horizontale, où se forment mutuellement les membres de la communauté, par solidarité autant que par intérêt. Notons aussi que Justyna Swat, représentante du *chapter* WikiHouse-France est elle-même enseignante à l'ENSCI (Ecole Nationale Supérieure de Création Industrielle). L'enseignement apparaît donc comme un vecteur essentiel de la transmission des connaissances acquises dans des démarches expérimentales. Cette situation tient sans doute aussi au fait que les concepteurs que nous présentons sont plus que d'anciens très bons élèves capables d'appliquer parfaitement dans leur exercice professionnel les connaissances acquises à l'école, mais qu'ils ont en plus la capacité de les remettre en question et de les renouveler. Nous retrouvons encore ici les notions de créativité et de réflexivité que le schéma de la rationalité technique ne prévoit pas. Il est d'ailleurs intéressant de noter qu'aucun d'eux n'a publié de manuel de cours, comme si leur mode d'enseignement, fondamentalement oral et précaire ne pouvait se cristalliser dans un ouvrage construit de manière cohérente et rationnelle. Mais encore une fois, cela ne signifie pas que les connaissances scientifiques, positives et organisées par disciplines sont inutiles ou impropres à la création architecturale, cela signifie simplement qu'elles sont incomplètes. Et il est tout aussi vain d'aborder la complexité architecturale uniquement à partir d'une recomposition des connaissances positives, que de penser y parvenir exclusivement par transfert de références, en méconnaissant la compréhension scientifique des phénomènes physiques qui les rendent pertinentes dans un contexte donné. Le « nous n'avons qu'à faire comme... » est à lui seul aussi absurde que le « nous n'avons qu'à appliquer... ».

Limites des résultats

Nous nous étions fixé pour objectif de démontrer que l'architecture constitue un milieu d'expérimentation des innovations techniques dans lequel s'adaptent et se finalisent des dispositifs constructifs de nature industrielle mais aussi dans lequel se renouvelle la technique, entendue comme l'ensemble des moyens et dispositifs par lesquels nous agissons sur le monde.

Pour le démontrer il convenait d'analyser avec précision une série d'édifices qui présentaient une approche constructive originale, afin d'en révéler le processus expérimental, dont les modalités sont énoncées en réponse aux sept questions posées précédemment.

En même temps ce corpus devait permettre une analyse sur le long terme pour mettre en évidence que l'expérimentation technique en architecture est certes fragmentée de projet en projet mais présente aussi des continuités passionnantes qui révèlent de véritables réflexions sur la technique, comme autant d'éléments de théorie de l'architecture.

Cette double échelle de recherche supposait donc une double analyse, à la fois diachronique et synchronique qui impose un corpus assez étendu. L'étendue de la tâche à traiter de ce double niveau d'information présente deux limites principales qui encadrent nos résultats et définissent leur intervalle de validité.

La première limite est définie par la précision de nos informations. Malgré l'exigence de détails avec laquelle nous avons abordé nos analyses constructives, il est évident que nous avons souvent manqué d'informations précises car l'expérimentation technique est un processus qui ne se condense que partiellement dans l'artefact final. A l'échelle d'un seul projet, de nombreuses hypothèses ou itérations de mise au point restent à jamais sur des calques d'études non conservés ou dans des conversations oubliées. Nous n'avons pas eu accès à la poubelle des architectes et leurs archives comme leurs mémoires sont sélectives. Notre compréhension de la démarche expérimentale est donc surtout fondée sur les évolutions comparatives de projet en projet, comme autant de prototypes successifs, mais le travail itératif opéré au sein de chaque prototype est plus difficilement restituable. Il porte encore donc une part d'imprécision sur les relations collaboratives entre les acteurs au sein du projet, sur

les effets de *feed-back* dans son développement ainsi que sur les conditions économiques particulières à chaque opération.

La difficile traçabilité de ce travail « interne » marque le seuil inférieur de notre échelle d'observation. Il pourrait être franchi par l'observation en temps réel de projet en cours d'élaboration, comme le faisait Donald Schön avec les présentations de ses professionnels observés à l'œuvre, mais qui présentaient l'inconvénient d'être à chaque fois des expériences singulières, à $n=1$, à partir desquelles il ne se privait pourtant pas de monter en généralité.

La seconde limite porte sur l'observation de l'expérimentation technique à partir l'entrée unique du matériau bois, parce qu'il est riche à la fois d'une histoire millénaire et d'une attractivité contemporaine. Mais il fabrique avant tout des modes constructifs dit « à ossatures » techniquement plus exigeants que les matériaux massifs. Pour reprendre la formule de Roland Schweitzer, le bois est un 'matériau structurant' qui oblige les architectes à intégrer ses exigences techniques sans doute bien plus fortement que celles du béton armé par exemple. D'autre part, le matériau bois a été tout au long du XX^{ème} siècle, et encore aujourd'hui d'un point de vue quantitatif, un *outsider* vis-à-vis des filières dominantes de la modernité. Il est donc plus propice que d'autres à cristalliser des doctrines alternatives et critiques. Lors du 5^{ème} Forum International Bois Construction bois qui s'est tenu à Nancy en 2015, Jean-Claude Bignon l'a d'ailleurs présenté de manière provocatrice comme un matériau « insurrectionnel »³⁶. Toutefois, nous avons montré que l'implication des architectes dans la construction en bois était loin de n'être qu'une activité de *boyscouts* désireux de reprendre la main sur la fabrication de leurs architectures à partir d'un mode constructif supposé facilement appropriable. Leurs implications dans les processus d'industrialisation et de normalisation en font des acteurs de R&D incontournables. Il reste que les hypothèses théoriques que nous formulons à propos de l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques et à propos de la dimension culturelle et politique des réflexions sur la technique se formulent sans doute différemment dans les autres filières de construction. Cette particularité symbolique du bois comme matériau « alternatif » constitue la limite haute de notre recherche et invite à prolonger notre observation, à partir du cadre

³⁶ Bignon Jean-Claude, *intervention du 16 Avril 2016*, 5^{ème} forum Bois Construction, Nancy, 2015

d'analyse que nous avons construit, vers les autres matériaux, avant de généraliser nos hypothèses à l'ensemble des technologies de construction, toutes filières confondues.

CONCLUSION

Si l'art de la thèse est la construction d'un objet de recherche, alors l'expérimentation technique en situation de projet est l'objet de celle-ci. Nous pouvons à ce stade de notre travail soutenir que l'architecture est bien un milieu d'expérimentation des innovations techniques, néanmoins nous ne pouvons prétendre avoir épuisé une question qui suppose une reconfiguration épistémologique entre architecture et technique. Mais à partir du cadre d'interprétation original que nous proposons, il est possible de poursuivre l'élaboration de cette connaissance à la fois théorique et pratique, dont les enjeux sont cruciaux pour l'architecture en tant que discipline comme en tant que métier.

Retour sur les hypothèses

Nous nous étions donné l'objectif de vérifier l'hypothèse de l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques. Nous avons d'abord distingué les interprétations possibles de la notion d'expérimentation et avons montré que l'expérimentation pratique en architecture est une démarche particulière qui ne se confond pas avec l'expérimentation scientifique, mais constitue bien une démarche intellectuelle à part entière. Nous avons aussi cherché à démontrer que même sous des conditions de production industrielles, le projet d'architecture est un milieu d'expérimentation technique, en raison des relations de co-fabrication entre ses constituants que nous avons mises en évidence. Néanmoins les différentes études de cas ont confirmé l'intuition de Gilbert Simondon, selon laquelle la fabrication

d'artefacts en régime industriel n'était pas seulement la poursuite des modes de production artisanaux par des moyens plus puissants. La logique du *meccano* et de ses pièces détachées fait de l'art de bâtir un art de l'assemblage, plus qu'un art du façonnage. Jean Baudrillard considérait l'analyse de Simondon comme essentielle lorsqu'il notait que : « *la technique [industrielle] ne fait pas que résumer des gestes antérieurs, elle invente d'autres opérations et surtout découpe le champ opératoire en fonctions ou en ensembles de fonctions totalement différents. L'abstraction de l'homme devant ses objets techniques, son aliénation spectaculaire, ne vient pas tellement du fait que ses gestes aient été remplacés, elle vient de l'abstraction du découpage fonctionnel lui-même et de l'impossibilité d'une intuition analogique de découpage par rapport aux gestes antérieurs* »¹. Cette formulation du fait écho aux propos de Dupire et *alii*² qui soulignaient eux aussi les difficultés qu'engendraient, dans le champ de la construction, le passage d'une logique de convention à une logique de prescription. Cette transformation de la technique pose, autant que nous avons pu l'observer, des questions cruciales au travail de composition architecturale qui doit désormais réassembler ces éléments selon des règles propres à chaque projet. Mais ces règles *ad hoc* ne coïncident pas nécessairement avec les découpages qui ont conduit à la conception des différents produits dont est composé un édifice aujourd'hui. Ce *hiatus* fait que l'architecture ne peut s'envisager comme un simple domaine d'application, ni même seulement comme un lieu de « finalisation ». Nos études de cas ont montré que ce *hiatus* est au cœur du travail de l'architecte. Le découpage de l'objet technique « bâtiment » y est sans cesse reformulé. Et encore, nous ne parlons ici « que » de la dimension fonctionnelle des édifices. A cela il faut ajouter que : « *nos objets pratiques fuient continuellement la structuralité technique vers des significations secondes, du système technologique dans le système culturel* »³. Pourtant, si ce deuxième terme de la problématique a été largement analysé tout au long des trente dernières années, nous avons largement fait comme si le premier terme était donné, c'est-à-dire comme si les moyens et dispositifs techniques à notre service existaient sous la forme d'un grand catalogue de solutions objectives et normalisées, régulièrement incrémenté par une ingénierie thaumaturge.

¹ Baudrillard, Jean *Le système des objets*, Ed. Gallimard, Paris, 1968, p.70

² Dupire *op. cit.*

³ Baudrillard *op. Cit.* p. 14

Nous espérons avoir démontré que les systèmes techniques ne parviennent pourtant à maturité que dans leur expérimentation en situation de projet. Nous devons ajouter qu'ils ont eux-mêmes objets de débats et de réflexions doctrinales au sein du champ de l'architecture, qu'ils sont des choix avant d'être des faits. En cela, nous devons soutenir ici que le « système technologique » dont parle Baudrillard n'est ni extérieur, ni étranger au « système culturel », il en est partie intégrante, insécable. Nous devons donc réapprendre à penser la technique comme une activité projective, c'est-à-dire qui s'invente et se définit, d'un point de vue pratique comme d'un point de vue théorique, dans des démarches expérimentales.

Notre corpus, centré sur le terrain de l'architecture de bois depuis l'après-guerre jusqu'à nos jours a confirmé ces hypothèses. Elles nous permettent d'avancer plusieurs éléments de théorie, valables au moins sur notre terrain :

La technique est bien une activité humaine projective qui ne peut pas être dissociée des contextes culturels, sociaux, économiques ou artistiques dans lesquels elle s'inscrit. Un dispositif technique, bien qu'il soit conçu pour répondre à une fonction, témoigne aussi de manières d'agir que nous déterminons relativement à notre rapport à la nature, aux organisations sociales que nous souhaitons, aux conditions de travail que nous acceptons, au niveau de confort auquel nous aspirons. Les œuvres architecturales étudiées nous ont montrées qu'elles étaient l'expression lyrique de ces réflexions sur nos manières d'agir.

L'élaboration de ces œuvres innovantes et/ou critiques qui interrogent la justesse de nos manières d'agir, passe par des processus expérimentaux dont nous avons pu identifier les modalités opératoires. Ces processus ne se contentent pas seulement d'agir sur les caractéristiques de l'objet créé, mais engagent aussi des réflexions sur les savoirs, les méthodes de conception et les procédés de fabrication nécessaires à l'opération considérée. Ils fonctionnent beaucoup par hypothèses d'analogies (voir comme, faire comme) et par transfert dans le domaine de l'architecture, de savoirs, méthodes et procédés qui lui sont extérieurs. Ces transferts sont expérimentés sous la forme d'hypothèses-test au sein du projet d'architecture que nous pouvons considérer comme un milieu. Le travail de mise au point itératif de ces expérimentations fait appel aux connaissances positives des sciences et des techniques mais pas seulement. Il appelle aussi à l'aptitude à négocier ces

connaissances avec les éléments de la situation et nécessite réflexivité et créativité. Ce travail est un enjeu de formulation du problème en même temps qu'un enjeu de résolution du problème, dans une relation récursive entre les deux termes et non pas séquentielle. Ce travail s'appuie d'abord sur les outils conventionnels de l'architecte qui visent à représenter par le dessin la complexité de l'édifice, à la simuler pour tenter de la circonscrire dans une démarche prescriptive. Notons que les outils numériques augmentent significativement cette capacité à simuler la complexité à travers des maquettes numériques qui se substituent désormais aux représentations fragmentées d'hier. Cependant l'expérimentation passe toujours par une phase de prototypage, nécessaire à l'appréhension complète des problèmes et notamment à ceux relatifs à la fabrication proprement dite, que les simulations par le dessin anticipent mal.

Ces expérimentations reformulent aussi le jeu d'acteurs au sein de la maîtrise d'œuvre et appellent à des pratiques collaboratives et ouvertes. Nous avons pu constater que les organisations séquentielles et normalisées dans lesquelles chacun est à sa place et joue son rôle ne sont pas propices à l'invention. Les pratiques plus ouvertes remettent aussi régulièrement en question la définition du rôle de l'architecte.

Par ailleurs, ce n'est qu'à partir d'un certain nombre d'expérimentations particulières, sur le temps long, qu'il devient possible de constituer de nouvelles connaissances positives. Le long terme d'une œuvre, à l'échelle d'une vie professionnelle est aussi le temps à partir duquel deviennent lisibles les évolutions de pensées qui renouvellent nos techniques. Le temps à partir duquel un architecte construit sa pensée sur la technique.

Nous avons pu observer que ces expérimentations, fragmentées de projet et projet, dont la portée ne se révèle que sur le long terme ne s'inscrivent pas dans un modèle économique cohérent comme on peut l'observer dans les opérations de R&D industrielles ou dans les programmes de recherche scientifique. Il n'y a pas de financement spécifique des études architecturales liées à l'expérimentation des innovations, parce que cette tâche ne relève pas d'une mission identifiée. Un certain nombre d'agences d'architecture font le choix de financer sur fonds propres cette démarche, comme un investissement à valoir sur les opérations ultérieures, lesquelles

ne sont ni garanties, ni reproductibles à l'identique. Nous avons identifié des formes de soutien public à l'innovation architecturale qui visent à mutualiser le coût de l'expérimentation, mais il nous a fallu reconnaître qu'elles ont surtout fabriqué des effets d'aubaine à court terme. Elles ont tout de même eu le mérite de lancer les premières réalisations de logements collectifs en bois. Il semble que le principal écueil à l'existence d'une économie de l'expérimentation structurée réside dans la difficile simultanéité de l'intéressement entre le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise.

Une autre difficulté de l'expérimentation pratique est qu'elle ne bénéficie pas de procédures d'évaluation rigoureuses et indépendantes, telles qu'on les observe dans les expérimentations scientifiques ou dans les activités de R&D. Nous avons pu identifier une première phase d'auto-évaluation par les praticiens eux-mêmes qui s'exprime à travers les itérations de mise au point du dispositif, au sein de chaque projet et aussi de projet en projet. Nous avons noté que les dispositifs expérimentaux sont aussi peu à peu évalués dans le cadre de leur normalisation même si les conditions scientifiques de ces évaluations sont sujettes à caution. En revanche les évaluations indépendantes des édifices expérimentaux, c'est-à-dire qui testent les performances réelles des dispositifs innovants en situation de complexité n'existent quasiment pas. L'évaluation des expérimentations techniques est aussi le parent pauvre de la critique architecturale, alors qu'elle porte pourtant le rôle essentiel d'en apprécier la pertinence au regard de leurs incidences culturelles et sociales et nous permet de considérer les questions techniques comme une activité projective, et non comme une application neutre de solutions imaginées en amont de la conception architecturale.

Pour terminer nous avons pu constater que le processus d'expérimentation des innovations techniques en architecture capitalise peu à peu ses connaissances acquises. Certaines sont des connaissances positives qui font évoluer les règles de l'art, les normes et les savoirs de la construction. D'autres formes sont plus diffuses, non traductibles en données quantifiables selon les catégories épistémologiques de la science puisqu'elles concernent la connaissance de la complexité architecturale. Cette connaissance s'agrège dans les œuvres elles-mêmes qui constituent la grande base de données des « références » à laquelle les architectes accordent un rôle très

important dans leur travail. Ils se diffusent aussi par l'enseignement, mais principalement sous une forme orale, comme en témoignent les nombreuses expériences pédagogiques des architectes étudiés, lesquels n'ont pourtant jamais publié ces connaissances sous forme de cours structuré, analytique et progressif.

Malgré son caractère diffus, peu compatible avec les démarches de l'expérimentation scientifique, nous sommes convaincus de l'enjeu de la maîtrise de l'expérimentation technique en architecture, c'est-à-dire en situation complexe. Pour revenir à la formule d'Edgar Morin, une société qui n'expérimente plus n'innove plus, elle doit alors importer des modèles, c'est une culture qui régresse⁴. Tout ce qui ne se régénère pas dégénère. La reconnaissance de cette capacité à l'innovation technique par l'expérimentation est une étape nécessaire à la transition écologique, faute de quoi cette dernière ne s'exprimera qu'au travers de normes alors qu'elle exige de repenser nos manières d'agir, notre rapport aux ressources naturelles, les technologies par lesquels nous les transformons. Au-delà de ces actions sur les ressources et les structures de production, la prise de conscience de l'édifice comme un métabolisme ou comme une « machine climatique passive » rend plus que jamais nécessaire l'expérimentation technique à l'échelle de l'édifice lui-même. Pour garder vivante la création architecturale dans sa relation à la matière, mais aussi pour partager l'invention avec le corps des ingénieurs, il est urgent de construire la reconnaissance de cette activité comme part entière du métier d'architecte. Dans ce but, nous pouvons énoncer cinq enjeux qui nous paraissent majeurs. Nous soutenons que la reconnaissance du travail d'expérimentation technique et donc d'invention technique en architecture est un enjeu pour a) la critique architecturale, b) la théorie de l'architecture, c) l'enseignement de l'architecture, d) la recherche en architecture, et e) l'exercice du métier d'architecte.

⁴ Morin, *op. cit.*

Un enjeu pour la critique architecturale

Nous avons montré que l'invention technique ne procède pas uniquement par application de règles et de connaissances scientifiques, en suivant le chemin vertical de la rationalité technique. Nous avons souligné l'importance des activités « latérales » des transferts de savoirs, méthodes et procédés. Ces activités reposent sur la capacité des concepteurs à l'interprétation, à l'adaptation et à l'hybridation des solutions envisagées. Les édifices que nous avons analysés sont tous « créoles » pour reprendre le mot de David Edgerton, en ce sens qu'ils ne sont jamais uniquement rationnels et technologiquement homogènes. Leur invention fait appel à des capacités de réflexivité et de créativité autant qu'à l'application de connaissances constituées. D'autre part, ces inventions techniques observées ne sont jamais seulement pragmatiques ou performantielles mais aussi déterminées par des réflexions éthiques ou doctrinales qui interrogent nos manières d'agir.

Si la technique est en projet dans l'architecture, si elle est comme nous en sommes convaincu, un fait social et culturel, alors elle doit être mise en débat. Comment agit-on ? De quels moyens et dispositifs nous dotons-nous pour transformer le monde ? Comment nos maisons témoignent de notre relation à la nature, de nos relations sociales et de nos organisations du travail ?

Les œuvres que nous avons étudiées portent ces questions et les expérimentent dans le contexte idéologique de leur époque. La critique architecturale doit se réapproprier la question de la technique et la mettre en débat parce qu'elle n'est pas neutre, parce qu'elle ne recouvre pas seulement des faits, mais aussi des choix. Elle doit aussi patiemment démonter les discours promotionnels futuro-centrés, fondés sur l'hypothèse du progrès technologique comme une chose positive *a priori*. Elle doit replacer les démarches innovantes dans leur généalogie historique et dans leurs perspectives théoriques. Elle doit montrer en quoi leurs expérimentations sont fondatrices du projet architectural et éclairer leurs dimensions sociales, culturelles et politiques.

Un enjeu pour la théorie de l'architecture

Paul Valéry faisait dire à Eupalinos : « Je ne sépare plus l'idée du temple de celle de son édification »⁵. La formule fulgurante du poète identifie une constante de la théorie de l'architecture qui souligne les liens entre la portée symbolique d'une œuvre architecturale et les conditions de sa fabrication. Cette idée qui traverse l'histoire de la théorie de l'architecture ne cesse de s'interroger sur la complexité des relations entre la fin et les moyens, leur récursivité, leurs itérations et parfois leur symétrie : *la réponse au pourquoi est souvent dans la question du comment*⁶. Il faut relire *l'Histoire de l'architecture* d'Auguste Choisy pour s'en convaincre.

Antoine Picon identifie la rupture entre la portée symbolique de l'architecture et ses conditions de production à la fin du XVIII^{ème} siècle, avec la naissance de l'ingénieur moderne, lors de l'apparition de l'Ecole des Ponts & Chaussées puis celle de l'Ecole Polytechnique. Selon lui, à partir de ce moment une spécialisation se met en place, l'architecte s'occupant de fonction et d'esthétique, l'ingénieur de technique. Pourtant cette séparation théorique n'a jamais vraiment eu lieu, ou pour le dire avec les mots de Bruno Latour, *nous n'avons jamais été modernes*. Les réflexions sur les techniques ont par exemple occupé une place dominante, voire centrale, dans la théorie de l'architecture au XX^{ème} siècle, précisément sur la question de l'industrialisation. Symétriquement de nombreux ingénieurs ont conçu d'audacieuses architectures, devenues des icônes du XX^{ème} siècle. Il faut attendre le milieu des années 1980 pour voir la théorie de l'architecture délaisser les questions techniques, au moins en France. Tout se passe alors comme si la fin n'avait plus que faire des moyens et que le corps de architectes disait à celui des ingénieurs : « débrouillez-vous pour construire nos dessins, le comment ne nous importe plus. Voilà nos choix fonctionnels et esthétiques, voici nos formes, construisez-les comme bon vous semble mais respectez-en chaque trait comme un musicien respecte chaque note du compositeur », oubliant que dans leur immense majorité les compositeurs ont d'abord une formation de musicien. La prise de conscience actuelle de l'échec de ce schéma de pensée dualiste permet de reconsidérer l'architecture comme foyer

⁵ Valéry Paul, *Eupalinos ou l'architecte*, Gallimard, Paris, 1923 p.15

⁶ Lanzmann Claude, *Shoah*, film documentaire 1985

expérimental des réflexions sur la technique. Si au XX^{ème} siècle ces réflexions ont été surdéterminées par l'industrialisation, celles que nous avons à mener sont surdéterminées par les enjeux de la transition écologique.

Un enjeu pour l'enseignement de l'architecture

Une autre priorité est celle de l'enseignement de l'architecture. La question de l'expérimentation technique s'y pose de deux manières. Elle porte d'abord sur le développement des enseignements par l'expérimentation, en abordant les connaissances de la construction en situation de projet, jusqu'à la fabrication de prototypes. Cette activité doit compléter l'enseignement des connaissances positives de nature scientifique, redevenir sa moitié disparue.

La seconde manière interroge l'enseignement de l'expérimentation, pour que cette activité soit théorisée et devienne plus que « faire l'expérience de ». Les modalités opératoires de l'expérimentation comme ses enjeux économiques, sociaux et culturels doivent être rendus explicites. Il s'agit de donner aux futurs architectes les outils pour participer de façon compétente et légitime à l'invention technique. Il faut ici insister sur cette question de la légitimité : aujourd'hui l'avis légitime sur la technique est celui de l'ingénieur. Nous devons nous donner les moyens intellectuels de partager cette légitimité pour que la technique soit un sujet de débat.

L'enseignement par l'expérimentation

L'enseignement par l'expérimentation est depuis quelques années un outil identifié de l'enseignement de l'architecture. Les Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau en sont l'expression la plus visible. Des expériences pédagogiques de ce type sont aussi menées plus discrètement dans quasiment toutes les écoles d'architecture, malheureusement avec des moyens souvent pauvres, sans commune mesure avec les objectifs qu'ils portent. De nombreux exemples positifs, tels que les défis du bois à L'ENSA de Nancy, ou les participations de l'ENSA de Grenoble au concours Solar Décathlon dont l'équipe fut lauréate en 2012 témoignent de l'essor de cette démarche. Notons que les équipes qui participent à ces manifestations sont généralement pluridisciplinaires, associant notamment des écoles d'architecture et des écoles d'ingénieurs. Il faut néanmoins distinguer les projets tels que Solar Décathlon qui portent clairement des objectifs d'innovation technologique, des expériences pédagogiques à proprement parler qui visent d'abord à apprendre par

l'expérience, de manière collective et enjouée. Le colloque⁷ organisé en 2016 à l'INSA de Lyon donnait un aperçu international de ces pratiques d'enseignement. Intitulé : « *Experiential learning in architecture and environmental design education / learning architecture by experimentation* », il présentait et discutait des pratiques d'apprentissage par « le faire ». Il faudrait relier cette ambition aux théories pédagogiques alternatives telles que celles que développaient Donald Schön⁸ ou Maria Montessori⁹ pour ne citer qu'eux. En effet, Cette démarche qui donne une importance capitale à l'initiative, au travail en équipe autonome, à l'apprentissage par l'erreur et l'auto-correction comme moyens de d'accéder aux concepts pourrait être mieux théorisée dans notre champ, si nous la rapprochions des réflexions similaires élaborés dans le champ pédagogique général.

A la suite de ce colloque, la revue *D'Architecture* a publié dans son numéro de décembre 2016 un dossier consacré à cette question¹⁰. Un article de Caroline Maniaque retraçait une généalogie de ce mouvement et présentait certaines de ses racines dans la contre-culture américaine des années 1960¹¹, Patrice Doat revenait sur ses expériences pédagogiques à l'ENSA de Grenoble¹² tandis que Marie et Keith Zawistowski, anciens élèves du Rural Studio de Samuel Mockbee, témoignaient de leur pratique d'enseignement au Virginia Tech, USA. Ces articles exposent des pratiques pédagogiques alternatives comme moyen d'accès original et stimulant à la connaissance, des pédagogies par le faire, en contact avec les matériaux, par l'engagement du corps. Néanmoins ce discours sur le « faire » porte aussi sa part d'ombre lorsqu'il s'oppose chez Marie et Keith Zawistowski à l'« intellectualisme », comme si l'acte de « faire » était une chose suffisante, une pédagogie en soi¹³. Nous devons pourtant la considérer comme un outil parmi

⁷ Colloque *Experiential learning in architecture and environmental design education / learning architecture by experimentation*, organisé par les Grands Ateliers à l'INSA de Lyon les 17, 18 et 19 octobre 2017

⁸ Schön Donald, *Educating the Reflective Practitioner*. San Francisco: Jossey-Bass, 1987

⁹ Montessori Maria, *The Advanced Montessori Method, Vol. I: Spontaneous Activity in Education; Vol. II: The Montessori Elementary Material* Ed. Kalaksherta, 1917

¹⁰ Coll. « Dossier : peut-on inventer en apprenant ? Design/build et apprentissage expérientiel » *D'Architecture* n°250, Déc. 2016-Fév. 2017, pp69-107

¹¹ Maniaque Caroline, « Se former en construisant : l'expérience à l'échelle 1 » *D'architecture* n°250 *op. cit.* pp.70-75

¹² Gauzin Müller Dominique, entretien avec Patrice Doat, « Vers une pédagogie dynamique et créative » *D'architecture* n°250 *op. cit.* pp.79-81

¹³ Zawitowski M. et K. « Brian MacKay-Lyons, la Résistance », *D'architecture* n°250 *op. cit.* pp. 94-96

d'autres, qui n'exonère pas les étudiants d'une réflexion théorique préalable sur les choix de conception, fussent-ils prédéfinis par un ensemble de moyens pratiques et physiques mis à disposition. Avant de faire, il faut bien tenter de répondre à la question « comment faire pour bien faire ? », question intellectuelle s'il en est.

Il nous semble que le succès de ces *workshops* tient encore en partie à leur caractère évènementiel, favorable aux opérations de communication désormais nécessaires à la « valorisation » et au « rayonnement » des écoles d'architecture. Notre recherche nous montre que ces pratiques gagneraient à être théorisées d'un point de vue pédagogique en tant qu'activité consciente, fondée sur des hypothèses, énonçant ses méthodes et ses modalités opératoires telles que nous les avons esquissées. Le projet international Solar Décathlon en est un bon exemple, même si son orientation technophile peut être critiquée. Il n'est pas seulement un apprentissage par l'expérience mais une expérimentation architecturale et technique à part entière, innovante, réalisée en milieu universitaire, évaluée et dont les acquis peuvent être capitalisés sous forme de connaissances positives. Il permet de relier les connaissances, de retisser les liens par-dessus les coupures épistémologiques. Il démontre que sous certaines conditions de partenariats, les écoles d'architecture peuvent devenir des acteurs de l'expérimentation des innovations techniques en situation de projet.

L'enseignement de l'expérimentation

A la différence d'un enseignement par l'expérimentation, c'est-à-dire dans lequel l'expérimentation est un outil pédagogique, nous devons mettre en évidence la nécessité d'un enseignement de l'expérimentation technique en architecture. Cet enseignement, fondé sur les résultats de cette recherche, vise à réintroduire les enjeux de l'invention technique dans la création architecturale et vice-versa. Plus encore, cet enseignement énoncerait que la technique est en projet dans l'architecture. L'histoire de ce projet ne peut plus être écrite comme une ligne droite vers le progrès, axée uniquement sur l'amélioration des performances, mais engager une réflexion critique sur la justesse des moyens par lesquels nous agissons sur le monde.

Le processus expérimental pratique opère sur les savoirs, les méthodes, les procédés de fabrication, les produits et les jeux d'acteurs de l'acte de bâtir. Il doit être

évaluable pour permettre de capitaliser des connaissances, mais aussi parce que l'évaluation est le premier pas vers la reconnaissance de l'erreur et sa correction. Tout au long de nos recherches nous avons été frappés par l'empirisme avec lequel les acteurs étudiés abordent ce processus. Cette situation ne tient pas qu'au caractère fragmenté de cette démarche, de projet en projet, elle tient aussi, nous semble-t-il, à son absence de formulation théorique. L'organisation intellectuelle de la rationalité technique qui a dominé le XX^{ème} siècle était un paradigme d'organisation des connaissances qui ne prévoyait pas d'invention technique possible à l'échelle de l'architecture mais seulement l'application de dispositifs inventés en amont par les sciences de l'ingénieur, ce qui n'est qu'à moitié vrai. Nous avons montré que la création architecturale générait un grand nombre de problèmes liés à la complexité de l'édifice et à l'ordonnancement du projet d'architecture et que les hypothèses techniques innovantes devaient être vérifiées dans une phase d'expérimentation en situation de projet, dans une relation d'invention partagée. Mais cette phase d'expérimentation que nous avons décrite n'est pas reconnue dans le schéma de la rationalité technique, elle n'y a pas de place, alors qu'elle ne cesse pourtant d'avoir lieu, incidemment. Cet enseignement de l'expérimentation technique en architecture est celui de sa reconnaissance, de l'énoncé de ses outils, de ses modalités et de ses buts.

L'objectif n'est pas de rendre rationnel et explicite le processus à la manière d'un algorithme qui en contiendrait le code reproductible. Il faut mettre en évidence l'importance de la créativité et de la sérendipité dans l'invention technique, le rôle des hypothèses exploratoires, des *what if?* et surtout montrer que les systèmes de formes font exister les dispositifs techniques autant que l'inverse, dans une relation de co-fabrication. Ce n'est qu'à ces conditions que les pratiques architecturales pourront renouer avec une culture technique enfin désinhibée de la grise autorité de la rationalité technique.

Un enjeu pour la recherche en architecture

Comme pour l'enseignement, l'enjeu de l'expérimentation pour la recherche en architecture est double. Nous ne pouvons prétendre avoir épuisé la question et nous espérons que la recherche sur l'expérimentation technique en architecture sera poursuivie par d'autres travaux pour en enrichir et en préciser la connaissance que nous en avons constituée sur un corpus encore trop réduit. D'autre part, le deuxième enjeu est celui de la recherche par l'expérimentation technique à l'échelle de l'architecture, comme forme de recherche et développement.

La recherche sur l'expérimentation technique en architecture

La recherche sur l'expérimentation en architecture que nous appelons de nos vœux poursuit le travail esquissé dans cette thèse, dont nous avons précédemment indiqué deux limites.

La première est celle de la difficulté à reconnaître les modalités de l'expérimentation en train de se faire, au sein du projet dans la mesure où les archives comme les mémoires sont sélectives. Rentrer à l'intérieur du processus permettrait de le décrire plus finement que par l'analyse de ses résultats, lesquels portent nécessairement une part d'interprétation. Un projet de recherche par immersion au sein d'une agence d'architecture pourrait être une bonne méthode pour vérifier et affiner les hypothèses que nous avons avancées. Ajoutons à cela que ce type de partenariat avec une agence d'architecture pourrait être financé avec des dispositifs comme les bourses CIFRE.

L'autre limite de notre travail, centré sur le bois dans le contexte français nécessite d'élargir le corpus vers les autres matériaux, sur des territoires plus vastes. Nous sommes conscients que le bois est le matériau de prédilection des architectures militantes, alternatives qui portent la plupart du temps un engagement politique contestant la domination de la filière du béton armé et donc de l'économie *mainstream* du secteur de la construction. Nous avons toutefois l'intuition d'analogies possibles entre notre enquête et ce que nous pouvons observer par exemple dans la filière renouvelée de la construction en terre crue, ou celle des agro-matériaux, très médiatisées actuellement. Cependant, nos hypothèses doivent sans doute être reformulées un peu différemment dans la filière du béton armé ou dans celle de la construction en acier. De même, notre approche par le matériau a éclairé

plus facilement les enjeux de construction, de solidité de l'édifice que les enjeux de physique du bâtiment pourtant de plus en plus importants dans le cadre de la transition énergétique.

D'autre part, comment ces questions se reformulent-elles dans d'autres pays, lorsque les conditions d'exercice du métier d'architecte sont différentes, notamment lorsque l'étendue de ses missions intègre les études d'exécution, comme dans le monde anglo-saxon ?

Cette recherche sur l'expérimentation technique en architecture a aussi pour but de nous aider à construire des modalités d'évaluation indépendantes, dans le cadre de l'université. Les protocoles d'expérimentation scientifique sont élaborés pour être évalués, ce qui n'est pas nécessairement le cas des expérimentations pratiques que nous avons observées. L'invention de modalités d'évaluation indépendantes est une condition de la reconnaissance de l'expérimentation technique en architecture en tant qu'activité consciente, progressive et partageable entre les différents acteurs. Il est urgent de mobiliser une recherche universitaire indépendante capable d'élaborer des connaissances sur le sujet, faute de quoi les termes d'expérimentation et d'innovation demeureront encore souvent les alibis scientifiques d'opérations de communication professionnelle menées par des groupements d'intérêts économiques. Cette critique est aussi celle du rapport parlementaire de l'OPECST que nous avons cité et qui remet en question le monopole du CSTB sur l'évaluation des innovations techniques. Cette activité de recherche requiert des structures et des compétences qui interrogent les formes actuelles des laboratoires de recherche des écoles d'architecture. Leur transition vers des formes collaboratives en partenariat avec les écoles d'ingénieurs et les facultés scientifiques, en lien avec les politiques publiques de soutien à l'innovation est sans nul doute l'affaire d'une génération. Simplement nous sommes convaincus que les savoirs de conception ou de *design* des écoles d'architecture sont des compétences-clés pour la compréhension de la technique en situation de projet et son évaluation en situation réelle.

La recherche par l'expérimentation

Pascal Rollet identifiait la nécessité d'une « recherche finalisée¹⁴ » en architecture pour le développement des innovations techniques de la transition écologique du secteur du bâtiment. L'exemple de Solar Décathlon, sur lequel il s'appuie le démontre. Mais nous pensons que son point de vue demeure trop prudent et que l'enjeu n'est pas seulement celui d'une « finalisation » de la recherche qui porterait, à la marge, sur l'adaptation des innovations mais bien d'une co-production de l'innovation, portant sur la définition de ses objectifs autant que sur ses performances. Au-delà de la sobriété énergétique qui est le seul *aggionarmento* écologique que l'industrie du XX^{ème} parvient à faire, l'exploration d'autres leviers de la transition écologique, tels que les circuits courts, les filières bio-sourcées, ou encore les modes constructifs réversibles sont des enjeux d'innovation à part entière dont les formes architecturales et techniques contemporaines restent à découvrir. Les caractéristiques du confort d'habiter tel qu'il s'est constitué au XX^{ème} siècle grâce aux équipements techniques doivent elles aussi être débattues.

Le modèle universitaire de Solar Décathlon, bien que centré sur la seule recherche de la sobriété énergétique démontre la capacité de l'université à conduire des activités de R&D convaincantes. Ce modèle peut être transféré aux autres problématiques que nous venons d'énoncer.

L'occasion manquée des REx des années 1980 ne doit pas nous faire jeter le bébé avec l'eau du bain, mais plutôt réfléchir à ce que pourrait être le même programme s'il était ouvert aux compétences universitaires pluridisciplinaires et doté d'un cadre réglementaire dérogatoire adapté à ses objectifs d'innovation, substituant aux normes établies une analyse du risque au cas par cas, rigoureusement encadrée.

Ces REx « nouvelle génération » devraient aussi s'inspirer des travaux d'Ester Duflo¹⁵ sur le transfert des méthodes des essais cliniques dans d'autres domaines de recherche. Les opérations REx de l'Industrialisation Ouverte se sont noyées dans des ambitions multiples et démesurées rendant toute évaluation très difficile. Nous sommes convaincus qu'une approche plus modeste mais plus opiniâtre, traitant d'une innovation à la fois, sur un nombre de cas significatifs, comparés avec un échantillon

¹⁴ Rollet, *Les cahiers de la recherche architecturale et urbaine*, op. cit.

¹⁵ Duflo, op. cit.

de cas conventionnels permettrait de construire des retours d'expériences fiables. Encore une fois, si l'expérimentation pratique en architecture ne relève pas des canons méthodologiques de l'expérimentation scientifique, son évaluation doit s'y conformer. C'est à cette condition d'évaluation rigoureuse qu'elle pourra renouveler les procédures de normalisation et ne plus laisser aux industriels le soin de définir seuls les modalités de la construction.

Un enjeu pour le métier d'architecte

Dans son ouvrage *Du maître d'œuvre au disagneur*¹⁶, Bernard Marrey observe la dégradation du métier d'architecte au fur et à mesure de l'abandon de ses prérogatives techniques. Pessimiste, il considère que la profession devient une activité de communicants en charge de l'emballage esthétique d'édifices qui ne tire plus sa légitimité que de la loi. Le sujet de ce pamphlet porte sur la définition du rôle de l'architecte, autre grand enjeu de la théorie de l'architecture. C'est aussi cette idée que l'on retrouve chez Donald Schön lorsqu'il fait de la question « *How they're framing their role ?* » un aspect essentiel de la pensée dans l'action (*thinking in action*) des praticiens. Selon lui la définition du rôle est une chose toujours vivante, sans cesse remise en question, selon les époques, les écoles de pensées, les individus ou même selon les situations rencontrées. Cette réflexion détermine l'étendue et les limites de l'action de chacun, en fonction des objectifs qu'il s'assigne. Nous avons aussi observé cette question de la définition du rôle de l'architecte dans quasiment chacune de nos études de cas. Ses réponses multiples dépendent des buts que les acteurs se fixent comme des conditions dans lesquelles ils interviennent. Nous avons remarqué que les situations expérimentales les plus originales inventaient un cadre souple d'actions, hors de l'organisation séquentielle prévu par les textes réglementaires qui définissent le rôle de l'architecte.

L'autre verrou réglementaire porte sur la séparation brutale entre la conception, sur laquelle l'architecte jouit d'un monopole légal, et l'exécution, dont il est quasi-exclu au-delà d'un rôle de contrôle de conformité. Pourtant nous avons noté la nécessité d'une continuité et d'une itérativité entre les deux dans toutes les situations expérimentales observées. Encore une fois, la norme qui définit de manière rigide le cadre d'exercice est un frein aux démarches innovantes. Cette norme est pour partie fondée sur des exigences de prudence, mais elle est aussi un puissant outil de protection corporatiste qui, à notre avis, s'avère contre-productif en ce qu'il fait obstacle à l'adaptation du métier d'architecte aux réalités contemporaines. Elle le fige dans un rôle prédéterminé et limitatif.

¹⁶ Marrey, *op. cit.*

Néanmoins il est clair que les compétences de conception technique en situation de projet que nous avons mises en évidence devraient être valorisées dans des activités collaboratives de recherche et de développement pour autant que le métier d'architecte renoue avec sa culture technique. Cela demande une évolution du contenu des études d'architecture, des orientations de la recherche universitaire comme des conditions d'exercice du métier. Cela demande aussi des compétences d'analyse de risques plutôt que d'application de la norme, mais il est sans doute préférable de se savoir en danger plutôt que de se croire en sécurité. Cette évolution du métier est une condition *sine qua none* pour qu'une production architecturale renouvelée puisse enfin mettre en débat les moyens et dispositifs par lesquels nous agissons sur le monde, dans la perspective de la transition écologique.

ANNEXES

Entretien avec Roland Schweitzer, le 10 février 2011.

Lieu : domicile de M. Schweitzer 62, avenue de l'église 75015 Paris

Stéphane Berthier : *Je date provisoirement la période des pionniers de l'architecture de bois en France entre les années 1965-1985. 1965 parce que je ne trouve rien entre la Libération et cette date hormis la maison des jours meilleurs pour l'abbé Pierre de Jean Prouvé et quelques œuvres de Charlotte Perriand mais plus orientées sur le mobilier. 1985 parce qu'en 1979-1980 se tient l'exposition sur les maisons en bois au centre Pompidou, en 1983 a lieu l'exposition Villaboix en Gironde et cette même année sont publiés les bilans des opérations REX, à la suite de quoi l'État lancera une campagne pour la construction d'environ 6000 logements en bois en France. On peut dire dès lors que la période pionnière se termine et que l'architecture de bois rentre dans « le langage courant » de la production architecturale française.*

Roland Schweitzer : Il y avait un préalable. J'ai tiqué sur 1965 en lisant votre courrier parce que je pense que les choses commencent avant. La datation n'est pas tout à fait correcte, il faut sans doute remonter de 5 ans.

Mais je dois revenir sur l'évolution du bois en France, sinon on ne peut pas comprendre. Avant 1914, une maison sur deux en France est construite en bois ou à base de bois. En 1914, nous avons débouché sur une guerre de tranchée et le pays a mobilisé des professionnels pour les talus, les étalements, les abris, sous les bombardements. Pour faire ce travail on a pris les charpentiers et les menuisiers français. La main d'œuvre intelligente est restée en première ligne pendant toute la durée de la guerre et leurs pertes furent incroyables. Presque 100%.

A la fin de la guerre les villages des Alpes ou des Landes qui étaient entièrement en bois n'ont pas vu rentrer les hommes. C'est l'histoire de St Véran, plus haute commune de France, construite en bois massif. Ces villages ont progressivement disparus. A la reconstruction en 1918, on a gardé la menuiserie en bois mais la charpente s'est limitée aux toitures, mais le reste c'est devenu de la pierre et du béton.

Néanmoins, entre-guerres, il y a le palais du bois de Perret, superbe bâtiment de 1924, c'est pour cela que je suis allé chez Perret, pour apprendre l'architecture. Il avait construit ce palais du bois avec des madriers du commerce. Un projet presque japonais.

Puis arrive 1939-1945. La première chose dont on a besoin, ce sont des cités d'urgence pour les réfugiés. Elles étaient faites en bois, mais en bois industrialisé, panneau léger et non plus charpente traditionnelle. C'était du type du *balloon frame* réinterprété, mais tout d'un coup on construit en planches et non plus en madriers. Arrive la guerre, la défaite et la nécessité de loger des prisonniers et des réfugiés. Tous ces prisonniers ont été dans des *stalags* qui étaient des baraques en bois. Autre catastrophe de la guerre mondiale, les camps de concentration : baraques en planches. Voyez cette coloration qui s'installe tout doucement : le bois ce n'est pas sérieux, ça sert à loger des prisonniers, des réfugiés et les condamnés à mort des camps de concentration. Le bois devient quelque chose de misérable, et de plus on a perdu le savoir-faire en charpenterie pendant la guerre de 1914-18.

A la fin de la guerre, on s'est retrouvé avec des centaines de villes détruites à 80%, qui nécessitaient des logements d'urgence, des bureaux d'urgence, des centres médicaux d'urgence etc.

Qui pouvait répondre à cela ? C'est évidemment les quelques industriels du bois qui restaient encore, ils étaient 5 ou 6 à l'époque, mais avec une technique tellement rudimentaire qu'il était assez facile d'en augmenter la cadence. Et ces bâtiments ont été appelés des bâtiments provisoires. Le bois ne dure pas, il brûle, pourri etc.

Pendant la guerre, Jean Prouvé construit en bois, car il n'a plus accès aux métaux, fer, acier, aluminium, réservés à l'industrie militaire. Tous ses chevalets, portiques etc. il les a faits en bois durant la guerre mais sitôt la guerre terminée, il est revenu au métal, pour l'essentiel.

On arrive donc à ce lendemain de guerre avec une société qui garde définitivement en elle l'empreinte du bois comme matière provisoire, périssable, médiocre...

Les gens du bois que j'ai fréquenté à l'époque étaient plus enclins à vendre des panneaux légers que de faire de l'architecture de bois. L'organisme représentant la filière s'appelait le CTBA c'est à dire le

Centre technique du bois et de l'Ameublement parce qu'à l'époque, le chiffre d'affaire le plus important pour la filière bois, c'était l'ameublement. C'était les panneaux, industrialisés à grande vitesse.

Même le bâtiment du CTBA réalisé avenue de St Mandé à Paris a été réalisé en béton et non pas en bois. Tout le monde était contre le bois à part l'école de Bordeaux : Salier Courtois Lajus et Sadirac. Ces gens-là avaient les Landes à proximité, où il y avait une tradition de maison en bois. Ils ont retrouvé des traditions en important une modernité qui leur était propre. Ils ont fait mieux : le ministère de l'équipement, à la fin des années 1950 début 1960 avait pris l'habitude de faire des expositions de pavillons sur l'esplanade des Invalides, annuelles, où on a vu apparaître de très belles maisons en bois, d'ailleurs, provenant essentiellement de Bordeaux. Je suis sûr que Lajus a construit en bois avant 1965.

SB : *Roland Schweitzer, Pierre Lajus, Christian Gimonet, Jean-Pierre Watel... La liste des pionniers est-elle exhaustive, ne passe-t-elle pas à côté d'une figure importante de l'époque ?*

RS : Il vous manque quelqu'un qui a fait un travail d'appui important mais qui n'a pas produit : Denis Grèzes, un centralien.

Ces personnes ont commencé à avoir des contacts entre eux parce que nous partagions un même idéal, chacun à sa façon, mais nous voulions nous renforcer dans notre action. On a essayé de construire en bois (nous -RS, PL, CG, JPW), avec d'énormes difficultés, souvent refusés in extrémis par nos clients à cause de la réputation médiocre de l'architecture bois. Et puis ce qui s'est produit est extrêmement bénéfique puisque le Ministère de l'Équipement par le truchement de la Direction de la Construction a créé une cellule sur le développement du bois.

Dans la direction de la Construction, on s'occupait du préfabriqué lourd mais il y avait une petite cellule à cause du premier choc pétrolier de 1973. Dans les années 1970, la direction de la construction a eu l'idée de nous inviter pour participer à un groupe de travail pour promouvoir le bois. Cela a déclenché les opérations REX (réalisations expérimentales). Cette cellule du côté du ministère comportait un groupe d'ingénieurs. Nous avions des réunions régulières à Paris et on a commencé à travailler pour les REX.

Puis est venue l'action majeure de l'État qui relança la filière bois en dégageant des fonds pour les REX. Les REX ont été distribuées à un certain nombre d'architectes mais pas uniquement des architectes désireux de construire en bois. Comme cela, on arrive à une date importante : 1979 l'exposition à Beaubourg, décidé par les ministres de l'Équipement et de l'Agriculture D'ornano et Méhaignerie. D'ornano avait voulu un commissaire compétent, dynamique, et parmi les gens faisant l'affaire, ils ont préféré prendre le parisien, c'est à dire moi.

L'exposition a connu un succès inattendu, extraordinaire, 1,250 millions de visiteurs¹, enchantés et qui a débouché sur une décision étatique importante de financer 2000 maisons en bois.

Mais ces 2000 maisons ont été financées via les sociétés d'HLM, qui ont pris leurs architectes « béton » en leur disant : « vous mettez un peu de bois dans la maison... » et de façon tellement mauvaise qu'au bout de deux ans ce fût un fiasco.

Dans cette dynamique, il y eu aussi Villaboïs, concours mis entre les mains de la CDC, plus gros constructeur d'HLM de France et l'État est resté en dehors. Avec Pierre Lajus, nous avons été neutralisés tout de suite en nous nommant architectes en chef, donc nous n'avions pas le droit de construire, nous nous occupions vaguement du plan de masse !

Le jury était très mal composé si bien qu'on a pris du bon et du moins bon. On en a beaucoup parlé, c'est l'aspect positif. J'ai fait là-bas une de mes plus longues conférences. L'État m'avait demandé dans ce cadre de faire une conférence de 2 heures. Cette conférence a eu un succès incroyable, grâce à ma très riche documentation. Cette conférence fut très positive. Mais revenons aux REX. Ce fut une expérience très difficile. L'État dégageait des crédits et se réservait des opérations, données à des bailleurs sociaux. Ces gens-là touchaient le prix plafond, le prix de référence, et ils en retiraient immédiatement 10%. Donc nous nous sommes retrouvés à la tête d'opération que nous devions construire 10% moins cher que les constructions traditionnelles en maçonnerie.

Condition de production aggravante, la main d'œuvre qui n'était pas encore très rodée, très spécialisée. Cette situation nous a créé beaucoup de difficultés. Par exemple, à Strasbourg pour la CDC, j'ai fait 40 pavillons et l'entreprise a déposé son bilan pendant le chantier. Vous imaginez, des

¹ Chiffre sujet à caution. Par exemple, l'exposition Monnet au Grand-Palais qui fut un succès exceptionnel n'a réuni « que » 900 000 visiteurs.

maisons préfabriquées par panneaux de 8m, avec les fenêtres déjà dedans, vous les montez sur place, et le toit n'est pas encore en place et l'entreprise dépose son bilan : un désastre.

A la suite des REx et de ces difficultés, il y a eu un freinage et puis ça a repris sous des formes très diverses.

Vous connaissez *Séquence Bois*, dont je suis dans le comité de rédaction depuis le début. Avec l'ancien rédacteur en chef de *T&A*, Jean-Michel Hoyet, on a réussi à sortir un document qui a certaines qualités, avec des bémols. Le comité de rédaction qui se réunit tous les deux mois pour définir les projets retenus pour le prochain numéro n'est pas composé que d'architectes si bien que de temps en temps il y a des projets aberrants qui sortent. Cela dit, c'est une revue qui a créé un mouvement en France. *Séquence bois* est abondamment lu, notamment en province.

Il y a désormais aujourd'hui une culture de la construction bois et des entreprises qui sont structurées.

SB : *Quel était l'état de développement de la filière bois à l'époque 65-85 ?*

RS : L'état de la filière bois était catastrophique. Il n'y avait pas de filière.

Certes, il y avait déjà le lamellé-collé qui a joué un rôle politique, on a construit des halles de sports depuis très longtemps, et ces constructions ont parfaitement vieilli. Elles ont habitué les gens à rentrer dans des bâtiments en bois. Donc le lamellé-collé a aidé à la promotion du bois.

Plus tard dans mes travaux à l'EPFL, avec Julius Natterer, nous avons considéré que le lamellé-collé est un matériau cher, sophistiqué, et dont les capacités techniques sont telles qu'on peut faire n'importe quelle forme. On arrive ainsi à pervertir le bois en tant que matériau noble, avec ces usages. En suisse, à l'EPFL, nous avons recherché les qualités du bois noble, brut, massif. Cela nous a permis d'avancer grâce au laboratoire, de démontrer que le bois massif avait un avenir, dans des sections très fines.

SB : *Y-a-t-il eu des innovations significatives dans cette période ou bien l'exigence d'économie de moyens l'emportait-elle sur tout autres considérations ?*

RS : Nous avons toujours essayé d'apporter quelque chose de plus, mais bien sûr freinés par les prix et le manque de collaboration des entreprises désignées par la consultation. Je prends l'exemple de la rue Domremy qui était le premier bâtiment d'habitation HLM en bois, à Paris, depuis l'après-guerre. J'ai introduit l'étanchéité à pente nulle.

Les allemands de la revue *Detail* l'ont publié dans leur parution sur les façades. Ils ont choisi celle-ci pour la faire paraître comme exemple de façade en bois. C'est très étonnant parce qu'elle est très simple. La partie béton est devant en front de rue et sur le toit il y a deux étages en bois. En revanche les logements en cœur d'îlot sont entièrement en bois. C'était de l'ossature bois. Sachez que le bâtiment en béton, sur rue devait avoir une façade entièrement en bois, comme les deux étages de toiture. Un nouveau commandant des pompiers est revenu sur les engagements de son prédécesseur qui a refusé le projet au motif qu'il ne « signerait pas un cercueil ». Comme toute l'ossature bois était montée, j'ai mis un revêtement M0 en écailles de fibrociment incombustible. En haut c'est bien tout en bois.

Sinon, là où nous avons pu innover, c'est bien sûr dans des projets plus importants : la direction régionale des eaux et forêts de Châlons-en-Champagne avec Robert Lourdin comme ingénieur. Dans le jury du concours il y avait Watel et Lajus, et dans les concurrents Gimonet et Schweitzer...

Là j'ai innové, dans un esprit influencé par Prouvé. Les poteaux porteurs font 25cm de diamètre, les poteaux sont en dehors, c'est une exostructure en bois. Ils reprennent les planchers par des crochets porte-manteau en métal, très fins. Les planchers sont préfabriqués.

Sur des équipements publics bien financés vous arrivez à développer des choses intéressantes, en revanche, quand on est sur des programmes de HLM, malgré le financement spécifique, malgré les REx, vous êtes coincés pour développer l'idée de l'industrialisation ouverte faite de composants assemblés.

A contrario, il y a le cas spécial l'Auberge de Jeunesse de Brest en 84. Le pavillon du directeur était dans un parc avec des arbres centenaires. Aussi, suivant mes convictions, quand j'interviens sur un endroit pareil, je ne veux pas d'engins de chantier qui labourent la terre ni de fondations en béton qui brûlent les racines. Le maire étant extrêmement satisfait de l'auberge, je lui ai demandé de me confier le pavillon, entièrement en bois. Il a accepté.

Cette opportunité m'a permis de faire une structure poteaux-poutre avec des poteaux très fins de 10x10, sur un entraxe de 2m70 à la japonaise : c'est pour les tatamis, il y a 3 tatamis dans 2m70. Il

n'y a pas d'encastrement sur la trame poteaux-poutres ; ce sont les panneaux pleins qui assurent ce rôle.

Le projet est complètement cadré sur l'esprit Japon, avec une trame de 30cm.

Son rapport au sol permet de ne pas toucher à l'écoulement des eaux de pluie, les fondations sont faites de petits pieux forés. Ensuite il y a des connecteurs métalliques pour éviter le pourrissement du bois. Cette maison est délicatement posée sur le terrain, avec ses hêtres centenaires tout autour. Quant au plan, ici, dans le séjour, je ne pouvais pas me contenter d'une trame de 2m70, j'ai donc mis en place une poutre sous tendue copiée sur le Crystal Palace de Paxton (1851).

J'espérais pouvoir faire d'autres maisons comme celle-là. Son modèle a intéressé un constructeur de bois, WeisRock, fabricant vosgien de lamellé-collé. Il voulait construire un million de maisons de ce type-là, parce que le plan est complètement ouvert, vous pouvez faire ce que vous voulez ! Et naturellement, il n'a rien fait.

SB : *Les programmes de plein air ont-ils permis le développement de l'architecture bois ?*

RS : Ce qui fut important c'est que j'étais architecte conseil national de ces organismes, donc j'avais une grande autorité, je leur faisais beaucoup de conférences. J'ai construit pour eux des centres d'entraînement aux méthodes d'éducation active, des centres de jeunesse au plein air. C'était des gens qui me faisaient une totale confiance et c'est comme ça que j'ai pu construire ce type de programme, sans que le bois ne me soit demandé.

SB : *Vous faites souvent mention de votre passion pour l'architecture traditionnelle japonaise. Pouvez-vous m'en parler un peu ?*

RS : Le Japon a ouvert ses portes vers 1850, avant il était interdit d'accès. Puis il a établi des relations avec les USA, mais aussi avec la France. On est entré dans l'air du japonisme. Arrivaient par bateau tout un tas de petites choses, éléments, instruments et surtout les estampes qui ont été une découverte révolutionnaire puisque nos impressionnistes en ont été inspirés. La maison de Claude Monet à Giverny est remplie d'estampes ! Puis vient l'exposition de Chicago en 1884. Le Japon invité, incapable de rivaliser avec les réalisations occidentales propose d'envoyer un temple. Ce temple est implanté dans une île du territoire de l'exposition, et présente donc toute la science des structures japonaises de l'espace, des panneaux coulissants, des pilotis, des tatamis...

Il déclenche un intérêt fabuleux auprès des architectes, parmi lesquels Franck Lloyd Wright, mais aussi Adolf Loos, ce qui est moins connu. Loos n'était pas encore architecte, il était étudiant, boursier. Loos a écrit sur ce temple en disant que l'avenir c'était cette architecture-là. Wright n'en parle pas dans ses écrits mais on sait qu'il a commencé à collectionner les estampes, il en a eu plus de dix milles, il a fait deux expositions à NY en son nom, et puis quand il a eu des coups durs, il les a revendues.

Il a fait son premier voyage au Japon en 1905, en bateau, et a publié un reportage photographique. Et naturellement qu'est-ce qu'on retrouve sur ces publications : des temples zen, des temples shintoïstes, avec les toits débordants etc. Mais 1905 c'est aussi l'époque pendant laquelle Wright construisait Oak Park. A Oak Park, il travaille avec ces convictions japonaises, avec cette élégance, ces projets étirés, ces toits débordants, ces pilotis, ces socles surélevés. Son voyage au Japon l'a marqué, et ce qui l'a marqué c'est l'architecture organique, c'est les plans qui se composent avec la nature au lieu de s'imposer à elle.

En 1910 il reçoit la visite de Wasmuth, l'éditeur berlinois qui lui propose de faire un grand *infolio* sur ses œuvres de Oak Park. Après avoir refusé avec hauteur, il réfléchit et se dit, puisque c'est toujours eux qui nous donnent des exemples, pourquoi un américain ne leur donnerait pas des exemples à son tour ? Alors il accepte et se fait offrir dans son contrat un séjour d'un an à Firenze, dans une villa. Il redessine avec un aide tous ses projets jusqu'à 1910, jusqu'à la Robbie House. Ce document est vendu sous un grand *infolio* en allemand avec un succès incroyable, les première et seconde éditions sont vendues en quelques semaines mais ce document n'est pas arrivé en France car à l'époque elle régnait sur l'architecture mondiale, elle n'avait rien à faire de l'américain Wright. Ces perspectives sont toutes influencées par les estampes japonaises.

Ce livre est devenu la bible des grands architectes allemands dont Peter Behrens, lequel avait dans son atelier comme chef d'agence Gropius mais aussi Mies et Le Corbusier.

Il avait paraît-il l'habitude de dire quand il partait en voyage : « si vous avez des problèmes dans la composition de vos plans, regardez le bouquin de Wright »

J'ai pu acquérir ce livre il y a 30 ans aux USA, c'est un livre incroyable, c'est japonais mais c'est du Wright, le calme, l'horizontal du bâtiment par rapport aux arbres verticaux, la paix, la guerre, enfin tout y est !

Il existe aussi un lien très fort entre ce livre et Mies van der Rohe : le pavillon de Barcelone en découle directement mais revu avec sa propre sensibilité. Mies était beaucoup trop grand pour le copier, mais il l'a respiré.

J'ajoute qu'après la guerre, un de mes amis suisse a demandé à Mies de redessiner ses projets principaux, et notamment la fameuse maison en brique. Mies lui a donné une table, il est resté des mois à redessiner, et faire des publications. Puis un jour il a eu l'idée de faire un livre sur Mies et le Japon, alors que Mies n'était jamais allé au Japon. Mais il était sous l'influence du livre de Wright, du livre de Taut sur Katsura (je vous signale d'ailleurs que sa traduction française est en cours, il y en a encore pour une petite année). L'esprit est passé.

Donc voilà comment cette monographie de 1910 a irrigué un certain nombre de grands architectes en France, dont Perret ou encore Egon Eiermann (dont la maison personnelle à Baden-Baden est dans l'esprit des maisons japonaises).

Nous avons avec ma femme, qui travaille avec moi depuis 60 ans, fait des voyages d'études très structurés. Quand vous avez vu 50 temples, que vous avez vu qu'ils sont tous différents et pourtant qu'ils ont la même âme, ça fait réfléchir, c'est ce qui nous manque chez nous.

SB : Le Japon n'est-il pas toujours une source de légitimation facile qui revient comme une vieille lune dans le discours des architectes modernes, qui y puisent ou y prennent ce qu'ils veulent sans vraiment en saisir toute la profondeur culturelle ?

RS : Oui, vous avez absolument raison, mais il faut même aller plus loin, le Japon c'est 380 000 km², la France 550 000 km². Il y a le double d'habitants (125 millions contre 60 millions). Corsons la chose en disant que les forêts sont sacrées, qu'on n'a pas le droit d'y construire sauf des temples, voyez déjà. Sachez de plus qu'il reste aujourd'hui 60% de forêts au Japon. Ils ont ainsi introduit un dialogue avec l'espace qui est très particulier.

Quand je l'ai connu dans les années 60 et après, les paysans avaient des maisons aussi belles que les seigneurs, petites ou grandes mais sur le même modèle avec le rythme de tatamis (90x180). Et le contact superbe avec la nature ! Le moindre élément de nature était magnifié. Un vieil arbre comateux était soutenu. Et puis surtout l'utilisation de l'espace, l'espace libre comme Rietveld a essayé de le faire à Utrecht avec ses panneaux coulissants. Au Japon, vous pouvez tout démonter en quelques minutes, naturellement tout cela au détriment du chauffage qui est toujours personnel.

SB : Roland Barthes y fait référence dans « L'empire des signes » en indiquant que les japonais avaient une thermique du corps et non une thermique de l'espace, vous confirmez ce point de vue ?

RS : Oui exactement. Ça, ça donne un espace qui peut être renouvelé, même dans une journée, petit, moyen, grand, géométrie variable...totalement ouvert, fermé, complètement fermé car il y a deux types de fermetures, la fermeture en papier, la fermeture en bois...tout cela est disponible, et le mobilier est réduit, on couche sur des futons, par terre, ils ne sont pas encombrés².

SB : Les modernes, inspirés de l'espace japonais, ont fait abstraction du matériau pour s'exprimer en métal, verre, béton. Pourquoi, vous, retrouvez-vous le bois ?

RS : Durant mon enfance j'ai vécu dans une petite ville d'Alsace, à Haguenau qui est dans une clairière d'une forêt plus grande que la superficie de Paris...et ce massif forestier a eu une influence sur nos modes de vie, une influence constante. Nous ne pouvions pas au moins une fois par semaine, ne pas nous promener dans cette forêt. Découverte de la forêt, découverte de la faune, de la flore, des saisons, des rythmes, des équilibres, la première architecture c'est le paysage. Et autour de cette immense forêt, les villages alsaciens, en colombages. Toutes les maisons sont semblables, en colombages, mais elles sont toutes différentes parce que chaque paysan traite avec les artisans pour avoir des particularités, des signes de distinction, des sculptures aussi. Autre chose, la lecture de la volumétrie d'un village est facilitée par son système constructif, vous lisez bien les différents plans, vous comprenez les différentes composantes, pas à la façon d'un érudit, mais on comprend, ça

² Schweitzer, comme Barthes avant lui, parle ici uniquement de l'architecture traditionnelle japonaise et fait abstraction du Japon contemporain, beaucoup plus proche du mode de vie occidentale, avec chauffage central et climatisation.

devient vivant. Cela m'a certainement imprégné, c'est un échange, un enrichissement. Mais n'oublions pas que dans mon activité, ce que nous avons fait en bois ne représente que 5% de ma production, parce que le blocage de la part de la maîtrise d'ouvrage était très fort ! En revanche j'ai eu un plaisir infini à le faire, aussi dans le mobilier, notamment dans mes centres de jeunes, j'en ai fait beaucoup. Vous verrez à Brest beaucoup de meubles en bois massif. A Lorient où j'étais récemment parce que j'étais président du prix d'architecture de Bretagne, et ils avaient inscrit l'Auberge de Jeunesse de Brest dans les visites et j'ai pu constater que le mobilier intérieur est parfaitement intact, malgré la sévérité des usagers.

SB : *Quelle mémoire gardez-vous de l'association AVEC, comment a-t-elle servi cette aventure de la construction bois ?*

RS : AVEC c'est une conjugaison de volontés vers un but commun pour promouvoir de la bonne architecture, dont l'architecture de bois. Nous avons obtenu la présidence d'honneur de Jean Prouvé, ce qui nous inscrivait dans une logique totale. Peu à peu les activités d'AVEC ont rencontré des difficultés inévitables dans le contexte où nous vivions à l'époque.

On a fait des petites expositions, des textes, je sais que Jean-Jacques Terrin a travaillé sur des questions d'informatique. Ce n'était pas des réunions fréquentes parce que financièrement déplacer des gens de toute la France, ce n'était pas aisé, mais c'était existant, il fallait faire AVEC !

SB : *Dans l'idée d'AVEC, ce groupe réunissait des architectes, mais aussi des entrepreneurs, des ingénieurs, des maîtres d'ouvrage ?*

RS : Bonne question, moi, je retiens surtout les architectes, qui étaient les moteurs. Il y avait Jean-Michel Hoyet et sa femme Nadia, que vous connaissez. Il y avait Jean Prouvé bien sûr, il y avait certainement quelques disciplines parallèles ou connexes, mais qui ne m'ont pas marqué, ce n'était pas un mouvement qui déplaçait des centaines de personnes.

Il a certainement contribué à dynamiser les efforts des uns et des autres. Nous étions encouragés par le ministère de l'Équipement. Pour la datation exacte de ce mouvement, demandez à Nadia Hoyet, c'est elle qui était la présidente, elle en saura autant que moi. Moi j'étais vice-président, comme doyen.

SB : *j'imagine que vous avez fait des projets en construction bois que vous n'avez pas construits ?*

RS : Alors voilà, c'est exact, il y en a de très importants. Il y a un projet à Solférino, dans les Landes. La direction de la construction avait financé largement, aux trois quarts, une usine de lamellé-collé de pins des Landes qui devait promouvoir le bois à plein régime pour la construction régionale. Le directeur de cet ensemble était encore un farfelu qui a déposé son bilan en 6 mois. Et moi pendant ce temps-là j'avais fait toute l'étude de l'habitat de son personnel, un hameau d'une quarantaine de logements, tout en poteaux-poutres, avec un plan d'urbanisme extrêmement intéressant mais jamais réalisé. Et puis il y en a d'autres comme celui de Liverdun, financé par la CDC à Nancy. Au point de vue urbanisme c'était totalement novateur sur une base de pavillonnaire mono-familiale.

SB : *Vos archives sont-elles classées, organisées ?*

RS : Pas vraiment.

SB : *La plupart des œuvres dont nous avons parlées sont-elles visitables ?*

RS : Il y a eu des catastrophes incroyables comme le centre médical de Lavour. J'ai eu à Lavour le meilleur maître d'ouvrage qu'on puisse souhaiter, nous avons travaillé ensemble pendant 20 ans entre le grand centre et l'extension, vraiment en confiance. L'ennui c'est que le temps passe et quand le temps passe, on meurt et ces gens-là sont morts. Leurs remplaçants n'avaient ni la même philosophie ni la même sensibilité et ont nommé là-bas des directeurs qui ont fait des travaux sans moi, sans mon avis. Les menuiseries bois sont devenues des menuiseries aluminium etc. Les coursives en bois massif remplacées par des tubes en métal, toutes ces choses ont dénaturé le centre. Quant à Cieux, il a été inscrit au patrimoine du XX^{ème} siècle. Alors, ce bâtiment financé par l'État, pour les groupements de jeunesse au plein air, a été revendus par des gens peu scrupuleux à un ferblantier qui ne s'intéressait pas au bâtiment mais aux 34 ha de propriété. Quand la tempête de décembre 99 est venue, les arbres sont tombés sur le bâtiment et ce ferblantier n'a rien fait, même pas déclaré le sinistre à l'assurance. Depuis il a été racheté par quelqu'un d'autre qui a voulu réhabiliter ce magnifique centre (c'est leurs paroles, ce sont ces derniers propriétaires qui l'ont fait inscrire patrimoine du XX^{ème} siècle) mais ils n'ont rien fait et je crois qu'ils l'ont revendu. C'est un

abandon total qui par surcroît a été saccagé par les habitants environnants qui ont pillés les installations. Mais je connais des architectes qui y sont passés et qui me disent que c'est encore un très bel ensemble.

Entretien avec Pierre Lajus, 15 février 2011.

Lieu : domicile de M. Lajus, 14, rue François Villon 33700 Mérignac

Stéphane Berthier : *Je date provisoirement la période des pionniers de l'architecture de bois en France entre les années 1965-1985. 1965 parce que je ne trouve rien entre la Libération et cette date hormis la maison des jours meilleurs pour l'abbé Pierre de Jean Prouvé et quelques œuvres de Charlotte Perriand mais plus orientées sur le mobilier. 1985 parce qu'en 1979-1980 se tient l'exposition sur les maisons en bois au centre Pompidou, en 1983 a lieu l'exposition Villabois en Gironde et cette même année sont publiés les bilans des opérations REx, à la suite de quoi l'État lancera une campagne pour la construction d'environ 6000 logements en bois en France. On peut dire dès lors que la période pionnière se termine et que l'architecture de bois rentre dans « le langage courant » de la production architecturale française. Partagez-vous cette chronologie ?*

Pierre Lajus : Je remonterais peut-être un peu plus tôt. Salier et Courtois, mes anciens associés ont débuté leur activité en 1951. Le bois n'a pas été présent tout de suite, c'est plutôt autour de 1960 que cela débute.

Il s'est passé deux choses : j'avais rejoint Salier et Courtois en 1961. En 1966 comme je suis montagnard et que j'aime le ski, je louais une grange à Barèges et j'ai eu l'opportunité d'y construire mon chalet. J'avais fait un projet respectueux du caractère local, murs en pierre et couverture en ardoise sur une plateforme qui existait. J'ai passé un an à consulter les entreprises locales qui ne fournissaient jamais de devis, ne tenaient jamais leurs promesses. Quand l'été suivant est arrivé, on voulait vraiment avoir quelque chose pour aller skier l'hiver suivant, alors je me suis dit qu'il fallait que je change quelque chose. Dans cette période, à l'agence, on construisait surtout des maisons de vacances sur le bassin d'Arcachon. Il y avait un entrepreneur, un charpentier avec qui nous faisons déjà des maisons. Je l'avais eu moi-même sur un chantier d'HLM et nous avons fait avec lui une maison pratiquement tout en bois. Il faut dire que nous n'avions aucune idée sur l'architecture de bois, techniquement parlant. En revanche ce qui nous guidait, c'était surtout les références américaines des gens du Bauhaus, Gropius, Breuer, Neutra et compagnie. Mais c'était surtout chez Marcel Breuer qu'il y avait cette distinction entre le gros œuvre et la charpenterie puis du vitrage qui réunissait tout ça.

Il y avait une distinction entre ce gros gros-œuvre puis après un compartimentage des plans par des placards ou du cloisonnement léger. Donc nous n'étions pas du tout dans l'esthétique des maisons traditionnelles on était dans des plans libres. Progressivement, on a fait des maisons de plus en plus faites de placards et de poteaux porteurs et de moins en moins de maçonnerie.

Nous n'avions visité ces maisons américaines que dans les revues, on ne connaissait les *case studies*, Neutra, Elwood, Koenig que grâce à *l'Architecture d'aujourd'hui*. Nos lectures c'était *AA*, *Domus*, et *Progressive Architecture*.

C'était une architecture qui se transposait assez bien sur la côte Aquitaine pour des maisons de vacances au bord du bassin d'Arcachon. Progressivement nos maisons n'avaient presque plus de maçonnerie. Nous avons fait cette année-là une maison sur ce principe, ses deux murs pignons étaient faits en bois. Et on s'est rendu compte que cela avait été un chantier impeccable. En plus l'entrepreneur l'avait préfabriquée, comme ça, de sa propre initiative, parce que ça lui paraissait plus intéressant de faire ça dans son atelier à Mérignac plutôt que de le faire sur place. Pour moi ça a été la révélation de l'intérêt de la préfabrication en bois. Cette année-là, ayant cette difficulté de faire construire à Barèges, je décidai de reprendre le même charpentier pour faire mon chalet en bois. On est allé sur place, il a vu que la préfabrication allait résoudre la question de l'acheminement sur le site car il n'y avait pas route, seulement un sentier et le funiculaire de barèges qui desservait les pistes de ski et servait l'été à EDF pour transporter des matériaux pour ses installations hydro-électriques. On pouvait louer ce funiculaire. Nous avons donc conçu le chalet dans cette idée, il a été complètement préfabriqué, en kit³.

³ Les photographies de chantier que nous avons pu consultées par la suite contredisent ce propos. Les éléments n'y sont pas (ou très peu) préfabriqués.

SB : Pourquoi le choix du bois et pas celui de l'acier à l'époque ? Seulement l'opportunité de l'entrepreneur ?

PL : On avait une prédilection pour le bois, l'acier nous était totalement étranger ici, on n'y pensait pas. Salier avait fait une maison en acier à peu près dans la période mais ce fut une expérience isolée. Le bois nous était plus proche, on avait contact avec des menuisiers et des charpentiers. Donc ce chalet a été la révélation de la construction et de la préfabrication en bois. On ne connaissait rien point de vue technique, on ne connaissait qu'au travers de revues qui ne donnaient pas de détails. Nous avons fait plein d'erreurs de conception.

SB : Avec toutes les références que vous citez, vous définissez-vous comme un architecte moderne ?

PL : Je revendique cette position, complètement. Salier et Courtois chez qui j'ai travaillé étant étudiant avaient 10 ans de plus moi, ils étaient mes maîtres si on veut. Mais après on a été associés pendant douze ans et nous avons à peu près les mêmes positions. Après j'ai évolué différemment, je me suis séparé d'eux mais on avait justement une position d'architecte moderne qui coïncidait exactement avec l'esprit « arts ménagers ».

Nous ne travaillions pas pour la commande publique, nous faisons des maisons, des villas. Et dans cette période 1950/60, il y avait ce confort moderne, à l'américaine qu'on découvrait dans *Maisons Françaises*, dans les salons des Arts Ménagers. C'était ça notre philosophie, l'*american way of life*. Amener une vie décontractée, dans la nature, grâce aux grands vitrages, à des plans ouverts, une sorte de relation à l'environnement avant l'heure. Aussi cela m'amuse que Dominique Gauzin-Müller me considère comme un précurseur de l'architecture écologique. Ce n'était pas du tout notre motivation. Je suis un produit du scoutisme, l'idée de fabriquer soi-même, le rapport à la nature, aux matériaux naturels c'est quelque chose qui a énormément compté dans ma jeunesse. C'était très présent et ce sont des choses qu'on retrouve dans le mouvement écologique d'aujourd'hui.

En 1966, on fait ce projet de chalet, et puis il y a cette relation étroite et cordiale avec ce charpentier et la même année on avait eu plusieurs projets de maisons de vacances qui avaient sombré parce que nous faisons des choses trop ambitieuses, on ne savait pas très bien les chiffrer, on faisait chiffrer par des entrepreneurs et ça explosait les coûts. A plusieurs reprises on a vu comme cela des gens avec qui nous nous étions bien entendu et qui nous quittaient pour acheter des trucs préfabriqués qui existaient sur le marché. C'était des espèces d'abris de jardin améliorés mais pour les vacances ça convenait. Alors nous nous sommes dit qu'il fallait faire quelque chose pour concurrencer ce fabricant de cabanons.

Dès lors nous avons donc fait une recherche avec cet entrepreneur, Monsieur Guirmand. C'était une entreprise d'une cinquantaine d'ouvriers en charpente-menuiserie. Ils sont devenus constructeurs de maisons individuelles avec nous. Il y avait le père qui avait une soixantaine d'année et le fils qui avait fait des études de d'ingénieur chimiste et qui était revenu dans l'entreprise. Il avait une culture, on pouvait discuter, on a fait avec lui un projet qui s'appelle la Girolle, parce qu'on imaginait que ce serait des maisons qui pousseraient comme des champignons. Elle était entièrement en bois.

Nous étions partis avec la question « qu'est-ce qu'il faut faire pour être économique ? ». Il y avait déjà la préfabrication, l'atelier et le montage le plus rapide possible. L'autre idée était d'utiliser des produits du commerce, c'est-à-dire des sections de bois courantes, qu'on trouve facilement, des panneaux d'agglomérés et pas de chutes : 120X 250...module de 60.

On a donc dessiné une maison qui allait avoir un toit à deux pentes mais asymétrique : 3,60 pour les chambres, 5m40 pour le séjour, donc des pentes inégales, et après une ferme de charpente tous les trois mètres. Ce n'était pas un système de charpente traditionnelle, pas tout à fait, les cloisons des chambres faisaient des panneaux porteurs qui reprenaient les fermes, puis un poteau intermédiaire et un poteau en façade. On était parti de l'habitabilité, de l'intérieur, pas d'un volume de structure. La structure a découlé des partitions intérieures. Le système était conçu sur des travées de 3m, un bloc/mur technique sur lequel s'appuyait la cuisine, et les sanitaires. Nous n'avons pas fait un mur pignon complet, seulement un mur qui s'arrête à 2m et qui permettait de vitrer ou de remplir en bois le tympan restant. Cela a toute suite donné un caractère particulier à cette maison, avec un toit qui débordait très largement et des contrefiches pour le tenir. Nous voulions que ça ressemble à une vraie maison, car les gens n'aimaient pas les maisons préfabriquées. Une vraie maison, c'est à dire avec un toit en tuile ! Les murs pignons en maçonnerie de deux mètres de hauteur, sont fait par un maçon local.

La première de ces maisons a été construite sur la route du Cap Ferret, bien visible, et ce fut l'unique démarche commerciale. Elle s'est commercialisée toute seule, par le bouche à oreille des gens qui avaient déjà acheté une Girolle.

Pour finir on était un peu au-dessus des prix du fabricant de cabanon dont nous parlions, mais nettement en dessous des maisons habituelles que nous dessinions. C'était la maison Phénix de vacances, avec une recherche systématique d'économie de moyens, d'optimisation constructive, mais avec un système de chauffage central par air pulsé depuis une chaudière fioul. C'était avant la vogue du tout électrique.

Cette maison de vacances, on nous en a demandé des variantes, en l'allongeant. Des gens ont voulu l'habiter toute l'année en résidence principale, et nous l'avons fait évoluer en restant sur les mêmes éléments, mais pour une habitabilité annuelle.

C'était une maison moderne qui pouvait être appréhendée par des gens ne cherchant pas à être ultra moderne, à être revendicatifs. Elle était beaucoup plus discrète que les villas habituelles, parce que la référence c'était Phénix, c'était les pavillonneurs, qui faisaient des maisons de 2m50 sous plafond, sur lesquelles ils posaient des fermettes avec des pentes prononcées. Nous faisons un mur de 2m, et puis nous avons une pente faible, de 18%, plus plat, extrêmement discret. Nous étions des architectes modernes, cela signifiait que nous voulions faire des « toits plats ». Nous étions un peu contraints et forcés de faire des toits en tuiles, un peu honteux.

Ce que nous avons convenu avec l'entrepreneur, c'était de conserver l'exclusivité de ce modèle-là, sans brevet, c'était un accord à l'amiable, et lui s'obligeait à nous prendre comme architectes pour faire les dossiers de permis de construire. En revanche nous n'avions pas à surveiller les chantiers mais il nous appelait lorsqu'il y avait des questions particulières. Mais comme il y avait nécessité d'un permis de construire, nous étions là tout de suite, associés à la discussion avec les clients pour faire les adaptations nécessaires, correspondant aux demandes des clients.

J'avais fait le décompte des maisons réalisées, ça a très bien marché ! Nous en avons vendu pas loin de 700.

SB : Existe-t-il des publications synthétiques de l'agence SCLS ?

PL : En 1995, Arc en Rêve a fait une exposition sur le travail de l'agence SCLS de 1950 à 1970. Il y a eu un catalogue de cette exposition. Je me suis séparé en 74, cette publication c'est avant que je ne travaille seul.

Il y a deux choses très remarquables : un texte de François Loyer qui ne nous connaissait pas autrement que par ce que nous avons fait, et qui a mis le doigt exactement sur ce qui nous inspirait : l'influence des *case studies*, des américains, de l'architecture japonaise. La deuxième chose c'est Odile Fillon qui a fait des entretiens croisés avec chacun des membres de cette équipe qui a éclaté. Je me suis séparé des gens qui avaient été mes amis et mes maîtres, elle a très bien traduit ça par des conversations croisées entre les uns et les autres. Le conflit était idéologique, j'ai connu une période fusionnelle où on était d'accord sur tout et puis j'ai enseigné à l'école d'architecture de Bordeaux autour de Mai 68. A partir de là il y a eu divergence profonde dans l'agence. Eux qui se considéraient comme des architectes modernes ont été considérés comme des mandarins, et moi j'étais du côté des étudiants, du côté des sociologues, j'ai dévié, il y a quelque chose qui s'est défait à ce moment-là, que j'espérais pouvoir recoller, parce qu'on pouvait être différents et complémentaires. Mais Salier n'envisageait pas qu'on soit différents. En 1974 ils ne me supportaient plus, ils m'ont mis dehors, j'étais devenu un gauchiste inféquentable. Cette situation a aussi joué un rôle pour mon intérêt pour le bois, parce que je me retrouvais à la rue en 1974 alors qu'ils avaient gardé les Girolles, et tout ce qui les intéressait tandis que j'avais gardé des études d'urbanisme pour la côte Aquitaine, enfin des trucs qui ne les intéressaient pas du tout !

Dans cette période de 1975, je suis devenu architecte conseil pour le ministère de l'équipement, j'ai découvert ce que faisait la direction de la construction, le Plan Construction, tous ces mouvements de recherche de diversification de la construction, d'industrialisation ouverte. J'ai été initié à tout ça et j'ai obtenu à l'époque une REX qui n'était pas prévue en bois à ce moment-là. Je me suis engouffré dans ces histoires de REX qui présentaient la possibilité de sortir des choses dans un cadre intelligent. Je me suis rendu compte dans cette période-là que pour exister, il fallait pouvoir être identifié d'un point de vue professionnel. Jusque-là on était des architectes qui faisaient des maisons publiées par *Maisons Françaises*, des producteurs de jolies maisons. C'était Salier et Courtois, moi il fallait que je sois quelqu'un de différent...j'avais fait très peu de choses en bois, j'avais fait le chalet de Barèges, j'avais fait cette maison en 73, les Girolles. Je suis donc devenu l'architecte du bois avec ces minces références, je dois dire que j'ai cultivé ça très sciemment. En plus c'était un truc qui me plaisait, où j'avais le sentiment d'être moi-même, alors qu'avant j'étais un membre d'une équipe. Ma première démarche c'était l'industrialisation ouverte sur laquelle travaillait Jean-Jacques Terrin et Nadia Hoyet. J'ai travaillé avec eux, je me suis confronté à ces démarches un peu théoriques de

coordination dimensionnelle, de modules, de bâtiments *meccano*. Ainsi j'ai eu une REx qui était en maçonnerie avec Domofrance, et puis il y a eu une seconde opération sur laquelle on voulait développer une construction par composants en filière sèche et c'est moi qui ai proposé de faire cela en bois. Domofrance était intéressés parce que ça leur amenait des financements privilégiés. Il y a eu plusieurs REx bois lancées en même temps, autour de cette démarche d'industrialisation ouverte, de construction par composants mais plutôt en béton ou acier. Le bois n'était pas très présent mais c'est dans cette démarche qu'ont été invités quelques architectes déjà engagés dans ce domaine du bois qui étaient Jean-Pierre Watel à Lille, Christian Gimonet à Bourges et les frères Rouveau à Provins.

Moi, je n'étais pas encore complètement orienté bois à l'époque. On m'avait confié une REx béton, rue d'Esbier, c'était un enjeu de composants béton, et il y eu dans cette période une politique très active de la direction de la construction qui non seulement a répartie comme cela quelques commandes en province chez des architectes un peu remuants mais les a réunis et a organisé des rencontres, des voyages. C'est dans ce cadres que nous sommes allés voir ce que faisait Lucien Kroll à Louvain-la-Neuve, ce que faisait Chemetov à Vienne, et c'est ce qui a donné naissance au groupe AVEC. C'est là que nous nous sommes rencontrés. Nous avions des choses à partager. Nous pensions que c'était dommage de ne pas en faire quelque chose, d'où l'histoire du groupe AVEC que vous connaissez.

SB : *Ces opérations REx ont-elles permis à la filière bois de s'industrialiser ?*

PL : Absolument...

En ce qui me concerne j'ai fait pour Domofrance la villa Morton, qui était un ensemble de 18 logements entre maisons et habitat intermédiaire. Entre les études et le chantier le projet a été modifié pour s'adapter aux capacités de l'entreprise. Le challenge était très difficile : l'idée de la direction de la construction de l'époque, c'était que le bois allait permettre de répondre à -15% en dessous du prix de référence des programmes HLM. Il y avait l'idée d'économie sans se rendre compte que l'économie ne résulterait pas uniquement d'un choix technique mais que c'était toute la filière de production qui permettait d'arriver à une économie, hors la filière était inexistante, nous ne traitons donc qu'un morceau de la chaîne.

SB : *La villa Morton fut-elle l'occasion de tester cette industrialisation ouverte, cette logique d'assemblage de composants ?*

PL : Oui tout à fait.

L'architecture a changé, mais c'est resté une architecture de composants.

J'ai fait ensuite d'autres opérations en bois mais qui n'ont pas été publiées, tout un village en bois à Martignas.

SB : *Cette architecture par composants, l'avez-vous exploitée ailleurs que dans les opérations REx ?*

PL : Non, nous n'avons pas trouvé les ressorts dans l'industrie, dans la filière bois. L'habitat bois HLM était trop pauvre pour ces expérimentations en dehors des opérations subventionnées REx. Et puis il y a eu Villaboiss, en 84, opération qui relevait de cette politique de développement. J'ai co-organisé cette exposition avec Roland Schweitzer.

SB : *Y-a-t-il des publications de Villaboiss ?*

PL : Il y a un seulement un mémoire d'une étudiante en histoire de l'art à Bordeaux qui a fait un travail exhaustif sur Villaboiss, je pourrais vous communiquer les références.

SB : *Il y a les REx, mais il y a aussi à l'époque tous les programmes dits de plein air, touristiques, sociaux, culturels...Le parc ornithologique du Teich, Talaris... Ces innovations programmatiques ont-elles influencé le développement de l'architecture de bois ?*

PL : Oui à ceci près que c'est moi qui ait orienté le projet vers le bois. Ce n'était pas une demande de la maîtrise d'ouvrage. Le Parc Régional devait construire sur un milieu très fragile, donc je ne me voyais pas aller faire du béton dans les marais aussi j'ai proposé un projet en bois, un bâtiment léger sur pilotis. S'il y a un partage, une philosophie, elle n'existait que dans ces situations particulières qui avaient à voir avec le plein air, les parcs naturels etc.

Dans le milieu urbain, la sensibilité à l'architecture de bois n'existait pas du tout, c'était même opposé. En effet, faire des maisons en bois à Bordeaux ça paraissait complètement incongru. En Aquitaine, avant la deuxième guerre mondiale, il y a eu une importante immigration italienne qui est arrivée avec des savoir-faire de maçonnerie. Après la deuxième guerre mondiale sont venus les maçons portugais mais c'était toujours des maçons, pas des charpentiers. La filière bois traditionnelle des Landes s'est très peu développée en matière d'habitat parce que c'était surtout une industrie de poteaux de mines et de parquets, mais pas de construction ou de charpente. Avec le pin maritime on faisait de lambris et des parquets. Ironie de l'histoire, la maison landaise traditionnelle avec une charpente à pan de bois s'est trouvée transposée par les maçons italiens avec des faux pans de bois en ciment. Il y a cette idée de l'image de « l'école bordelaise » qui aurait directement transposé la maison traditionnelle dans une écriture moderne, mais ce n'est pas vrai du tout, on a transposé les modèles américains et par effet en retour la construction landaise traditionnelle en bois s'est trouvée valorisée. Et puis il y a les démarches de valorisation du pin maritime mais cela c'est beaucoup plus récent. Ça a démarré dans les années 1980 mais ce n'est que maintenant avec le mouvement écologique, qu'un développement significatif est observable.

SB : *Roland Schweitzer m'a présenté un ouvrage « Habiter le bois » qui présente l'architecture de bois telle qu'elle s'est développée après 1985. C'est une architecture très marquée par la vague post-moderne. Après Beaubourg et Villaboïs, quelque chose a-t-elle échappé aux architectes modernes que vous étiez ?*

PL : Oui, il y a eu un mouvement postmoderne insupportable, mais je suis plus tolérant que Roland là-dessus, mais tout de même ça m'agaçait. Mais ça n'a pas eu d'influence sur ma production, ça ne m'effleurait pas. Je suis devenu un peu plus tolérant, je comprends qu'il y ait pu avoir ce mouvement-là, marqué par un retour du décor, de la fantaisie, parce que nous étions tout de même extrêmement ascétiques dans ce que nous faisons.

SB : *Votre maison ? Ascétique ?*

PL : Non, dans ma maison, je me suis permis des libertés que je ne prenais pas avec mes clients. En termes de volumétrie, de liberté de composition, cette maison a beaucoup compté pour moi, j'ai expérimenté des choses.

SB : *Le groupe AVEC a-t-il permis un développement, une amélioration de l'architecture de bois ?*

PL : Non, le bois était une sous-famille, un sous-ensemble de ce groupe. Le groupe était vraiment plus large.

Tenez, voici la charte constitutive du groupe, elle date de 1983, avec les signatures de chacun des membres. Nous avons sympathisé dans ces voyages avec le ministère, nous avions des choses à échanger et nous avons décidé de nous réunir régulièrement. Le constat commun était qu'on allait être mangés par les bureaux d'études. Nous redoutions de devenir ces architectes qui n'ont plus de prise avec le marché tel qu'il se constitue, avec les bureaux d'études, les ingénieurs.

SB : *Avez-vous, dans le cadre de ce groupe réellement travaillé avec des ingénieurs, des bureaux d'études et des entrepreneurs ?*

PL : Pas tellement justement. On a travaillé entre nous, on n'a jamais vraiment réussi à s'ouvrir, AVEC voulait bien dire « on veut être avec », avec les industriels du bâtiment, avec les ingénieurs, les BET.

On a eu quelques partenaires industriels, fabricants de fenêtres mais pas vraiment avec les ingénieurs. Nous avons contacté Peter Rice, Ove Arup, mais sans suite.

Pour résumer, il y a eu une effervescence intellectuelle, on discutait, on voulait faire des choses, se positionner. Le lancement public du groupe eu lieu en mars 1983. Grâce au mari de Nadia Hoyet qui était rédacteur en chef de T&A, nous avions un support de communication, nous pouvions nous exprimer.

SB : *Qui lance le groupe ?*

PL : C'est Jean-Jacques Terrin. C'est autour de Jean-Jacques Terrin que cela s'est fait. Une espèce de show de lancement a eu lieu en mars 1983, exposant cette prise de position. Nous avons réuni des maîtres d'ouvrages, des gens du ministère, des ingénieurs que nous connaissions. Nous voulions être

présents sur la scène, être identifiés. Là-dessus fin 1983, la direction de l'architecture quitte le ministère de la Culture pour venir à celui de l'Équipement. Le directeur de l'architecture de l'époque, J.P. Duport, a voulu avoir un adjoint architecte avec lui. Il a d'abord pris Jean Tribel, en 1981, qui est parti au bout de 2 ans. Duport a cherché un nouvel adjoint, et m'a nommé à ce poste. Je me suis retrouvé en février 1984, directeur adjoint à la Direction de l'Architecture, alors que j'étais le partenaire de Jean-Jacques Terrin au sein d'AVEC. Il était président et moi secrétaire. J'ai été obligé de lâcher l'équipe d'AVEC, même si on continuait à se voir.

SB : *Comment s'organisaient les rencontres d'AVEC ?*

PL : On se voyait tous les mois, on se voyait beaucoup, il y a eu une hésitation entre développer largement un « réseau » ou développer des actions plus intimes, plus ciblées avec les gens qui étaient là.

Ce choix n'a pas été vraiment fait, mais il y a eu deux orientations précises : AVEC-informatique suivait le démarrage de la CAO. Denis Grèzes était pilote pour développer un logiciel qui s'appelait AVEC, qui permettait la mise en œuvre des coordinations dimensionnelles en écho à la politique de l'Industrialisation Ouverte.

Il y eut aussi l'idée que tous ces gens pouvaient constituer une sorte de bureau d'AMO qui s'est appelé AVEC-Consultants, avec une fonction AMO et management de projet car nous avons découvert que la dimension économique était importante et que l'organisation des acteurs était un problème majeur. C'est resté l'axe de Jean-Jacques Terrin.

SB : *Comment l'aventure prend-elle fin ?*

PL : J'étais au ministère à plein temps entre 1984 et 1987. J'avais déjà pris mes distances. Après cette période je suis resté à mi-temps comme conseiller technique trois ans de plus jusqu'en 1990. AVEC se termine vers 1990. Mais nous n'avons pas réussi à intégrer les autres opérateurs (entrepreneurs, ingénieurs etc).

C'est Jean-Jacques Terrin qui a le plus développé les idées qui étaient présentes dans le groupe. C'est lui qui a théorisé l'organisation, de jeu des acteurs. Il avait beaucoup d'espoir dans l'université de Compiègne mais je crois que ça n'a pas très bien marché.

SB : *On a parlé beaucoup de la Californie et des USA. Le Japon et la Scandinavie ça a compté pour vous ?*

PL : Oui énormément, le Japon, beaucoup pour moi, c'est vraiment l'architecture que j'aime. J'y suis allé deux fois, la première fois pour l'exposition d'Osaka, en 1970. C'était un voyage d'architecte monté par l'aluminium français. La veille de la visite de l'exposition d'Osaka, j'étais à Kyoto, j'ai été émerveillé par tout ce que j'ai vu à Kyoto. Le lendemain, je ne suis pas allé Osaka, je suis resté à Kyoto à me balader dans les petites rues et les temples. Le Japon fut une découverte très importante pour moi. Je suis revenu lesté de nombreux ouvrages.

J'y suis revenu en 1982, avec ce mouvement d'idées autour de l'Industrialisation Ouverte, de construction par composants. Il y avait eu un voyage organisé par l'union des HLM sur la construction industrialisée au Japon, avec visite des usines de préfabrication de maisons, des sortes de containers assemblés, c'était vraiment enrichissant pour moi. Il faut retenir du Japon les deux dimensions, l'historique et l'industrielle, démarche qualité, l'organisation, l'informatisation des chaînes de production de modules parvenait à faire des maisons différentes pour chaque client. Tout était industrialisé mais individualisé au gré des demandes des clients.

Mais ce savoir-faire, à part quelques articles dans le moniteur, n'a pas eu de diffusion en France. En fait, avec ces systèmes ils faisaient des maisons américaines, pas tellement japonaises au sens traditionnel du terme.

SB : *Avez-vous des archives constituées ?*

PL : Ce n'est pas simple, car quand j'ai arrêté l'agence en 1995, je me suis débarrassé de toutes mes archives aux Archives Départementales, donc toutes mes archives professionnelles de 1974 à 1995 sont aux Archives de la Gironde. Mais ce sont des dossiers bruts, pas triés, il y a énormément de choses sans intérêt. J'ai gardé ici mes pressbooks, les articles de revues, des publications essentiellement. Ces maisons sont visitables, j'ai gardé des contacts avec les habitants.

Voici par exemple la paillote, à Talaris, avec son grand toit. Je m'étais inspiré des cabanes de bergers dans les Landes qui avaient cette silhouette-là.

Le toit touchait les gens avec une puissance incroyable, il y a une puissance affective qu'on ne peut pas ignorer, je me suis dit qu'il fallait qu'on y retourne. Cette expérience m'a fait revoir complètement ma position par rapport aux toits.

SB : *Roland Schweitzer n'est pas d'accord avec la date d'origine que je donne aux pionniers de l'architecture bois en France, il me parle d'une exposition de maisons en bois sur l'esplanade des Invalides juste après la guerre, exposition à laquelle participait l'agence Salier-Courtois-Sadirac. Cela vous évoque-t-il quelque chose ?*

PL : Non, pas de maisons bois, en revanche l'agence Salier, Courtois, Lajus et Sadirac avait exposé une maison préfabriquée en bois au salon des Arts Ménagers de 1965, la Maison SAMA que Laurence Ducca a fait figurer dans *A Vivre*.

SB : *Nous n'avons pas parlé de la figure de Jean Prouvé ? Elle fut importante pour vous ?*

PL : C'était un de nos maîtres. J'avais travaillé chez Ecochard pendant 4 ans avant de rejoindre Salier et Courtois et nous avions Vladimir Bodiansky comme ingénieur conseil qui avait travaillé avec Le Corbusier, Candilis, les CIAM. Jean Prouvé était dans cette mouvance. Donc j'ai connu Prouvé parce que j'ai fait un concours au Koweït chez Ecochard, que nous avons gagné, avec un système d'atrium protégé par un système de brise-soleil qu'on avait étudié avec Prouvé. On a aussi travaillé chez Ecochard sur des logements en Afrique pour le personnel de Pechiney et nous avons monté des cases en aluminium fabriquées par Jean Prouvé. Donc quand nous avons créé le groupe AVEC, il avait accepté d'être le président d'honneur. Nous étions très proche de sa démarche. Il y a une chose qui d'ailleurs résume la philosophie de Jean Prouvé, dans ces cases alu c'est les persiennes en tôles pliées. Elles étaient embouties avec des trous de ventilation dans les plis. Cette technique résultait simplement du processus de fabrication de Prouvé, de l'utilisation de la plieuse de Prouvé. C'est ce que j'admire chez lui parce que souvent en bois, on a cherché à faire des tours de force sans tenir compte de l'outil ! Alors que maintenant avec les Kerto, les lamellé-collé, il y a une façon de travailler qui tient mieux compte de l'outillage et des types de produits qu'on peut fabriquer. Et aussi les machines à commandes numériques.

SB : *Vous avez été influencé par la maison des Jours meilleurs de l'abbé Pierre ?*

PL : Oui, elle faisait partie de nos références.

SB : *Comment expliquer vous l'influence récurrente de Jean Prouvé sur les pionniers de l'architecture de bois ? ce n'était pas son matériau de prédilection !*

PL : Oui mais en revanche, il était très proche de Charlotte Perriand pour qui le bois était important. Il a aussi expérimenté les panneaux Rousseau, autoporteurs, pour des maisons pour les jeunes.

SB : *Avec la question de l'économie de moyens, l'optimisation, la recherche du moindre coût, y-a-t-il chez vous une sorte de frugalité constructive ?*

PL : Bien sûr, on peut dire cela, ça correspond tout à fait.

SB : *Cette notion de frugalité constructive a-t-elle quelque chose à voir avec ce qu'on pourrait appeler une école Bordelaise, de SCLS, à Franck et Ballot, en passant par Lacaton & Vassal ?*

PL : Beaucoup plus avec Franck et Ballot qu'avec Lacaton et Vassal, je me sens beaucoup plus proche de Nathalie Franck et Yves Ballot qu'avec Lacaton et Vassal.

Lacaton et Vassal, ils ont théorisé et exploité la pauvreté affichée, le polycarbonate, le métal galvanisé. Il y a une espèce d'exhibitionnisme du pauvre. C'est particulièrement évident au palais de Tokyo alors qu'il n'y a pas cela chez Franck et Ballot et chez aucun de nos disciples. Nous n'avons pas ce souci d'exhibition de la pauvreté qu'il y a chez Lacaton et Vassal.

SB : *Pour vous y-a-t-il une école Bordelaise ?*

PL : Si elle existe, elle est constituée par les gens qui sont passés chez SCLS et qui ont appris une certaine manière de travailler. Etre moderne, sans complaisance, avec une exigence de qualité, du plan masse à la poignée de porte. Il y a des gens qui ont rapproché cette école du *régionalisme critique* de Frampton. C'est vrai que nous sommes en résonance avec un territoire local. Il y a aussi un désir de frugalité constructive, une économie de moyens.

La question avait été posée sur l'existence de cette école bordelaise car nous avons été invités à faire une intervention à Beaubourg dont le promoteur était Yves Dauge du Plan Construction. Lors de cette conférence à Beaubourg (1982 peut-être ?), nous avons montré nos photos, nous n'avons aucun discours théorique sur ce que nous faisons, mais la conférence s'appelait « l'école bordelaise ». Alors à la fin de la conférence, Ciriani s'était levé à la fin pour dire « vous n'êtes pas une école car vous n'avez pas de théorie et vous n'avez pas de pédagogie de ce que vous faites ». C'est vrai que nous n'avions pas de discours élaboré, nous avons seulement montré nos photos.

SB : *Roland Schweitzer, Pierre Lajus, Christian Gimonet, Jean-Pierre Watel... La liste est-elle exhaustive ?*

PL : Ah non surement pas ! Vous devriez contacter Jean-Claude Bignon, à l'école de Nancy dont une étudiante a fait un travail sur le sujet. Elle a fait une enquête et a interrogé les dit « pionniers de l'architecture de bois ». Je crois qu'il s'agit d'Alexandra Lambert.

SB : *Quel regard posez-vous sur le monde de l'architecture de bois aujourd'hui ?*

PL : Je vois le mouvement écologiste donner un essor formidable à la construction bois, légitimer complètement le matériau. Nous étions obligés de nous battre pour imposer un matériau dont personne ne voulait. Maintenant il y a quand même un intérêt, c'est beaucoup plus facile aujourd'hui. Nous avons pu le développer grâce aux maisons de vacances, ensuite ça a été admis pour les résidences principales, ça a été admis par les bailleurs sociaux parce que cela amenait des financements particuliers, c'était la seule raison. Tandis que maintenant il y a l'image écologique, les qualités thermiques, ça a changé complètement.

Entretien avec Jean Pierre Watel, 28 Février 2011

Lieu : agence de M. Watel, 43 rue Albert Samain 59650 Villeneuve d'Ascq.

Stéphane Berthier : Dans la lettre que je vous ai adressée, j'identifiais 4 principaux acteurs de la période en question : vous-même, Roland Schweitzer, Pierre Lajus et Christian Gimonet, alors première question : suis-je passé à côté de quelqu'un d'important ?

Jean-Pierre Watel : Roland Schweitzer à Paris, Pierre Lajus à Bordeaux, avec son équipe car il n'était pas seul : il y avait Salier, Courtois et Sadirac avec lui. Dans le Nord, je peux affirmer que j'étais seul. Je pense qu'il y avait des petits inconnus qui n'ont pas dû être publiés, il y avait des architectes par ci par là dans les provinces profondes, notamment peut-être vers les Alpes mais peut-être plus tournés vers les chalets, les constructions de montagne.

Peut-être qu'en creusant bien on devrait en retrouver quelques uns de plus mais plutôt en deuxième génération. Ce que vous me dites là remonte à 40 ans ! Si vous ne remontez que de vingt ans vous allez trouver plus de monde, mais si on remonte à 40 ans alors on peut dire qu'on était les seuls. Ce qui était très facile d'être les seuls puisque l'architecture de bois était absolument bannie en France.

SB : Pour quelles raisons l'ossature bois était-elle bannie en France ?

JPW : Sur la planète il faut plutôt citer les pays où le matériau de base n'est pas le bois, plutôt que l'inverse. Asie, Amérique du Nord, Scandinavie, Russie... Depuis que le monde est monde, dès la géographie le permet et qu'il y a des forêts, il a toujours été facile de couper trois arbres et de créer une cabane. C'est une démarche ancestrale, abandonnée en France, notamment sous l'influence du lobby des maçons. J'ai pendant cinq ans été architecte conseil dans le Calvados et la plupart des édifices remarquables de mon secteur étaient des ossatures bois.

Aujourd'hui qui dit ingénieur en France dit ingénieur « béton », dans une faible partie « acier » et dans une infime partie « bois ». Quand j'étais parisien et que je m'occupais des questions de la filière bois auprès du ministère, j'ai observé l'école du CTB à St Mandé, d'où devait sortir une vingtaine d'ingénieurs bois par an. Mais douze partaient immédiatement à l'ONF, et le reste partait dans l'ameublement ou les usines de fabrications de panneaux. Donc très peu d'ingénieur formés au bois dans le bâtiment. Le bureau d'étude spécialisé dans le bois est encore rarissime aujourd'hui. S'ajoute donc à l'aspect « patrimoine » un aspect culturel dans la formation technique de haut niveau. La filière bois est pauvre en intelligence.

Aujourd'hui le béton est visé pour son caractère énergivore, décrit comme épouvantable par les tenants de l'architecture écologique, c'est peut-être ce qui fera tourner un peu la page ?

L'ossature bois est bannie pour des raisons stupides. En Amérique 100% de la construction est en bois, en matière de maison. Et en Amérique on monte régulièrement à R+2 ou R+3. Je pense à un énorme chantier à L.A. que j'ai photographié au fil de son montage. C'est au centre de L.A. Une énorme opération de 500 logements, sur R+2 ou R+3 avec ascenseur. C'était un chantier magnifique entièrement en bois.

Là il faut distinguer l'Europe de l'Amérique ; en Europe quand nous parlons d'ossature bois c'est essentiellement des panneaux, là-bas, c'est vraiment de l'ossature, fabriquée *in situ* par des charpentiers à qui on livre des fagots de bois, sciés à longueur, sur le chantier. En Amérique la totalité de la maison est en bois, le squelette est complet, il est parfois assez difficile même de lire le plan à l'intérieur dans cette forêt de montants bois. Les cloisons intérieures sont aussi en bois et participent au contreventement. C'est vraiment de la charpente et ce sont de vrais charpentiers qui construisent.

La technique chez nous et dans les pays scandinaves c'est le principe de constituer des murs à ossature bois. On fait un mur de bois au lieu de faire un mur béton ou brique. Mais les cloisons intérieures ne participent pas au contreventement. Le contreventement est assuré par des panneaux constitutif du mur à ossature bois. Les murs sont de véritables murs porteurs, cloisons non porteuses, aujourd'hui en placo, hier en carreaux de plâtre. On est donc constructivement dans un système de grands espaces partitionnés par des cloisons.

Il y a une tendance chez certains puristes en Europe à revenir à cette technique américaine, pour assurer par exemple une isolation phonique. La question acoustique est un des défauts majeurs de l'ossature bois, surtout entre étages mais aussi entre les cloisons légères type placo. Je travaille actuellement avec des Belges qui travaillent à l'américaine sauf qu'ils sont industrialisés, avec des systèmes de panneaux, mais ils font leurs cloisons intérieures en ossature bois.

On a beaucoup parlé en France du manque de pérennité du bois, le français comprend très bien que l'américain fasse des maisons à ossature bois, qui durent trente ans et après on s'en va, mais le français a une vision patrimoniale de l'architecture !

Mais au bout de trente ans, en général, la maison est complètement dépassée programmatiquement, techniquement (les réseaux, l'isolation) donc obsolète, bonne à démolir. On réhabilite parfois mais à des coûts prohibitifs qui ne sont pas intéressants par rapport au prix du neuf. Mais c'était inscrit dans l'esprit des français que la maison franchirait deux à trois générations, ce n'est plus le cas du tout. C'est devenu un faux problème, il faut démystifier la question, car en fait nous ne sommes pas comme en Suède ou en Finlande à faire des planchers bois, les dalles sont encore en béton. La charpente est en bois, comme dans la maison « en dur » et la différence porte seulement sur le système porteur vertical. Dans la maison à ossature bois, l'enveloppe elle-même peut ne pas être en bois. Comme elle peut être en bois en revêtement d'une maçonnerie... Et à l'intérieur on a le placo dans les deux cas de figures. Dans le fond il n'y a pas grand-chose qui change entre les deux modèles. En revanche la pose des menuiseries est bien plus cohérente et précise dans un mur à ossature bois que dans une maçonnerie.

Il faudrait peut-être s'interroger sur le fait que les métiers du bâtiment sont très peu attractifs pour les jeunes. C'est des métiers pénibles, le froid, la pluie, les charges etc. L'avantage du chantier à ossature bois c'est plus de temps à l'atelier, plus vite au sec sur le chantier. L'humidité d'un chantier de maçonnerie reste très importante très longtemps, dans une atmosphère désagréable. Les conditions de travail sont donc meilleures sur un chantier en ossature bois.

SB : *Qu'est-ce qui vous a motivé pour vous investir professionnellement dans l'architecture de bois ?*

JPW : C'est deux choses, premièrement quand j'ai commencé ma carrière, j'ai visité deux pays, d'abord le Danemark, que j'adore, sans doute un des pays que je préfère et les USA. Je suis allé très souvent aux USA. Or ce sont des pays qui ont une grande culture de l'architecture de bois. Par ailleurs, j'ai toujours apprécié la rapidité de chantier de l'ossature bois, ses qualités de précision, de propreté, de logique constructive.

L'avantage de l'ossature bois c'est son caractère permissif, ce n'est pas un système fermé comme la maçonnerie. Il faut voir l'ossature bois comme un système porte-manteau. L'ossature bois est une sorte de guide pour la construction. C'est bien plus simple de passer les réseaux dans une ossature bois que dans un mur maçonné qu'il faut trouser, dans lequel il faut faire des saignées etc...le parpaing doit être agressé pour accueillir les autres corps d'état. On ne met pas d'isolation dans un mur maçonné, on la met après. Il y a une logique de la construction dans l'ossature bois, un peu comme une portée de musique. La construction pleine, il faut lui rentrer dedans, il faut l'agresser. Sur le plan technologique, ce qui m'a toujours obsédé dans ma carrière c'est de retrouver une certaine logique de construction, une certaine intelligence dans la construction. La construction traditionnelle en dur est stupide, on passe son temps à nettoyer, à démolir, à trouser, à percer. Il n'y a pas cette espèce de succession logique. J'ai aussi été très sensible au tournant des années 70 à la politique des composants.

SB : *Vous parlez des REx ?*

JPW : Les REx étaient des réalisations expérimentales sur la base d'une industrialisation des filières techniques. Mais en amont il y a l'idée qu'une construction est faite de composants, un peu comme une voiture. Cette technologie augmentait la part industrielle. Cette politique était faite pour lutter contre la préfabrication lourde ou la maison modèle. On réfléchissait à des composants élaborés, arrivant sur le chantier avec une forte valeur ajoutée en usine. Le chantier devenait un lieu d'assemblage que de fabrication, voir par exemple les fenêtres et leurs précadres, les blocs-portes etc. Je me suis toujours opposé à l'idée corbuséenne selon laquelle il faudrait construire des maisons comme on construit des voitures, c'est rentrer dans un système fermé. Ce qu'il faut préfabriquer ce sont les composants, pas la maison entière qui deviendrait alors une maison-produit.

SB : *Vous pensez que le monde de la construction a beaucoup évolué dans ce sens là au fil de votre carrière ?*

JPW : Il va évoluer. On a fait des efforts désespérés avec le Plan Construction, pour lancer des politiques pour essayer de réfléchir à comment organiser les chantiers. On a lancé pas mal de filières dont la filière bois.

A partir de cette ambition, on a lancé des REX (Réalisations Expérimentales). Les promoteurs et les bailleurs sociaux ont joué le jeu parce qu'à l'époque il y avait des crédits privilégiés pour ceux qui s'engageraient avec nous dans cette voie, on appelait cela des guichets à l'époque. Et les gens se sont précipités au guichet !

Mais vous savez, c'est un peu comme une voiture en panne, vous tirer sur le démarreur, vous mettez en première et la voiture avance... pas longtemps, elle avance de vingt mètres c'est tout. Là c'était pareil, on tirait sur le *starter* en espérant que ça lancerait la machine, mais sitôt que l'Etat a relâché le *starter*, c'est retombé à plat. Cette grande époque des années 80, où on a lancé les politiques techniques en France est retombée comme un soufflé dès que l'argent a cessé de la soutenir. Ainsi, depuis quelques années, notamment avec toute cette série de gadgets technologiques et cette mentalité écologique assez superficielle d'ailleurs, on va observer le même phénomène de soufflé. On entend déjà dire aujourd'hui qu'avec la limitation des crédits pour l'installation des panneaux solaires, certains fabricants font faillite... c'est la même histoire, on a ouvert des guichets, promis de l'argent... puis tout retombe.

C'est comme cela, le jour où on a enlevé les subventions et les REX, toutes les démarches pour le développement de la construction par composants, toutes les démarches pour l'industrialisation ouverte sont retombées. Cela se passera de la même manière pour l'écologie demain vous verrez ! Sauf que les gens sont désormais convaincus que le pétrole est une mauvaise fourniture, en quantité limitée, inexistant en France, alors on pourrait peut-être se retrouver dans une période assez favorable à une remise en question de notre façon de construire.

Il y avait à l'époque une arrière-pensée, mais une arrière-pensée récurrente : il fallait construire moins cher. Depuis nos ingénieurs technocrates des différents ministères ont inventés quelques centaines de réglementations qui ont renchéri considérablement le coût de la construction.

SB : *J'ai lu que les opérations REX imposaient à la filière bois des prix inférieurs de 10% au prix de références habituellement constaté dans les constructions « traditionnelles » HLM. Avez-vous réussi à obtenir ce résultat ?*

JPW : Oui, on était tenu à une obligation de résultat. On avait un objectif de 10% inférieur au prix plafond HLM de l'époque. Au départ, l'ossature bois est évidemment plus chère qu'une construction traditionnelle. La seule chose qui change c'est les structures verticales (si on se réfère à ce que je vous disais tout à l'heure pour démystifier la construction en bois). Et un mètre carré d'ossature bois est plus cher qu'un mètre carré de parpaing. Donc on ne peut être qu'un peu plus cher, mais au bénéfice de la qualité de la mise en œuvre. En revanche la théorie du porte manteau permet de gagner beaucoup sur les fluides, mais ce n'est pas une technique développée en France.

SB : *Quel était le niveau de développement de la filière bois en 1965 ?*

JPW : En 1965 c'était le début de la filière bois, nous étions dans un désert complet. Les entreprises générales, encore aujourd'hui ne pensent que par le béton. Il y avait une méconnaissance totale de la construction bois et une animosité farouche des lobbies de la maçonnerie. On n'a jamais vu un marché TCE tenu par quelqu'un d'autre que le gros-œuvre qui le maître du chantier. Tous les autres sont des sous-traitants au sens propre comme au sens figuré.

SB : *Ces opérations REX ont-elles permis une industrialisation de la filière bois, des innovations significatives dans ce domaine ?*

JPW : On a donné une impulsion, et il y a eu France un éveil de nos professions de concepteurs et des clients mais uniquement élitiste. Seules les classes sociales supérieures recevaient positivement l'architecture de bois, en HLM ça ne passait pas. Mais on a assisté à la réalisation de petits éléments de filière comme la naissance d'entrepreneurs d'ossature bois. Ils n'étaient c'est vrai qu'un très petit nombre, deux dans le Nord (Coquart), un à Rouen qui existe toujours (Cuiller), dans l'Est... douze c'est beaucoup, une petite dizaine d'entreprises de fabricants d'ossatures préfabriquées en bois. Il a fallu attendre la vague écologique actuelle pour qu'émerge une filière bois significative, un renouveau plus coordonné, mieux accepté architecturalement.

SB : *Bénéficiez-vous aujourd'hui de cette expérience acquise à l'époque ?*

JPW : Non pas du tout.

SB : *Dans la suite des opérations REX, vous participez au groupe AVEC, quelle mémoire en gardez-vous ?*

JPW : Excellente de rapport humains, complètement nulle de résultats. Cette aventure ne nous a pas permis de faire progresser l'intégration entre architectes, ingénieurs, entrepreneurs. Cette idée a été reprise plus tard par l'association AMO qui marche bien, mais ce ne fut pas notre cas. On a fait deux ou trois petites démarches ensemble mais sans résultats significatifs. On n'a pas réussi.

On voulait créer des démarches nouvelles en matière de logique de construction, on fait un chantier un peu tous ensemble sur l'île de la Réunion qui s'est avéré un fiasco complet. Mais c'était un club, le groupe était assez étendu, pas seulement sur l'ossature bois. Nous avions des réunions très intéressantes, nous réfléchissions à des façons de faire plus intelligentes.

Nous cherchions à optimiser les modes constructifs car je pense que c'est incroyable que nous construisions encore aujourd'hui 50% plus cher que les américains essentiellement à cause d'une sous-efficacité incroyable mais aussi à cause d'un univers réglementaire imbécile. Alors la mise en commun de nos réflexions dans le domaine de l'optimisation et de l'économie de moyens a été très agréable et sympathique. Mais l'enrichissement fut personnel.

SB : *On oppose gros-œuvre, béton et maçonnerie avec ossature bois mais quid de l'alternative à ossature acier à la même époque ?*

JPW : Oui absolument, d'ailleurs l'ossature acier a donné des entreprises comme Phénix, qui marchait très bien à l'époque, ils ont construit des centaines de milliers de logements en France sur ce principe d'ossature. Mais je préférerais le bois, c'est une question personnelle finalement.

SB : *Que ce soit au Danemark, en Scandinavie ou aux USA, y-a-t-il des architectes qui vous ont particulièrement inspirés ?*

JPW : Des architectes m'ont impressionné sur le plan architectural, j'ai même eu la chance de faire visiter un de mes chantiers à Neutra lors d'un de ses séjours en Europe. Mais avant Neutra j'ai été sensible à Mies Van Der Rohe, à Jacobsen, Aalto, Nielsen. J'ai aussi reçu une très forte influence des technologies de chantier de ces pays.

SB : *A propos d'influences en matière de technologie, quid de la figure de Jean Prouvé ?*

JPW : Jean Prouvé m'énerve énormément. Je viens de voir une exposition à Tourcoing complètement nulle. C'était un bon ingénieur mais un piètre architecte. Cela m'agace qu'on en fasse une gloire de l'architecture alors qu'à bien y regarder, sur le plan architectural et théorique c'était très moyen, même banal. Sur le plan réalisation c'était bien, c'était un virtuose de l'aluminium, un bon ingénieur et si quelqu'un avait lancé cette question des composants c'est bien lui. Aujourd'hui on le met au pinacle, comme incontournable pour la compréhension de l'architecture du XX^{ème} siècle, c'est exagéré.

SB : *A propos d'influences architecturales, vous définissez vous comme un architecte moderne ?*

JPW : Oui mais le mot moderne... j'hésite aujourd'hui alors que je n'aurais pas hésité il y a quelques temps. Je pense n'avoir pas trop failli tout au long de ma carrière, je me suis toujours battu pour défendre mes exigences, ce n'est pas le meilleur moyen pour développer une carrière commerciale fulgurante.

Toute ma carrière s'est structurée autour de l'habitat individuel groupé dense horizontal parce que j'ai toujours voulu prouver que c'était une alternative pertinente aux barres corbuséennes. J'avais la même densité dans mes quartiers.

SB : *Je date provisoirement la période des pionniers de l'architecture de bois en France entre les années 1965-1985. 1965 parce que je ne trouve rien entre la Libération et cette date hormis la maison des jours meilleurs pour l'abbé Pierre de Jean Prouvé et quelques œuvres de Charlotte Perriand mais plus orientées sur le mobilier. 1985 parce qu'en 1979-1980 se tient l'exposition sur les maisons en bois au centre Pompidou, en 1983 a lieu l'exposition Villaboïs en Gironde et cette même année sont publiés les bilans des opérations REx, à la suite de quoi l'Etat lancera une campagne pour la construction d'environ 6000 logements en bois en France. On peut dire dès lors que la conquête pionnière se termine et que l'architecture de bois rentre dans « le langage courant » de la production architecturale française.*

JPW : Oui, ça cerne bien le côté pionnier, le lancement de l'architecture de bois. Il en est resté une petite flamme. A la fin de cette période a débuté une période intermédiaire alors qu'avant rien n'existait. Des revues sur le bois se sont créées. Donc il y eu une relative progression, qui s'est trouvée à nouveau propulsée maintenant grâce à l'écologie.

Les influences technologiques viennent des USA ou de certains pays scandinaves, qui se trouvent être pleins de mauvaises références architecturales. La maison américaine en ossature bois est très souvent ignoble, décorée avec ses colonnades. La maison lambda suédoise est très banale. Donc quand cette filière a émergé, des revues se sont précipitées sur le sujet, et n'ayant pas la connaissance de ce qui s'est fait ici et ont photographié les maisons américaines. On a donc vu fleurir dans les revues grand public de la maison. La maison traditionnelle américaine est devenue une référence, après que nous ayons été influencés par Neutra et les *case studies*.

Entretien complémentaire avec Jean-Pierre Watel du 9 Novembre 2015

Lieu : agence de M. Watel, 43 rue Albert Samain 59650 Villeneuve d'Ascq.

Stéphane Berthier : *J'ai retrouvé dans un article du Moniteur qu'en 1962 vous aviez développé un système constructif en bois agréé par le CSTB, pouvez-vous me préciser de quoi il s'agit ?*

Jean-Pierre Watel : J'ai cherché mais je n'ai pas retrouvé les éléments. A l'époque quand j'ai animé la renaissance de l'ossature bois j'avais créé un bureau d'étude BETOVE et OTC dépendants de l'agence qui était un bureau d'étude avec un ingénieur. C'était l'époque du Triolo. On a mis au point un système de terre cuite sur lequel on avait déposé un brevet, associé avec Les Briqueterie du Nord. Cet industriel était associé 50/50 avec nous pour exploiter le brevet. Mais catastrophe, il a fait faillite alors qu'on avait mis au point quelque chose d'ingénieux avec des profils spécifiques, tout ça a été réalisé au Triolo mais très vite ces gens-là on fait faillite.

SB : *Le Triolo c'est en 1982, on y reviendra, mais ce n'est pas ce dont je vous parle...*

JPW : Vous avez raison, alors, avant ça, dès 1963 je m'étais associé à un ingénieur qui s'appelait Philippe Martin avec qui nous avons mis au point un système de module destiné à être multiplié par milliers et on en a fait trois. Il s'agissait de modules de construction pour des maisons individuelles. Avec Philippe Martin nous visions le grand public avec cette maison et nous avons installé une maison complète à la foire de Lille, un prototype, pensant qu'on aurait des centaines de commandes mais elles se comptent sur les doigts de la main. C'était de l'ossature bois avec le procédé de Philippe Martin. Sa particularité était d'utiliser des petits bois, ce qui à mon avis était plus complexe et long à faire que le système américain de lisses de 120x50 tramées sur 60cm. Son idée était de faire les murs à ossatures bois avec des petits bois assemblés en croisant des sections de lambourdes 50x50 à l'horizontale et à la verticale, en formant une grille. Cela permettait d'utiliser n'importe quel bois, dans des sections économiques.

Voilà la photographie du modèle présenté en démonstrateur à la foire de Lille. Enfin ce n'est pas celle-ci mais c'est la même qui nous avait été commandée par un bailleur public comme maison pour le gardien d'une résidence en R+5.

J'avais déjà présenté ce genre de maison à Village Expo à St Michel sur Orge, c'était à la suite du concours que j'avais gagné pour « la Maison Européenne ». Mais celle-ci était en maçonnerie.

SB : *Et pourquoi n'en avez-vous pas vendu des milliers, quelles raisons donneriez-vous ?*

JPW : Ph. Martin était très technicien, c'était un des patrons de GIM, une grosse entreprise de menuiserie de l'époque. Par passion, il avait monté ce petit bureau d'études d'ossature bois sur ses fonds propres pour faire cette recherche. Il était comme moi un habitué de l'Amérique, il y allait assez souvent. Mais il n'y a pas eu de suite. C'était la grande époque où on pensait une certaine politique de modèles qu'on n'aime plus aujourd'hui. A mon avis c'était très légitime. Jean Prouvé qui est aujourd'hui très à la mode, après Le Corbusier, a lancé l'idée qu'on pouvait faire des maisons comme des automobiles. On baignait dans cette époque-là, il y avait un esprit du modèle. Mais on faisait des toitures terrasses qui n'étaient pas du goût du public pour la maison individuelle, beaucoup trop en avance, aujourd'hui c'est plus facilement accepté depuis une dizaine d'années, mais c'est tout récent. L'autre raison est que Philippe Martin était très sympathique, qu'il avait placé de l'argent dans ces recherches, c'est lui qui avait financé le prototype de la foire de Lille mais il ne l'a pas développé sur le plan commercial, il n'a jamais embauché de directeur commercial ni de vendeur. Il n'a pas investi dans le développement commercial, il pensait peut-être que les gens viendraient le chercher, mais il n'y en eu que trois, quatre, voire cinq.

SB : *Quelle était la trame de ce module ?*

JPW : Je ne sais plus, moins de trois mètres cinquante je pense.

SB : *Quel était le mode de solivage qui reposait sur ces murs à ossature bois ?*

JPW : C'était une dalle béton au sol et un solivage en bois massif pour la toiture mais je n'ai plus de documentation technique là-dessus pour vous renseigner précisément.

SB : *J'ai lu que vous aviez participé à l'élaboration du DTU à ossature bois avec le CSTB, vous pouvez m'en parler ?*

JPW : Non, ce n'était pas le CSTB mais le CTB (Centre Technique du Bois). Nous avons travaillé, dans la même période, fin des années 60 début 70 à l'élaboration du tout premier DTU ossature bois. Il n'y en avait pas encore sur l'ossature bois proprement dite. C'est certain que la base de mon affection particulière pour l'ossature bois c'est l'Amérique. La technique à ossature bois vient des USA où ils faisaient avec ça des maisons affreuses. Mon inspiration architecturale je la dois plutôt à la Suède, au Danemark. Les américains étaient incroyablement traditionnels, ils le sont encore. Ils livrent le bois en vrac sur le chantier, sections brutes. Ce sont de vrais charpentiers et ils montent tout cela à une vitesse incroyable, ils ne font pas de préfabrication comme nous. Cela a un avantage énorme, en France on est repartis du béton et de sa logique de voile donc on fait des panneaux de bois comme des voiles de béton et ensuite il faut contreventer cela. Aux USA toutes les cloisons sont en ossature bois porteuse et participe au contreventement. En Suède aussi ils ont une bonne technique de panneaux. Mais la technique américaine n'est absolument pas gérable en France, il n'y a plus de charpentiers ! Et l'ossature légère à l'américaine n'a jamais fait partie de leurs traditions artisanales, hormis le pan de bois en Normandie ou en Alsace, mais c'est différent). En France, c'est des usines qui fabriquent des fermettes et des panneaux mais il n'y a plus de charpentiers hormis quelques-uns pour les monuments historiques. Nous n'avions en aucun cas les moyens de faire comme les américains. En Amérique vous pouvez faire n'importe quel plan sur mesure avec ce système-là, nous, nous étions obligés de réfléchir en termes de modèles industrialisables. Il y avait aussi aux USA des entreprises qui vendaient des maisons clés en main selon une politique de modèles, mais c'était plus dû au système de commercialisation plutôt qu'au système constructif.

SB : *Pouvez-vous dater ce travail sur le DTU mené avec le CTB ?*

JPW : C'est après le travail avec Philippe Martin, je dirai au début des années 70. C'est plutôt après mes 30 ans (1963) que j'ai travaillé avec le bois car j'ai voyagé aux USA entre 27 et 30 ans. Je travaillais surtout sur l'habitat dense groupé dont le concours pour la maison européenne que j'ai gagné (1963). Mais le prototype construit à St Michel sur Orge en 1966 était en béton ou en maçonnerie.

SB : *Avez-vous des documents de vos premières maisons en bois, la maison à Bondue et la maison à Mouvaux ?*

JPW : Non je n'ai plus de documents là-dessus, mais la toute première maison à ossature bois que j'ai faite, c'est celle de la foire de Lille après village Expo que j'ai réalisé à 26 ans (*–erreur : Village Expo est construit en 1966, il a 33 ans, peut-être pense-t-il au concours gagné en 64*). La Communauté Européenne avait lancé un concours européen sur l'habitat individuel évolué que j'ai gagné, c'est pour cela qu'on l'a appelé la maison européenne.

SB : *Vos premières maisons en bois, maison Quivron à Bondue 1962, maison à Mouvaux 1965, sont liées à vos recherches sur la Maison Européenne ?*

JPW : Oui sans doute, Mouvaux, c'est une maison individuelle sur le principe de la maison européenne, deux voiles, le *car port*, un patio. C'était pour un médecin avec son cabinet. C'est ce principe qui a été utilisé à Mouvaux mais je ne sais pas si c'est en bois, c'est bien possible mais je ne me souviens plus. Il y avait peut-être une simultanéité entre mes voyages aux USA, la foire de Lille avec Philippe Martin et cette maison est inspiré de la Maison Européenne. J'ai revu cette maison il y a un an à peu près, elle est bien, toute en parement brique.

La maison à Bondue découle des travaux menés avec Martin pour la foire de Lille, c'est une ossature en petits bois. Il s'en est fait peut-être une dizaine de ces maisons, je ne me souviens plus très bien mais vous me réveillez... celle de Bondue avait été habitée par un écrivain Maxence Van der Meerch, elle a été revendue puis j'ai rencontré par hasard le dernier propriétaire à qui j'ai appris qu'il s'agissait d'une maison à ossature bois ce qui l'a surpris puisque tous les murs sont habillés de brique. Contrairement à la mode d'aujourd'hui qui tend à mettre beaucoup de bois dehors, beaucoup trop, exagérément, j'ai toujours pris le parti de revêtir en brique mes constructions à ossature bois.

Pour cette maison à Bondue, c'est la technique de Philippe Martin ?

Je ne sais plus...si, je me souviens !

L'intérêt principal du système mis au point avec Martin c'était bien sur les murs en petits bois mais surtout la toiture ! C'était des bacs finis qui arrivaient sur chantier. Toutes les toitures étaient faites

avec des caissons, finis en sous-face, sorte de gaufrettes posées à une très grande vitesse, ensuite on pouvait mettre l'étanchéité dessus. Ces caissons, selon sa théorie économique, comportaient beaucoup de petits bois triangulés qui optimisaient la diffusion des charges. C'est ce qu'il avait dû comprendre ou croire. Donc ces caissons à l'intérieur desquels il y avait des petites ossatures, c'était plutôt des gaufrettes que des dalles. Après on habillait les panneaux verticaux en brique. L'avantage énorme c'était qu'on était secs, très rapidement hors d'eau hors d'air et le maçon venait ensuite faire son habillage en brique de 11cm pendant que les corps d'état secondaires travaillaient à l'intérieur. Un des gains principaux de l'ossature bois se trouve dans les équipements mais aujourd'hui en 2015 je n'ai toujours pas trouvé de plombier ou d'électricien admettant l'économie que ce mode constructif lui apporte. Autrefois, l'électricien devait faire des saignées partout pour passer sa distribution, le plombier perçait les murs, ils y passaient un temps fou mais je n'ai jamais pu les convaincre de faire moins cher sans toutes ces tâches pénibles et laborieuses ! Un électricien passait 7 jours à faire des saignées !

Si vous regarder un chantier américain, dans les semaines qui suivent la pose de l'ossature, vous voyez tous les câblages et canalisations suspendus à l'ossature, la ventilation, la climatisation etc. C'est très facile pour eux. Mais en France je n'ai jamais pu en récupérer le gain économique. Donc comme l'ossature bois est à priori plus chère que le parpaing à toute chose égale par ailleurs, si vous ne récupérez pas l'investissement sur les équipements, ça ne sert à rien de construire en bois. Prenez la pose de menuiserie dans un système parpaing, c'est plus compliqué que dans une cloison bois qui ne demande qu'un pré-cadre. Là non plus je n'ai jamais obtenu les gains de productivité escomptés.

SB : *Le prototype de Linselles, c'est le prototype de quoi ?*

JPW : J'espérais pouvoir développer sur le principe des modèles que j'évoquais tout à l'heure. C'est la maison Leymonerie, exposée à Beaubourg pour l'exposition Maison de bois. Les poutres étaient mixtes, bois-acier. Cette maison a été construite pour un directeur commercial d'une entreprise ancienne du Nord qui s'appelait Cambrai Charpente. Il était dans le bois et voulait une maison en bois et ces documents techniques que vous voyez ont été mis au point avec le bureau d'étude de l'entreprise. D'ailleurs aujourd'hui toutes les entreprises d'ossatures bois ont un BE intégré.

SB : *Vous avez fait une maison similaire, à la même période, en bardage bois, la maison Delage ?*

JPW : Oui, elle est à Villeneuve d'Ascq. C'est du Red Cedar à l'extérieur. Mais ce sont les mêmes principes que la villa à Linselles.

SB : *Pour les REX, en 1979, vous avez publié dans T&A un premier projet sur la base du prototype de Linselles, pourquoi ce premier projet a-t-il été abandonné ?*

JPW : Je découvre avec vous, je ne me souviens plus de l'historique du projet.

SB : *Pourquoi, pour le projet réalisé vous avez abandonné le système de plan masse issu de la Maison Européenne ?*

JPW : Le Triolo c'était du social locatif, il fallait être extrêmement peu cher. Pour l'opération du Château que nous avons vu tout à l'heure en venant, ce n'était pas cher, mais c'était une opération privée d'accession à la propriété. Or une maison coûte selon le ratio de sa surface de façade par rapport à sa surface au sol. Plus il y a de développé de façade et plus c'est cher ! Au Triolo la société d'HLM n'était pas prête à déboursier plus que le minimum.

SB : *Avez-vous grâce aux REX obtenu des honoraires supplémentaires pour faire cette étude de logements sociaux en bois ?*

JPW : Non !

SB : *J'avais compris que les REX permettaient de subventionner les projets ?*

JPW : Oui ! Mais pas l'architecte !

A l'époque, les bailleurs devaient trouver des financements car ils avaient des quotas de financement qu'ils ne pouvaient pas dépasser, en proportion de leur objectif quantitatif.

A cette époque, il y avait donc de leur part une recherche permanente pour trouver des financements subsidiaires. Donc les filières soutenues par le Plan Construction ouvraient droit à des financements privilégiés. C'est tout. Il n'y avait pas de « subventions » mais un financement excédentaire par rapport à sa dotation de base. Le Maître d'ouvrage avait donc ainsi un supplément de constructibilité.

SB : *Mais cela vous permettait-il de construire un peu plus cher ?*

JPW : Au Triolo nous étions en dessous du prix de référence, moins cher que les autres, nous devons démontrer que la construction en bois permettait de faire des logements moins chers.

SB : *Le Plan Construction vous apportait-il un soutien pour le développement expérimental de ces REx ?*

JPW : Oui, il y avait un groupe de travail des REx-bois ou nous pouvions échanger nos expériences avec Gimonet, Lajus, Rouveau, Schweitzer etc.

Tout ce que mon investissement au Plan Construction m'a apporté c'est l'Ordre du Mérite, c'est déjà ça.

SB : *Quelles sont les innovations techniques du Triolo ?*

JPW : Je ne me souviens plus. C'était très préfabriqué, avec les panneaux de murs et de plancher, vous savez la technique qui simplifie intelligemment les choses n'est presque jamais la moins chère. Pour les bailleurs, l'idéal économique c'est encore les parpaings et tuiles.

SB : *Quels sont vos souvenirs de la collaboration avec Coquart, l'entreprise qui a réalisé ce projet ?*

JPW : C'était une très grosse entreprise d'Auxy-le-Château. C'est toujours une grosse entreprise. J'ai fait beaucoup de chantiers avec eux parce qu'ils étaient parmi les dix ou douze entreprises à cette époque véritablement capables de répondre à ce genre d'enjeu en ossature bois avec des chaînes de panneaux automatisés. Une autre entreprise de ce type, c'est Cuiller qui se trouve dans la banlieue de Rouen. A eux deux ils couvraient le Nord et la Normandie à l'époque. Eux seuls avaient l'équipement industriel pour répondre à ce type de commande.

SB : *J'ai lu que sur ce projet vous aviez travaillé avec Robert Lourdin, vous pouvez m'en parler ?*

JPW : Lourdin ? Peut-être, comme consultant alors, pas comme BE régulier, comme conseiller peut-être.

SB : *Y a-t-il des évaluations de faites sur les Rex ?*

JPW : Pas à ma connaissance. L'idée était de faire une démonstration pour que les gens voient que c'était bien et fassent pareil. L'idée était d'amorcer la pompe, mais dès qu'on a cessé d'apporter de l'eau dans la pompe, elle a arrêté de pomper...L'amorçage n'a pas eu lieu. Dans l'ossature bois, les vingt ans qui ont suivis n'ont rien vu fleurir. Aujourd'hui les gens ne parlent plus que d'ossatures bois ! Allez comprendre, il n'y a rien à comprendre !

SB : *Si, l'argument écologique ?*

JPW : Affirmatif, énormément. Et la RT 2012 a poussé énormément le bois. On y revient un peu à l'agence, partiellement. Mais il y a des problèmes, notamment l'insonorisation des planchers dans le collectif. Et si un mètre carré de mur à ossature bois est un peu plus cher qu'un mètre carré de mur en parpaings alors pour les planchers, si on veut une bonne insonorisation, on parle de 30% d'écart !

SB : *Si vous aviez construit le Triolo en maçonnerie, auriez-vous pu décliner la maison de Linselles, l'idée de la maison européenne ? Ou est-ce que parce que la construction bois était plus chère que vous avez dû réduire vos ambitions architecturales lors du second appel d'offres ?*

C'est partiellement vrai... oui, c'est vrai.

A l'époque quand vous faisiez une REx vous aviez intérêt à ne pas vous planter pour rester dans les petits papiers du ministère. Vous faisiez en sorte de ne pas trop innover, c'est pourquoi bon nombre de chantiers expérimentaux techniques se sont avérés assez désastreux sur le plan architectural. C'est le cas aussi de Villaboix à Bordeaux qui n'est pas du tout une opération reluisante, mais alors pas du tout.

SB : *Vous y avez construit, Gimonet aussi, pourtant ni l'un ni l'autre n'avait mis Villaboix dans vos pressbooks ?*

JPW : Non ! Il n'y avait pas d'argent sur cette opération. Le maître d'ouvrage bordelais avait ses « obligations » vis-à-vis de la filière locale et des entreprises locales. Je crois que les organisateurs ont voulu frapper les esprits en annonçant des maisons bois 20% moins chères que des maisons en

maçonnerie. Et puis c'était des équipes de conception-construction, un peu « mariage forcé », avec l'exigence économique entre les mains de l'entreprise et l'architecte qui n'avait plus de liberté de conception.

SB : *Quel souvenir gardez-vous de vos relations avec l'entreprise Pavisol ?*

JPW : Je ne m'en souviens plus. J'ai la mémoire sélective.

SB : *Lajus, Schweitzer ou Gimonet me disent tous qu'ils ont découvert la construction bois grâce à leurs voyages d'architecture mais qu'ils n'avaient aucune connaissance technique. Avez-vous entendu parlé de Wachsmann en Allemagne dans les années 30 ?*

JPW : Entendu parlé oui, mais documenté, vu des choses non ? En fait la technique arrivée en France a été propulsée par les USA, le Canada et la Suède.

SB : *Vous connaissiez le travail de Prouvé avec le bois, ses panneaux de façades, ses panneaux Rousseau pour les toitures, la maison des Jours Meilleurs ?*

JPW : Non, Prouvé était un constructeur métallique, il ne travaillait pas avec le bois ! Sa technique n'était pas une technique bois, c'était un charpentier métallique. Pourquoi nous serions nous tournés vers lui pour apprendre à construire en bois ?

SB : *Les toitures de ses maisons sont en bois pourtant ?*

JPW : sur ossature métallique ?

SB : *Non, ce sont des panneaux de bois contrecollés qui reposent sur les panneaux de façades en métal ou en bois.*

JPW : Allons, tiens...

Très vite Prouvé a été connu comme un charpentier métallique utilisant l'aluminium. Aujourd'hui on fait des gorges chaudes des constructions de Prouvé, mais enfin s'il fallait les construire aujourd'hui ce serait horriblement cher. Deuxièmement les maisons de Prouvé se sont des objets hors sol, que vous mettez sur un terrain ou un autre, comme un modèle. Si vous mettez dix objets, ça devient idiot, et cinquante, je ne vous raconte pas, en plus la densité serait très mauvaise. Non c'est des élucubrations amusantes d'un charpentier métallique surmédiatisé.

SB : *Avez-vous tiré bénéfice pour votre agence de ce travail d'expérimentation sur l'ossature bois ?*

JPW : Non, rien, à perte, c'est un investissement à perte. Ces sociétés dont on a parlé tout à l'heure comme les Briqueteries du Nord, ça paraît très facile de sortir un produit breveté mais c'est énormément de travail, tout ça pour arriver à ce que l'associé fasse faillite ! Tout ce travail à la poubelle.

Et le bureau d'études que j'avais installé pour l'ossature bois (BETOVE) en pensant que ça se développerait, mais ça ne s'est pas développé à la suite des REx, après c'était mort pendant vingt ans. Moi, j'y croyais tellement que j'avais installé toute une structure en SARL avec un ingénieur, mais pour rien, zéro. Tout cela c'est des investissements à perte. Mon temps passé avec le CTB, ce n'était que des conseils d'administration, cela n'allait pas loin, mais avec le Plan Construction c'était tous les dix jours en réunion au ministère pour rien.

SB : *Pourquoi ça n'a pas marché, parce que construire en bois c'est trop cher ?*

Non, c'est d'abord dû à une inertie des donneurs d'ordre. J'ai eu d'excellents promoteurs qui m'ont fait faire pendant trente ans des choses très intéressantes comme le quartier du Château que nous avons visité tout à l'heure. Quand je lui disais : « on va faire ça en ossature bois » sa réponse invariable était : « tu n'y penses pas deux secondes, oublie ! Niet ! »

Je regrette la frilosité des MO publics ou privés. S'il s'est fait un peu d'ossature bois pendant cette période, c'est seulement grâce aux MO publics, et un peu malgré eux pour les REx. Sinon pour la cliente privée haut de gamme, qui a voyagé et qui se rend compte que dans de nombreux endroits du monde on construit très bien en bois. Si les américains vivent tous dans des maisons en bois, pourquoi ne le ferions-nous pas ? Avec ces gens-là c'était facile de faire de l'ossature bois.

Les choses ont changé aujourd'hui, mais depuis moins de dix ans. Il y a le côté écologique bien sûr mais il y a aussi que la nature technique d'une maison a changé, il y a beaucoup plus d'isolants, d'équipements techniques ce qui fait qu'elle devient beaucoup plus vite obsolète, sa dimension

patrimoniale n'est plus aussi évidente. Personne ne peut plus vivre dans l'environnement d'une maison de trente ans. Il faut tout refaire et on se rend compte que tout refaire est très cher. Les américains ont compris cela depuis longtemps ce qui permet à la ville de s'accroître sur les zones pavillonnaires parce qu'elles ne coûtent pas trop chère, donc les maisons peuvent être démolies pour accueillir des programmes de plus forte densité. D'ailleurs quand ils construisent en dur, ils le font très bien, mais ce sont des agences de 300 personnes, avec des architectes, des ingénieurs, et se sont eux qui conduisent leurs chantiers, ce n'est pas l'entrepreneur.

Entretien avec Christian Gimonet, 02 Mars 2011

Lieu : agence de M. Gimonet, 1, rue Littré, 18 000 Bourges.

Stéphane Berthier : *Je date provisoirement la période des pionniers de l'architecture de bois en France entre les années 1965-1985. 1965 parce que je ne trouve rien entre la Libération et cette date hormis la maison des jours meilleurs pour l'abbé Pierre de Jean Prouvé et quelques œuvres de Charlotte Perriand mais plus orientées sur le mobilier. 1985 parce qu'en 1979-1980 se tient l'exposition sur les maisons en bois au centre Pompidou, en 1983 a lieu l'exposition Villabois en Gironde et cette même année sont publiés les bilans des opérations REX, à la suite de quoi l'Etat lancera une campagne pour la construction d'environ 6000 logements en bois en France. On peut dire dès lors que la conquête pionnière se termine et que l'architecture de bois rentre dans « le langage courant » de la production architecturale française.*

Christian Gimonet : Oui, on peut le considérer comme cela. Honnêtement, et je pense avoir une bonne culture de ce domaine, mais je crois qu'effectivement, à part les exemples que vous citez (Jean Prouvé, maison des jours meilleurs et Charlotte Perriand), votre datation est assez juste. Cependant je pense à Lemême l'architecte qui a lancé Megève, il a fait un certain nombre de chalets, dans une période antérieure. Mais je ne connais pas bien son œuvre. Simplement je vous indique là peut-être une piste mais ce n'est peut-être pas significatif par rapport à notre période. A part cela je ne vois pas autre chose. Si ! Peut-être les frères Rouveau qui ont participé aux REX de la filière bois avec un projet à Provins, mais je n'avais jamais entendu parler d'eux avant, ni après.

SB : *Roland Schweitzer me parle d'une exposition de maisons en bois sur l'esplanade des Invalides, avant 1965, et me suggérait de demander des précisions à Pierre Lajus car l'agence Salier-Courtois-Lajus-Sadirac devaient être impliquée dans cette exposition. Cependant, Pierre Lajus se souvient seulement d'un salon des Arts Ménagers en 1966 sur l'esplanade des Invalides où était exposé leur maison SAMA...avez-vous mémoire d'une exposition antérieure ?*

CG : Je ne peux pas vous dire, je ne me souviens pas cette maison bois. 1966 c'est l'année où je suis revenu à Bourges, mais j'étais encore mi-parisien donc cela m'étonnerait d'avoir raté cette exposition.

En revanche, je me souviens avoir participé à un voyage d'études en Gascogne fin des années 60, dans les cités de loisirs à cette époque-là, à Carcan, Maubuisson, et dans ces endroits-là, et il y avait beaucoup de construction en ossature bois.

SB : *Effectivement, j'avais aussi relevé le lien entre le développement de ce type d'équipement (colonies, villages de vacances, équipements touristiques...) et l'émergence de l'architecture de bois.*

CG : Oui absolument, beaucoup de choses se sont faites dans ce cadre-là, j'ai d'ailleurs habité quelques années de vacances dans la paillote de Lajus à Talaris. Il y en avait beaucoup qui se réalisaient dans cette région-là, en lien avec le tourisme. Je dirais que Pierre Lajus a eu un rôle considérable dans cette histoire, avec ses associés bordelais. Je dirais qu'ils ont lancé une école, parce qu'ils ont énormément influencé les jeunes qui ont travaillé avec eux. Il y avait à Bordeaux une clientèle aisée, une catégorie de bourgeois bordelais qui voulait une résidence secondaire sur la côte Aquitaine et le pourtour du bassin d'Arcachon et qui acceptait tout à fait de vivre pour les week-ends dans des maisons en bois. Ces gens étaient séduits par les maisons que cette agence construisait. Il y eu une émulation, avec des disciples. Il y a eu vraiment une école là-bas. Roland Schweitzer était enseignant, il a fait des réalisations assez exemplaires, mais il était parisien, il essaimait. JPW à Lille, développait son travail mais il n'y avait rien de comparable par rapport à ce que Salier-Courtois-Lajus-Sadirac avaient suscité en Gironde.

SB : *Vous-même avez-vous construit des résidences secondaires, des équipements touristiques ?*

CG : Non je n'ai pas eu cette opportunité. Mon expérience bois s'organise autour des maisons principales, du logement en général mais pas uniquement. Dans la période qui vous concerne, j'avais mis au point dans un immeuble, une structure béton-bois. Je ne suis pas sûr qu'il y en ait eu beaucoup auparavant.

Sachez que j'ai toujours eu un côté militant. Pour moi les questions d'architecture ne sont pas uniquement des questions d'esthétique. Je dois à Franck Lloyd Wright une conception plus bioclimatique de l'architecture. Ma première maison était bioclimatique, utilisait le solaire passif, et j'ai fait des maisons avec des ventilations mécaniques double flux et puits canadiens dès 1971 (exposée à Beaubourg).

J'avais d'ailleurs à cette époque fait une intervention, une conférence dans le cadre d'une réunion de la ligue rurale. J'ai une très grande admiration pour Franck Lloyd Wright, j'ai visité plus des trois quarts de ses constructions. Pour moi, l'origine de toutes mes démarches, c'est la seconde maison Jacobs que Franck Lloyd Wright a construite en 1941 dans le Wisconsin dans le centre-Nord des Etats-Unis...là-bas quand le vent descend du pôle, il n'y a rien pour l'arrêter. Du fait de l'effort de guerre, les Etats-Unis connaissent une mini crise de l'énergie. Cette maison devait être très économe construite avec des moyens frugaux, c'est une maison adossée à un talus, (il dessine : un gros mur de pierre, de petites fenêtres ici, une grande baie vitrée au sud, le plan etc.), très construite autour des conditions de milieu, de climat.

Mais si on d'intéresse à notre pays, le Cher, on se rend compte que les constructions d'autrefois faites pour les populations rurales étaient toujours bien pensées et qu'avec les moyens qui étaient les leurs, très frugaux, orientaient toujours bien leurs maisons, profitaient du soleil du sud, savaient mettre des espaces « tampon » au Nord, poulailler, porcherie, dépendances...En général il n'y avait pas d'ouverture à l'ouest parce que c'est par là qu'arrivait la pluie, et toutes les ouvertures étaient assez réduites car le verre était cher, les moyens étaient très frustrés. Mais quand vous allez vers des climats plus rudes comme le massif central ou bien les Alpes, les gens avaient poussés la réflexion « bioclimatique » encore bien plus loin. J'ai trouvé qu'il y avait un même bon sens pour la conception économe des choses. C'est une tendance qui se généralise aujourd'hui avec cette approche environnementale des constructions. On n'a pas été lié avec Roland Schweitzer, Pierre Lajus, Jean Pierre Watel uniquement parce qu'on construisait avec le bois, mais parce que pour nous l'architecture est un art de synthèse.

On s'est attaché à faire des maisons individuelles, sans doute parce que nous avions le même intérêt pour résoudre des aspects fonctionnels, humains, climatiques et techniques et bien sûr esthétiques.

SB : *Vous vous définissez comme un architecte moderne ?*

CG : Oui, d'une certaine manière, bien sûr mais il faut faire attention aux mots, je ne lie pas cela à une esthétique. Bien sûr je me définit comme un architecte moderne car depuis que je travaille j'ai toujours été soucieux de choses dont je vois qu'elles sont de plus en plus partagées, tous les paysans faisaient du développement durable avant la lettre.

SB : *Vous vous situez parmi les écologistes de l'époque quand vous prônez cette architecture bioclimatique ?*

CG : Non. Je pense être écologiste à ma manière, je lisais « Le Sauvage » c'était une revue...ah vous n'avez pas connu ?!... C'était une revue écologiste avec des dessins de Reiser, elle était farouchement antinucléaire, j'en ai encore quelques numéros chez moi. Mais les milieux écolos de cette période alors là... je me souviens d'une anecdote significative de l'époque. Il y avait, pas très loin de Bourges un agriculteur qui était très éco-militant, adjoint au conseil municipal. Il m'avait demandé de participer à une sorte de colloque, pour présenter ce que serait une architecture respectueuse de l'environnement, j'ai présenté essentiellement des maisons de Franck Lloyd Wright, des maisons danoises, finlandaises, j'ai aussi présenté quelques photos prises dans l'unité d'habitation de Marseille pour montrer ce qu'il serait bien de faire chez nous. J'ai été verbalement agressé par des gens, d'une part parce que j'avais montré de grandes fenêtres orientées au sud mais ces militants étaient pour de petites fenêtres, c'était un gaspi d'énergie produit par St Gobain, c'est-à-dire par un affreux capitaliste. Et d'autre part terminer en présentant l'unité d'habitation de Marseille c'était la fin ! Pourtant, j'avais visité l'école de l'unité d'habitation et j'avais été frappé par le fait que tous les enfants étaient beaux, je veux dire épanouis, radieux, tous. Mais le béton de Corbu, mes militants écolos n'en voulaient pas. Ils refusaient tout ce qui était d'ordre industriel car capitaliste alors que j'y voyais l'occasion d'une amélioration de l'architecture. J'ai donc toujours été en décalage avec les militants écologistes politiques. Je ne me suis donc jamais reconnu dans ces filiations-là.

SB : *Comment avez-vous découvert Wright, par des voyages ?*

CG : Non, en réalité, j'ai eu une vocation très jeune, à la fin de la guerre mon père achetait une revue publiée par les services américains d'information. Ils avaient des articles sur la guerre mais aussi des articles culturels sur les Etats-Unis. Dans l'un de ces numéros, il y avait un article sur l'architecture brésilienne moderne, qui relatait une exposition du MoMA. Je me souviens très bien, j'ai eu un coup de foudre pour le ministère de l'éducation Nationale de Rio, œuvre de Niemeyer et Le Corbusier⁴ Donc j'ai décidé à 9 ans d'être architecte au Brésil.

A partir de ce moment, j'ai récupéré toute sorte d'articles de revues sur l'architecture moderne et c'est comme cela qu'à 12 ans j'ai récupéré un numéro du Figaro où il y avait des photos d'une exposition sur Wright organisée par Perret à l'école des Beaux-arts.

Il y avait la maison sur la cascade, la Lloris de San Francisco etc. J'étais vraiment sous le charme. Puis quand je suis devenu étudiant, il y avait un numéro de l'Architecture d'Aujourd'hui sur les grands créateurs de l'architecture contemporaine, Wright, Le Corbusier, Aalto etc. J'étais très influencé par ces architectes.

SB : Comment se passe les études d'architecture à l'école des Beaux-arts quand comme vous, on est venu à cette vocation par les grands maîtres modernes ?

CG : La douche ! Ça a été une douche froide parce qu'on commence par dessiner des chapiteaux corinthiens ou doriques... J'ai eu des études difficiles. J'étais surpris, décalé. Je suis tout de suite allé aux Arts et Métiers où il y avait un cours d'histoire de l'architecture donné par un certain Ashe. J'ai découvert par la suite que ce professeur calquait son cours sur *Space, Time and Architecture* de Giedon qui n'était pas encore traduit. Il y avait aussi Jean Prouvé qui faisait un cours de construction. J'étais élève de Jean Prouvé. Ce fut une formation parallèle au Beaux-arts, ce fut une grande chance pour moi de suivre ces cours.

C'est aussi la période où j'ai découvert le Japon. Il y avait un exercice aux Beaux-arts qui s'appelait « les éléments analytiques ». On devait rendre une analyse d'une pièce d'habitation. Pour beaucoup c'était une pièce de Versailles, de la villa Farnèse... et moi j'ai choisi d'étudier un des pavillons de Katsura. Je pense que l'ai connu par *Space, Times and Architecture* de Giedon. Il y avait aussi la passion de Wright pour le Japon qui avait excité ma curiosité. J'avais donc étudié le Japon, au sens large, géographie, histoire, culture, peinture, architecture, comme cela tout y passé ! J'ai fait un four avec ce travail, les Beaux-arts n'accordaient pas d'intérêt à ce genre d'architecture. Mais tout de même, j'ai attiré l'intérêt de deux personnes : Edmond Lay et Paul Bossard. Paul Bossard était un architecte, polytechnicien de formation initiale, qui avait construit 600 logements et avait su imposer les conditions de son travail, il avait obtenu une maîtrise totale des choses, des enjeux techniques. Il avait un esprit très créatif et inventeur. Cet ensemble à Créteil devrait être sauvegardé car très inventif. Il m'a offert l'occasion de rejoindre son équipe et cette expérience fut pour moi fondamentale dans ma formation. Je retiens son esprit de maîtrise technique et économique. Il était contemporain de Pouillon (fin des années 50 début 60) et Bossard était dans la même veine, mais il faisait des choses à la fois plus modestes et plus inventives que Pouillon. Pouillon a été lâché de manière scandaleuse par le ministre de l'époque, puis réhabilité par la suite. Pour moi les choses auraient pu être radicalement différentes si cet homme avait continué, si Bossard avait pu continuer, si Chemetov et l'AUA arrivés un peu plus tard étaient arrivés un peu plus tôt, enfin si ce trio-là avait été en mesure de s'exprimer complètement, les conditions de l'architecture auraient pu être complètement refondées en France, alors qu'ils ont été démolis (Chemetov est arrivé trop tard) et pendant ce temps Bouygues montait en puissance. Alors que les architectes recevaient une formation périmée, ils n'étaient pas en mesure de relever les défis auxquels l'époque les confrontait. Ce sont les entreprises générales qui ont pris le relais.

Selon moi, le renoncement des architectes à la maîtrise technique de leur art est à la source du problème.

La société a trouvé ailleurs les moyens de répondre aux enjeux de l'époque, et comme les architectes n'étaient pas en mesure de le faire, et bien, les grands groupes se sont installés en France comme nulle part ailleurs. Il y avait les ingénieurs, il y avait des tas de gens prêts à prendre la place. On a progressivement déshabillé la fonction de l'architecte. Par exemple, vous n'êtes plus désormais associé à l'établissement d'un programme, or je me souviens avoir assisté à une conférence de Luis

⁴ (erreur : c'est Le Corbusier + Lucio Costa...).

Kahn à Yale, qui disait que la première chose qu'un architecte doit faire c'est d'aider à la définition d'un programme. Or ce rôle est désormais retiré à l'architecte. Je continue à être convaincu que Kahn avait raison, mais ensuite, la réforme de l'architecture et l'arrivée des concours et de l'anonymat a rendu impossible cette participation à l'élaboration du programme. Dès lors, l'état et la société ont introduit toute une série de nouvelles professions qui ont eu pour but de pallier la déficience des architectes et notre champ d'action s'en est trouvé réduit d'autant.

SB : *C'est cette situation qui vous pousse à participer au groupe AVEC ?*

CG : Oui en partie, mais surtout, j'avais connu Jean-Jacques Terrin et Nadia Hoyet un peu avant la création d'AVEC. Nadia Hoyet préparait un travail sur la coordination dimensionnelle, et j'avais eu dans T&A un article dans lequel je parlais de cela. Je l'avais donc rencontré à cette occasion. Jean-Jacques Terrin faisait partie d'un groupe de réflexion, il était encore à Atelier 9 à Marseille mais voulait venir à Paris, il était déjà la moitié du temps à Paris. On a eu plusieurs réunions de travail ensemble quand est arrivé dans le Moniteur un article d'un responsable du ministère, vers 1981-82 qui parlait d'une inquiétude sur la manière dont l'état pouvait continuer à construire le logement social. Cette analyse portait sur les différentes filières de l'acte de construire, avec d'abord une analyse de la filière traditionnelle : l'architecte, qui reçoit commande d'un maître d'ouvrage, qui fait une étude, qui fait intervenir des BET et consulte des entreprises. Cette filière présentait l'inconvénient de mettre l'industriel derrière l'entrepreneur, masqué alors que selon cette analyse, la maîtrise des coûts portait d'abord sur le développement des processus industriels. Donc filière pas très performante, pas très porteuse d'avenir, on pouvait comprendre qu'elle était condamnée. Autre filière : l'entreprise générale, plus directe, avec l'architecte sous l'entreprise générale, qui semblait marcher beaucoup mieux. La filière du constructeur, du pavillonneur : plus d'architecte, mais filière efficace économiquement. Toute une série de filières sont ainsi analysées au vu de la nécessité d'industrialiser pour baisser les coûts et la conclusion est que la filière traditionnelle est périmée. A la lecture de cet article, j'ai appelé Jean-Jacques Terrin et Pierre Lajus, qui avaient tous deux lu cet article qui partageaient la même inquiétude d'autant que nous étions fondamentalement pour l'industrialisation. Tout au moins une certaine forme d'industrialisation. Grâce aux premières opérations REX bois j'ai aussi appelé Jean-Pierre Watel, avec qui j'ai toujours eu des relations privilégiées tout au long de ma carrière. Nous avons contacté Roland Schweitzer, Denis Grèzes qui était à Grenoble, Lucien Kroll qui avait fait des choses très évoluées en la matière, il y avait Jean-Pierre Gravas qui était marseillais. C'est comme cela qu'en très peu de temps, nous partagions la même conscience de l'urgence de faire quelque chose. Mais je pense que nous sortons un peu de votre période ?

SB : *Oui, mais les contacts entre toutes ces personnes ont eu lieu dans le cadre des opérations REX et on retrouve dans AVEC la plupart des architectes qui s'étaient vu confier une opération REX-Bois ?*

CG : Oui, si j'ai fait partie des REX c'est grâce à Pierre Lajus. Il y a eu un numéro de T&A sur mon travail et Pierre Lajus m'avait contacté. Je pense que c'est lui qui m'a intégré dans l'équipe des REX-bois qui comprenait, en plus de lui, Schweitzer, Watel et les frères Rouveau.

SB : *Quelles conclusions tirez-vous de l'aventure AVEC ?*

CG : On a créé AVEC avec le parrainage de Jean Prouvé, qui nous avait encouragé et avait accepté d'être président d'honneur. Watel, Terrin, et Lajus fréquentaient le ministère. Une entrevue a été organisée là-bas, les gens qui nous ont reçu trouvaient notre démarche formidable, nous allions être selon leur expression « les chevaux légers » de leur politique. Nous avons participé à un concours à Levallois organisé entre trois AVEC (Watel, Khon, et moi) mais les choses ne se sont pas passées comme elles auraient dues se passer, c'est un souvenir un peu douloureux pour moi. J'étais à priori le lauréat après le concours mais Levallois était une municipalité communiste et mon projet proposait un grand mur au lendemain de la chute du mur de Berlin ! Le maire s'est assis sur la décision du jury et a choisi le projet de Bernard Khon qui n'était pas terrible. Le projet de Watel, n'était pas terrible non plus, ce n'était pas du grand Watel. Mais Bernard Khon avait les moyens de faire beaucoup de concours, avec une grosse équipe.

Il y a aussi eu un projet à la Réunion, où Jean-Pierre Watel était architecte-conseil. Il avait séduit un certain nombre de fonctionnaires de la DDE là-bas. Il fallait aider à développer une politique

industrielle sur l'île. J'avais été chargé d'analyser les conditions du développement d'une industrie du bâtiment. La question était de voir comment on pouvait créer une activité industrielle capable d'essaimer dans l'océan indien, et capable de fabriquer un habitat adapté aux conditions locales. A la même période j'avais fait un voyage au Japon avec des industriels français et nous avons visité des usines locales qui faisaient des maisons industrialisées. Nous avons le sentiment qu'ils allaient conquérir tout le secteur des océans Indien et Pacifique avec ces maisons préfabriquées.

SB : *Ce désir d'industrialisation, à la source d'AVEC, destiné à consolider le rôle de l'architecte dans le champ de la production du bâtiment, a-t-il permis de changer la donne ?*

CG : Non, il y avait des gens intéressés, mais ça n'a pas pris.

Il y avait aussi eu un projet pour constituer des équipes européennes. Nous avons fait intervenir des associés anglais et avec Jean-Jacques, nous étions allés en Suisse, en Belgique, en Espagne et en Angleterre pour y auditer les conditions d'exercice de la profession d'architecte dans ces pays-là. Donc nous avons rencontré une firme anglaise BDP (British Design and partnership) qui nous avait impressionnés, notamment un projet sur et autour de la gare d'Oxford avait retenu notre attention. Nous avons décidé de les introduire dans l'équipe qui participait au projet de la Réunion. Et eux devaient trouver un équivalent pour nous introduire en Angleterre. Il avait été évoqué que je travaille au développement d'un projet de logements en bois sur ce grand projet de la gare d'Oxford. Ces maisons devaient répondre à une exigence sociale de bon niveau et fallait que ces maisons puissent évoluer, puissent se transformer avec l'évolution de la cellule familiale, mais ce projet est tombé à l'eau du fait de la crise économique. De là nous avons été orientés, Jean-Jacques Terrin et moi vers Londonderry en Irlande du Nord, mais cela n'a pas abouti non plus. Mais là, on sort beaucoup du sujet des pionniers de l'architecture bois.

SB : *Je voulais revenir sur les opérations REx et l'articulation entre matériau, filière bois et désir d'industrialisation du bâtiment. Ces opérations ont-elles permis de transformer la filière bois, d'amorcer sa mue vers l'industrialisation ? Comment ont-elles été accueillies par les maîtres d'ouvrages, par les entreprises ? Ont-elles fait avancer les choses ?*

CG : Il y a des choses qui ont avancées. Quand la commande est arrivée, ce n'est pas le ministère qui l'avait apportée. J'avais un contact avec une maire d'une petite commune du Nord du Cher, elle ne voulait pas d'un lotissement banal et m'avait demandé de réfléchir à une alternative. Un voyage d'étude au Canada m'a permis de comprendre que ce n'était pas avec des moyens artisanaux que j'allais résoudre le problème d'un ensemble de logements collectifs en bois. Pendant ce voyage, j'ai fait la connaissance de Pierre Coquart, charpentier qui voulait se lancer dans l'architecture bois. Nous avons sympathisé et nous j'ai étudié le projet sous ses conseils. C'est comme cela que nous avons fait les maisons de Dampierre-en-Cros. C'est en cours d'études que ce projet a été « raccroché » aux REX.

A Oizon, la problématique était différente, il y avait dans cette région des bâtiments de granges dite à cornaliers, avec de très grands toits pyramidaux. J'ai toujours eu le souci du génie du lieu, et j'avais été frappé par les maisons *Suntop* que Wright a construit à Philadelphie. Des maisons de part et d'autre de deux murs en croix. Donc je me suis dit que c'était l'occasion d'utiliser cela sous un grand toit. Mais ces maisons se sont faites de manière artisanale ; on aurait pu passer par des systèmes industriels mais cela ne valait pas le coup compte tenu de la taille de l'opération.

SB : *Votre savoir-faire technique est-il essentiellement constitué d'importation de modèles étrangers (Canada, Japon, USA...) ? De quoi partiez-vous ?*

CG : Avec Paul Bossard, nous avons eu une étude pour Deauville. Un client lui avait demandé des maisons, des résidences secondaires et Bossard voulait faire des maisons en formica, en structure très légère. Nous avons eu l'idée de faire une structure bois avec une enveloppe en formica mais ce n'est pas allé très loin. C'est difficile à dire si les REX ont eu une influence significative sur la filière bois. Bien sur la filière se développe aujourd'hui.

Il y eu un sérieux coup de frein parce que dans les années 80, après les REX, l'Etat a commis des imprudences de communication en disant « construisez en bois, c'est moins cher ! » ce qui n'est pas vrai. C'est moins cher si on est dans des conditions où on optimise le travail en respectant la technologie, les dimensions des matériaux existants. Le bois ne permet pas d'être d'emblée moins cher.

En 1974 j'avais fait un immeuble tertiaire « le Dunois » à Bourges, sur un système mixte bois-béton, chacun étant utilisé intelligemment là où ils sont le plus performant. Il y avait une isolation par l'extérieur, un label « deux étoiles acoustique » mais je n'ai pas eu l'occasion d'en refaire. J'ai fait aussi un bâtiment tertiaire sur un système mixte acier et bois structure acier et panneau d'enveloppe en bois, dans la région parisienne.

Le Dunois avait été mentionné dans un article du Monde par F. Edelmann.

SB : *Aviez-vous dans vos opérations REX un objectif de coût particulier ?*

CG : Non, on ne m'avait pas donné d'objectifs mais effectivement le projet était économiquement intéressant. A Oizon, c'était différent, +14% au-dessus. C'est d'ailleurs là que j'ai pu constater la conséquence de toute la politique de la gauche au pouvoir, qui a renchéri le coût de la construction.

SB : *Hors des Etats-Unis et de Franck Lloyd Wright, d'autres architectes ou d'autres régions du monde ont-elles influencé votre travail ?*

CG : Oui, surtout la Finlande d'Aalto.

SB : *Pensez-vous que cette période a été significative pour le développement de l'architecture bois que l'on connaît aujourd'hui ?*

CG : Difficile à dire. Quand nous avons fait ce voyage d'étude au Canada, nous étions 8 : 2 architectes, 2 ingénieurs, 2 fonctionnaires et de 2 entrepreneurs. Nous avons été reçus à dîner par des gens impressionnants, le syndicat des exportateurs de bois de la Colombie britannique. Ces gens nous ont expliqué avoir gagné un certain nombre de point en Europe, les anglais avaient augmenté considérablement leur nombre de logements construit en bois, en Hollande, un gros pavillonneur venait de prendre le parti du bois, en Allemagne le développement était bon. Pour eux le marché suivant à venir c'était la France. C'est pourquoi ils avaient fait l'effort de nous inviter royalement à dîner. Mais cela ne s'est pas passé comme ils l'avaient escompté. En Grande Bretagne, le lobby des cimentiers a fait une campagne de communication en 1981 en s'appuyant sur toutes les malfaçons faites dans des maisons à ossature bois, avec un fort retentissement et le marché de la maison bois s'est effondré de moitié. En France, la communication médiocre du ministère sur le mode « construisez en bois, c'est moins cher » a fait que des tas de gens se sont rués sur la maison à ossature bois, qui certes n'est pas une technologie compliquée mais qui en revanche exige une grande rigueur dans la conception, de la constance dans l'entretien, qui n'ont pas été observés par les constructeurs. Donc on a eu beaucoup de sinistres.

Villaboiss n'a pas été la réussite espérée, moi-même j'ai eu des difficultés. Mon charpentier qui venait de Tarbes était un Compagnon du Devoir, formation très respectable mais totalement inadaptée à l'industrialisation des systèmes à ossature bois. Cette formation est basée sur un savoir périmé. Quand on voit les chefs d'œuvre des compagnons, d'une virtuosité extraordinaire, ils montrent des capacités conceptuelles remarquables mais déconnectées de la réalité économique de l'époque, et de ses règles d'organisation. Cela devient de plus en plus compliqué en raison des performances thermiques actuelles, avec le handicap du matériau qui n'offre pas d'inertie. On doit donc avoir recours à des systèmes mixtes. Les problématiques d'étanchéité à l'air exigent une réalisation parfaite, surtout pour la filière sèche. Tout ceci requiert une rigueur constructive conjuguée à une gestion du temps performante pour tenir les objectifs économiques. Il est difficile de lutter contre la filière de la maçonnerie et son sous-prolétariat. Donc il faudrait une formation technique qui n'est pas toujours au point, une rigueur qui nécessite de bien préparer ses dossiers. Ma première maison, je l'ai faite avec un charpentier qui était un homme de grande qualité, avec de bons ouvriers, de bons équipements mais il a été une victime type du grenelle de Pompidou et il a disparu. Les corps d'états du bâtiment ont été victimes de politiques aberrantes. Le slogan « pour donner du travail aux jeunes, mettons les vieux à la retraite » a eu pour conséquence de graves lacunes dans le transfert des connaissances. Le résultat est que nous avons aujourd'hui un appauvrissement des savoirs techniques. Nous avons par exemple aujourd'hui toute une population de chefs d'entreprises du bâtiment qui vont être à la retraite dans 5 ou 6 ans sans qu'il n'y ait de relève assurée pour la majorité.

SB : *Vos archives sont-elles organisées, constituées ?*

CG : Non, j'ai un press-book qui ne contient pas forcément tout, mais en tout cas les projets les plus significatifs que vous pourrez consulter.

Entretien avec Robert Lourdin, 07 Juillet 2011

Lieu : bureau de M. Lourdin, 56, rue de Picpus, 75012 Paris

Stéphane Berthier : *Je date le renouveau de l'architecture de bois en France au tournant de 1965, êtes-vous d'accord avec ce jalon ?*

Robert Lourdin : Je ne pense pas qu'il n'y a rien avant, mais il n'y a rien dans l'esprit de ce que vous cherchez, au sens production de masse, d'une construction en MOB (Mur à Ossature Bois) qui participe à l'évolution de l'architecture.

Il y a avant cela des progrès dans la construction bois, mais la construction bois c'est un champ beaucoup plus vaste que celui du MOB. Si vous vous intéressez à l'architecture et au MOB, et aux styles et à la mise en œuvre qui va découler du MOB, et si j'ai bien compris votre idée vous recherchez quelle est l'influence de la structure MOB, de la maison en panneaux à ossature bois sur l'architecture moderne. C'est *grosso-modo* ce que j'ai compris de votre thématique en vous lisant. Je dirais que le premier qui ait fait œuvre de recherche stylistique dans la production MOB c'est Watel, à Villeneuve d'Ascq en 1979 ce qui n'a pas empêché Watel d'être avant cela précurseur de maisons individuelles en bois, avec une stylistique bien à lui à partir des années 70.

SB : *Je veux bien ouvrir la discussion aux autres modes constructifs...*

RL : Lajus avec qui j'ai travaillé a fait des recherches pour des maisons en Aquitaine. L'œuvre de Lajus ne doit pas être négligée et certainement à mettre devant celle de Watel, parce que Lajus est un architecte fondamentaliste, enfin fondamentalement un architecte. Je pense que Watel qui est aussi fondamentalement un architecte a fait ses recherches sur des maisons individuelles en tant qu'architecte en mettant en œuvre la maison à ossature bois, avec les premières poutres en I, et treillis, à l'intérieur de l'habitat. Il a fait de bonnes choses mais dans l'habitat individuel, il n'a pas marqué son territoire par une production de masse d'une architecture qui ressortirait de la maison à ossature bois. Il n'a fait que des maisons, pour lesquels il a mis en place une structure bois. J'ai réalisé une première maison en contreplaqué alors que j'étais encore au Centre Technique du Bois. Ce devait être en 1958, à la foire de Paris, c'était déjà une première petite maison, un prototype. Il y avait aussi des entreprises comme La Maison Familiale qui faisait des charpentes en bois et s'est mise ensuite à faire des maisons en bois. Donc c'était déjà de la maison à ossature bois, ça sortait déjà. On trouvait aussi des hôtels, des maisons de retraites, il y avait déjà une construction qui existait, pas forcément significatif sur le plan architectural. C'est devenu significatif dans les années 1970.

SB : *On parle là de tout ce qui est systèmes héritiers du balloon frame américain, mais s'il y a eu des choses intéressantes avant, cela m'intéresse parce que justement pour l'instant mon hypothèse c'est que Lajus, Schweitzer, Watel, Gimonet, ont importé un savoir-faire qui était un savoir-faire d'Amérique du Nord, qui était le mur à ossature bois et que c'est comme cela que le bois revient en France. Ce n'est plus tout à fait plus évident par rapport à ce que vous me dites ?*

RL : Si vous voulez c'est un problème quantitatif, la quantité est venue avec ces quatre gars-là parce qu'avant il y avait déjà un mouvement d'appui de l'Etat et des collectivités locales qui étaient derrière la filière, qui commençaient à s'y intéresser. La Maison Familiale à Cambrai avait des volontés très fortes en la matière. On a fait différentes choses avec ces gens-là mais ce n'était pas des grandes quantités. C'était une, deux, trois maisons par ci, par là.

La méthode américaine est venue vers 1964. On a fabriqué avec la société Paget à Dijon dans une usine qu'on a construite, les premières fermes triangulées, avec des assembleurs métalliques. Avant cela ces fermettes étaient fabriquées avec des goussets en contreplaqué.

La technologie du *balloon frame*, depuis 1958 on la connaît, mais pour la faire, on la faisait avec nos moyens, on n'avait pas de moyens mécaniques. On faisait de la fermette clouée au lieu de faire de la fermette assemblée avec des goussets métalliques. L'importation de la machine pour fabriquer avec des goussets métalliques, c'est un investissement qu'il a fallu rentabiliser, donc les entrepreneurs se sont mis à chercher des affaires et ils ont sorti des fermettes industrialisées. Et en même temps ils ont sorti des murs industrialisés. C'était la même machine, le même processus industriel. Le MOB est un dérivé des outils industriels de fabrication des fermettes légères. Une entreprise comme Coquard qui était dans le Nord, a monté une usine de fabrication, Laforce à Cambrai qui faisait des menuiseries mais aussi des ossatures. J'ai quitté le CTB en 1959 et dès 1960 j'avais ces gens-là

comme clients. Donc il y a eu des choses qui ont été faites avant mais la production de masse, celle qui a pu influencer la production architecturale, c'est à partir de 1979.

Je reconnais tout à fait la validité de ce que vous avez écrit là, mais la période de renouveau du bois date technologiquement de 1959/1960. C'est l'exposition de Bruxelles qui a révélé aux charpentiers bois qu'on pouvait industrialiser la construction et un certain nombre se sont penchés sur le problème. Ils ont produit du lamellé-collé, pour ceux qui étaient équipés. Les autres ont essayé d'améliorer leurs technologies de construction avec ce qu'ils avaient pu voir là-bas. Le véritable décollage de la construction en bois c'est à partir de 65. Quand j'étais au CTB on mettait à peu près 8,5% du montant du bâtiment dans le bois et après cela nous sommes montés à 12% ou 13%. C'est énorme quand vous voyez ce que cela représente.

SB : *Vous me parliez de 58, d'une maison en contreplaqué ?*

RL : Oui, à la foire de Paris en 58, une maison en contreplaqué de faite à l'initiative du syndicat des fabricants de contreplaqué. J'étais au CTB, et j'ai dessiné cette maison pour ce syndicat.

SB : *C'était nouveau d'employer le contreplaqué dans la construction ?*

RL : Le contreplaqué date du début du XX^{ème} siècle mais il ne rentrait pas dans les matériaux de construction. Il existait en matériau de finition, matériau d'intérieur, mais il ne pouvait pas être un matériau de construction car il n'avait pas les collages de qualité pour cela. Quand j'ai fait mon apprentissage, dans le fond de l'atelier, il y avait une plaque de contreplaqué, c'était sacré, c'était la fin de la guerre, il ne fallait pas y toucher (rires). C'était un contreplaqué de peuplier, je le revois encore, on s'en servait pour faire des tracés. C'est l'évolution des colles qui a permis de le transférer dans le champ de la construction. Les américains ont inventé les résorcines en 1937 qui sont des colles résistantes à l'eau, dans le but de fabriquer des dragueurs de mines en lamellé-collé. Après-guerre ces colles ont servi dans le bâtiment. Et puis nous avons eu les premières colles véritablement capables de coller pour la construction. Elles sont arrivées à Dieppe par la *Borden Chemical* qui les vendait à partir de 1958.

SB : *Dans la même période, Prouvé travaille aussi avec les contreplaqués ?*

RL : Seulement à partir de 1958. Mais il a travaillé non pas avec des contreplaqués mais avec des panneaux contrecollés ! C'est les panneaux Rousseau : c'est extrêmement simple, c'est une frise de bois, une autre frise de bois et entre les deux une frise perpendiculaire, enfin des tasseaux de bois perpendiculaires.

Prenez une lame de bois de 12mm que vous rainurez bouvetez, que vous assemblez entre elles, et entre les deux frises vous avez des tasseaux de bois massif collés perpendiculairement. C'est un brevet de Monsieur Rousseau. Ensemble nous avons fait de très belles constructions. Les mises au point de ce collage ont été faites avec un ingénieur qui s'appelle Pierre Gauthier en 1953, et c'est lui qui avait élaboré les théories permettant le collage de bois à fils croisés, très différent du lamellé-collé.

Pour un contreplaqué, la technologie du bois, c'est des feuillets de placage, déroulés ou tranchés, collés perpendiculairement. Il peut se faire avec des feuillets de placage mais ça ne peut pas se faire avec des lames de bois, car les lames de bois travaillent entre elles et les joints de collage tiennent mal à la sollicitation, moins bien que sur les contreplaqués. Donc ce panneau contrecollé a été mis au point dans l'usine de Patinges à côté de la Charité-sur-Loire, par Monsieur Gauthier dans les établissements Rousseau. Les établissements Rousseau avaient un objectif simple et bien particulier : c'était de fabriquer des silos. La société Rousseau était une société qui fabriquait des hangars agricoles au km², avec une machine spécifique pour sortir les poteaux. C'était un fabricant de hangars agricoles dont vous trouvez des traces dans toute la France. Ils étaient d'abord dans les Vosges, puis ils sont descendus à Patinges où ils ont monté cette usine. Elle a fabriqué des milliers de mètres carrés de panneaux et Jean Prouvé en a exploité quelques-uns à partir de 1952, 1953 dans ses recherches pour faire des toitures d'écoles préfabriquées.

SB : *Vous pensez à ces grands panneaux cintrés ?*

RL : Cintrés ou plans. Je me suis fait un plafond cintré chez moi avec des panneaux Rousseau, simplement avec leur propre poids, ils prennent leur flèche sur le principe de la chaînette. La buvette d'Evian a été faite avec ça.

SB : *Comment avez-vous commencé votre carrière, quel est votre profil ?*

RL : A l'âge de 7 ans je voulais être menuisier, j'ai pu bénéficier d'une bourse à la fin de la guerre et je suis rentré dans une école nationale professionnelle à Sens où j'ai appris la menuiserie. J'ai passé mon brevet de menuisier et après je suis rentré dans un atelier en province chez un artisan où j'ai fait mes deux ans d'apprentissage. Puis ensuite je suis monté à Paris.

Je suis rentré au CTB, je suivais les cours du CNAM le soir et puis j'ai étudié l'architecture en Allemagne.

J'ai eu beaucoup de chance de rencontrer un excellent directeur au CTB. En 1959 j'ai monté mon bureau d'ingénieur-conseil, spécialisé dans les structures, mais pas seulement en bois. Les 4 premières années, je n'ai fait que du bois.

SB : *Le savoir-faire qui permet le passage de l'art du compagnon du devoir aux ossatures bois industrielles, c'est un transfert de technologie ? USA, Canada, Japon ?*

RL : Je veux bien qu'on le dise comme cela. Le transfert de technologie s'est fait en France avec un petit livre assez extraordinaire dans lequel on a appris qu'on pouvait faire du bois collé d'une certaine façon. C'était un petit ouvrage de l'OCDE daté de 1957, à partir duquel on a appris les nouvelles technologies des bois collés.

Et puis il y avait Gauthier, que j'ai retrouvé au CNAM, et il y avait une publication à l'ITBTP qui s'appelait *Les cahiers de la charpente* et c'est avec cela qu'on a fait notre formation, les uns et les autres. Enfin, les uns et les autres c'est vite dit car en 62 nous étions 3 à faire du bois : De Saint-Fons, Brochard et moi.

SB : *Comment expliquez-vous cela ?*

RL : Il fallait donner des cours aux compagnons charpentiers pour qu'ils comprennent qu'il y avait moyen de faire autrement que par l'art du trait. C'est un problème de culture, c'est tout à fait normal. La technologie, elle se mijote quelque part et elle se diffuse si elle est bonne, mais pour arriver à démontrer qu'elle est bonne il y a un gros travail.

La technologie de la maison à ossature bois n'est pas une technologie de charpentier, c'est une technologie de bricoleur. Allez dire à des compagnons charpentiers qui ont travaillé dur pendant 5 ans pour être reconnus charpentier, pour apprendre le trait le soir après le travail, pour apprendre à manœuvrer des madriers, apprendre à les tailler, allez leur dire qu'avec des clous, des bouts de bois, du contreplaqué et un marteau on va faire une maison aussi bien qu'eux, c'est un sacré problème culturel, vous leur triturez l'âme et le cœur.

Regardez avec quoi on a appris à calculer le bois à l'époque, ce petit livre, que j'ai fait en 61 et qui n'a été diffusé qu'en 71 tellement il y avait d'obstacles.

C'est à cette époque que les premières charpentes industrielles se fabriquent, bien qu'il y eût avant des charpentes triangulées inspirée de l'acier, mais réalisées artisanalement, depuis 1937.

SB : *Avez-vous voyagé dans les pays à fort savoir-faire comme le Canada, les USA la Scandinavie ?*

RL : J'ai eu la chance de travailler dans le monde entier, j'ai eu cette chance-là, Canada, USA, Indonésie, en Asie et dans des pays où on construit autrement que chez nous. Au lieu de faire des fermes avec des charpentes, on y fait des fermes qui sont fléchies, avec des bois portés les uns sur les autres, par exemple la construction en bambou.

SB : *Qu'est-ce que vous pouvez me dire sur la filière bois en France durant ces années pionnières :*

RL : La filière bois en France n'existait pas à cette époque-là, elle a été créée à la fin des 1970, sous l'impulsion de l'Etat qui s'est dit qu'il était obligé de faire quelque chose. Il le fit en subventionnant des projets, en en parlant, en créant une dynamique de manière qu'il y ait un développement.

Le problème commence en France avec la production de la matière première. Nous avons beaucoup de forêts, 28% de notre territoire couvert de forêts, mais les scieurs sont des arcandiers, ils ne sont pas capables de faire de la sylviculture, exploitable avec un bon rendement. Nous avons aussi un gros problème de classement des bois, c'est-à-dire que lorsque vous commandez 500m³ de bois pour faire le stade de l'INSEP en 1960 à Vincennes, vous êtes obligé de passer par la Norvège et la Suède pour obtenir les quantités de bois qu'il vous faut. C'est les importateurs de bois du Nord qui faisaient la loi en matière de bois de construction et ils la font toujours. Les plus grosses quantités de notre production viennent de Scandinavie. La forêt française a donc du bois en trop, mais qui n'est pas bon à exploiter de façon courante. C'est du chêne de troisième catégorie que l'on trouve dans

toutes les charpentes traditionnelles, ce n'est pas des résineux, réputés moins nobles, et on ne faisait pas des charpentes en résineux.

SB : *Avez-vous des contacts avec l'Allemagne, la Suisse, avec Natterer par exemple ?*

RL : Mes contacts avec Natterer se sont traduits par un prix qu'il m'a donné en 1992, mais c'est à peu près tout parce que monsieur Natterer a réinventé bien après moi un certain nombre de constructions que j'avais déjà faites en France sans me citer. Je n'ai pas apprécié non plus la manière dont il a chapeauté un bâtiment que nous avons fait avec Roland Schweitzer en plancher béton-bois, la manière dont il s'est attribué la couverture d'un ouvrage qu'il n'avait pas fait. Donc Monsieur Natterer est bien en Suisse, et je suis bien en France. Monsieur Natterer n'a pas eu toute la courtoisie nécessaire.

Mais j'ai beaucoup appris de la construction en Allemagne où j'ai passé trois ans, notamment la construction en bois. Et là j'ai pris des cours d'architecture et c'est comme cela que je suis devenu architecte.

SB : *Avez-vous travaillé avec Schweitzer ou avec Lajus ?*

RL : Oui, avec Roland, à Châlons-sur-Marne, avec Lajus, nous avons fait ensemble un projet de bâtiment, de maison, habitable, modulable sur plan carré, j'ai oublié le nom. J'ai eu jusqu'à 135 personnes dans mon bureau, cela fait beaucoup de projets, je ne me souviens pas de tous.

SB : *Pour une filière bois qui n'existait pas, un bureau d'étude de 135 personnes ?*

RL : Mais nous ne faisons pas que du bois, loin de là, les gens qui ne font que du bois se privent beaucoup, c'est tout ce que je peux dire. C'est un matériau parmi d'autres même si c'est celui par lequel je suis venu au métier. J'ai fait des ouvrages en toile que j'ai la faiblesse de considérer comme très intéressants : j'ai fait toute l'usine de traitement d'eau de Valenton, et j'ai fait des toiles de 60m en double hyperboloïdes qui se réunissent portées par un tripode. On ne peut pas avoir un petit compartiment qui ne fait que la même chose tout le temps. Je suis multiforme.

SB : *Pouvez-vous me parler Les REX ; y avez-vous participé ?*

RL : L'office des Eaux et Forêts avait du bois sur les bras, il fallait bien qu'il le vende, c'est pour cela que l'Etat essaie de créer une filière. Il y a quand même une synergie qui s'est créée et qui a donné une filière. De syndicats en chambres de commerce il y a une filière qui s'est créée. Mais les REX, ça n'a rien fabriqué en pratique. La première grosse opération en bois qui en sort c'est le Triolo à côté de Lille, avec Watel, à Villeneuve d'Ascq. Watel était innovant car il revenait des USA où il avait compris que la notion de décor qu'il a mis en œuvre au Triolo était totalement liée avec la notion de maison à ossature bois, qu'on pouvait faire ce qu'on voulait avec une ossature bois, qu'on la protégeait par ce qu'on voulait devant comme enveloppe, et ce 'ce qu'on voulait' pouvait être un décor, un décor de Disney, un décor de tuile, un habillage qui était une simple protection.

SB : *Au sortir des années 80 combien d'usines sont capables de fabriquer du logement en série ?*

RL : Une grosse quinzaine, qui n'existait pas avant. Cuiller à côté de Rouen, par exemple, est une bonne entreprise qui n'existait pas avant, et avec laquelle nous avons produit beaucoup de logements. C'est une personne qui s'est montée toute seule et qui a extrait de l'industrie du béton un directeur. Ensemble, ils ont monté de la maison à ossature bois et ils l'ont fait très bien. Ce qui prouve que pour faire de la maison à ossature bois, il ne faut peut-être pas être charpentier. Cela me paraît tout à fait logique, à partir du moment où l'on conçoit un meccano, ça n'a plus rien à voir avec le charpentier qui livrait ses arbres sur le tas, avec une herminette pour les dégrossir et faire des poutres. C'est une évolution conceptuelle de la mise en œuvre du matériau. C'est une organisation singulière que justement tous nos charpentiers n'ont pas et qui leur fait peur parce qu'il faut coordonner de l'électricité, du chauffage, du parquet, des revêtements de sol, de la plomberie. Tout ça c'est complètement hors de compréhension d'un compagnon charpentier qui rêve de faire une tour torse, un chef d'œuvre.

SB : *Cette quinzaine d'entreprises se développe dans des massifs forestiers, dans des régions prédisposées au développement de la filière bois ?*

RL : Pour moi, une des premières connaissances, c'est Coquart, dans le Pas-de-Calais. Puis il y a Rousseau pour qui j'ai monté les usines, avec les outillages adaptés mais il ne faisait pas d'ossature

bois, il faisait du lamellé-collé, des panneaux, ou de la charpente traditionnelle. J'ai fait des choses très belles avec Rousseau, des tas d'églises et de machins comme ça. On a bien fait une trentaine d'églises à cette époque-là.

SB : *Y-a-t-il des modes de mise en œuvre du bois qui se développent dans cette période-là et dont nous n'aurions n'a pas parlé jusqu'à maintenant ?*

RL : Ce n'était pas la recherche. La recherche, c'était de faire avec les charpentiers des choses très diverses et variées. Lorsque j'étais au CTB, j'ai travaillé avec un ingénieur issu de l'aviation qui s'appelait Brodeau. Nous avons mis au point des poutres triangulaires en contreplaqué de grande portée, autostables, notamment pour l'école des Glénant à Concarneau. Mais c'était des poutres collées et le problème est que l'industrie du contreplaqué n'arrivait déjà pas à soutenir sa demande intérieure. C'était donc difficile de trouver des panneaux de construction, c'était des fabrications spéciales. De plus les panneaux standards étaient limités par des machines qui fabriquaient des éléments de 2,44m avec lesquels ne pouvions pas faire des poutres. Il fallait donc déjà trouver le moyen d'assembler des contreplaqués entre eux pour qu'ils puissent arriver à reprendre les efforts, donc reconstituer des bandes de contreplaqué, manœuvrer des bandes de contreplaqués et les fabricants ne nous fournissaient pas comme nous le souhaitions. C'est donc des technologies que j'ai travaillées mais que je n'ai pas pu mettre en œuvre en masse même si j'ai fait quelques-unes de ces fermes.

La vraie révolution, c'est l'industrialisation qui a permis de faire des murs à ossature bois à bon marché. C'est d'ailleurs toujours le même sujet. A l'heure actuelle vous sortez un mur MOB à 85 €/m².

SB : *C'est cela qui a permis la démocratisation de ce mode constructif ?*

RL : Oui, on ne raisonnait plus en charpentier qui amène son bois sur le tas pour faire œuvre mais on a monté des chaînes, des machines, pour préfabriquer industriellement les panneaux. Cela demandait un gros investissement en amont. Ce n'est pas des charpentiers au sens compagnons-charpentiers qui l'ont fait. La machine venait d'Allemagne et l'outillage d'Amérique. Nous avons fait venir de Floride M. Dakderuck un ingénieur turc qui parlait français pour travailler sur le montage de ces usines. Nous avons monté une usine en 67 pour un marchand de matériaux. Cette catégorie professionnelle avait de l'argent et commençait à prendre la main sur la gestion intellectuelle du développement du produit. A partir de là nous avons donc pu approvisionner en fermes, en poutres, et il a fallu trouver un BET capable de donner des calculs permettant de vendre ces poutres. Il n'y avait pas de bureau d'études, donc j'ai joué ce rôle avec mon premier ordinateur acheté en 68, on a monté un programme de calcul de poutres. J'ai aussi fait le premier arc en lamellé-collé à Dreux. Il a bien fallu quelqu'un pour les calculer ces arcs, mais les bureaux d'études ne savaient pas les calculer, ni les concevoir (portiques, arc à deux articulations, trois articulations, plein cintre, pas plein cintre ?). Cela faisait appel à des notions qu'ils n'avaient pas. J'ai participé à transmettre les outils conceptuels parce que je ne pouvais pas faire face à toute la demande. Après la machine de l'ingénierie s'est lancée mais il a fallu une dizaine d'année pour y arriver. En 1969 j'ai été invité par Robert Le Ricolais à présenter mes réalisations en bois lors d'un colloque à Bruxelles. Il y a une publication que vous devriez pouvoir retrouver.

SB : *Aujourd'hui, où en est l'ingénierie du bois ?*

RL : Les gens qui font des projets n'intègrent pas qu'il faut payer de l'ingénierie. Lorsqu'ils font de la construction en bois, cette ingénierie ne paraît pas évidente à tous. C'est un métier relativement mal payé, on ne peut pas vivre comme BE, en ne faisant que du bois. C'est pour cela que j'ai diversifié mon activité vers tous les types de constructions. Aujourd'hui, j'enseigne au CHEC-B (centre des hautes études de la construction en bois) et il y a déjà une dizaine d'étudiants qui sont des ingénieurs diplômés qui viennent faire une année de spécialisation tous les ans, et qui trouve du travail sans difficultés. Je dirais que par rapport à l'époque où nous étions trois ingénieurs-conseils sur le marché, aujourd'hui l'ingénierie du bois me paraît bien représentée. L'école d'Epinal (ENSTIB) forme aussi beaucoup de gens qui sont très bien. Il ya même des transfuges de l'école supérieure du bois (ESB) qui viennent dans le bâtiment alors qu'ils sont plutôt destinés à l'ameublement.

Il faut se méfier car le bois a tellement le vent en poupe actuellement que le cycle va se reboucler bientôt. Des cycles j'en ai déjà vécu deux...ça marche, ça marche et plus patatras, le désintérêt.

Quand on voit toutes les constructions bois qu'on fait à l'heure actuelle avec des bois non protégés qui vont devenir gris, il va y avoir une désaffection, il va falloir retrouver autre chose.

SB : *Vous dites que vous avez connu d'autres cycles : à la fin de la période des REX, qui se termine avec Villabois, on parle de 8 ou 10 000 logements en bois...*

RL : Logements en bois certainement pas, il faut plutôt parler de maisons. Les chiffres que vous m'annoncez sont très sujets à caution, il y a là-dedans tous les chalets, constructions provisoires tridimensionnelles etc. Je pense qu'on peut diviser par deux ces chiffres. On compte les cahutes dans les statistiques sans que ce soit des logements au sens où on l'entend ordinairement. A l'heure actuelle il y a entre 12 et 14 000 maisons bois fabriquée chaque année, dont 6 à 7000 vrais logements. Cette progression surfe sur la vague environnementaliste du moment, avec les subventions qui y sont affectées, et tous les moyens de promotion, notamment l'action du CNDB, grâce à la revue « Séquence bois » créée début des années 1990. Cette revue doit avoir maintenant 15 ans, vous pouvez observer l'évolution de la qualité. Nous avons fait auprès des architectes une bonne promotion pour la qualité de l'architecture dans le bois. C'est véritablement là qu'on peut voir la différence. Quand nous avons commencé « Séquence bois » il a fallu se battre contre tous les syndicats qui finançaient le développement de la filière bois qui voulaient passer toutes les photos de leurs petits copains. Depuis 7 ou 8 ans, la qualité est montée significativement et se maintient à un bon niveau.

SB : *Vous avez effleuré, il y a 5mn la question de la construction tridimensionnelle, l'équivalent d'algeco en bois, c'est quelque chose qui s'est bien développé ?*

RL : On n'en voit pas beaucoup parce que l'expression architecturale est là aussi relativement limitée. C'est l'entreprise Houot qui a lancé ça. M. Robert Houot est venu me voir car il souhaitait monter une usine à Gerardmer et j'ai donc travaillé avec lui à l'organisation du procès de fabrication de bloc tridimensionnels. Il a alors inondé le Nord et les Vosges de maisons préfabriquées à la demande. J'avais imaginé des toitures repliables, avec une articulation en tête, qui se déployait sur le chantier.

SB : *Ce mode constructif était-il importé d'Amérique du Nord ?*

RL : Il venait peut-être du Canada au sens où il y a peut-être eu un article dans un journal qui a renseigné sur la faisabilité de cette pratique mais c'était des choses dans l'air du temps dès lors qu'on se posait la question de l'industrialisation du bâtiment. Je le développais ces constructions tridimensionnelles en métal avec IDB, à la suite de quoi, j'ai monté ça en bois avec Houot. On a aussi réalisé une maison de retraite à Athis-Mons avec ce procédé. Elle est toujours là depuis 40 ans, c'est un système qui marche très bien.

SB : *Il y a une chose importante à l'époque, dans la littérature des architectes, c'est la politique de l'industrialisation ouverte et des composants, ça vous parle ?*

RL : Oui, tout à fait, c'est ce que Jean Prouvé a fait. La maison des jours meilleurs est une maison de composants, on ne peut pas trouver plus simple. Mais quand vous additionnez la somme des prix des composants par rapport à un grand panneau préfabriqué en préfabrication dite « lourde » vous n'êtes pas compétitif. Donc la technologie des composants telle qu'elle a été faite n'était pas économiquement viable. Elle ne l'était d'ailleurs même pas techniquement bien souvent. La coordination modulaire telle qu'elle a été pensée à l'époque, avec la norme, les modules, les joints...il faut deux ou trois gros bouquins pour arriver à comprendre comment cela fonctionne. C'est comme Jean Prouvé, il ne pouvait pas tenir la route industriellement parlant, c'est pour cela qu'il a fait faillite et qu'il a fini comme ingénieur conseil. Je l'ai bien connu, j'ai été son élève et son premier ingénieur diplômé au CNAM. Quand j'ai soutenu ma thèse au conservatoire, c'est Prouvé et Rousseau qui ont été mes patrons de thèse.

A l'heure actuelle je m'occupe de faire démonter une école Prouvé, il faut voir dans quel état est la construction : les joints sont fichus, les panneaux sont décollés etc. la remettre en état semble très difficile. La superposition et la multiplication d'éléments raccordés entre eux, confronté aux règles actuelles de thermique, de solidité, de sécurité, ça ne marche plus du tout.

Cette théorie des composants était valable pour des murs rideaux à partir de structures en béton. Mais enveloppe et structure en composants c'est très difficile.

Alors entre le verbe, l'écrit, la description de la politique des composants et ce qu'on en a fait, il y a un gouffre. Quand vous cherchez des choses construites, il n'y en a pas beaucoup et ça vaut mieux.

Cela supposait aussi une gestion importante de stock de composants et donc celui d'investissements lourds en amont. Plus vous faites de composants petits plus ils sont chers. Plus on fractionne, plus on a de joints, donc de problèmes d'étanchéité, de ponts thermiques, et plus vous avez de manutention, de stockage et de coûts élémentaires.

Ce que nous avons développé avec IDB, c'est une petite usine d'assemblage de structure métalliques sur place. On pouvait monter rapidement un volume tridimensionnel dans un petit atelier forain. Il y avait bien sur un effet de seuil, il ne fallait pas trois logements mais avec 60 logements nous nous en sortions. Mais à l'époque, on nous en confiait 2000 !

Quand nous avons voulu faire cela dans la filière bois, nous n'avons trouvé personne pour scier le marché de 2000 logements, pourtant nous avions le marché. C'est pour vous dire qu'à l'époque la demande était telle que l'important était de pouvoir faire et de pouvoir le faire dans le prix avec lequel nous étions engagés.

SB : *Comment voyez-vous aujourd'hui les développements de la filière bois ? Notamment ses nouveaux produits tels que les panneaux de contrecollés qui viennent d'Autriche ou d'Allemagne ?*

RL : C'est du panneau Rousseau, ces panneaux dont vous parlez et qui sont à la mode actuellement, c'est du panneau Rousseau !

En plus forte épaisseur, mais vous avez toujours trois plis collés, croisés, c'est la même chose.

Il y a plusieurs problèmes avec ça ; personnellement sur le fond, sur ma philosophie de construction, j'ai toujours été habitué en tant qu'ingénieur à faire le plus léger possible, ma vocation c'est de mettre le moins de matière possible pour obtenir le même résultat que les autres, si ce n'est mieux ! Ces panneaux contrecollés, c'est l'antithèse. On revient au charpentier qui met les troncs les uns sur les autres en les empilant. La différence c'est qu'on les fait passer dans une machine et qu'on les colle.

Donc on empile, on empile et on est content car on a consommé beaucoup de bois ; c'est la vocation autrichienne.

SB : *Mais on arrive peut-être à rivaliser avec la filière du béton sur des immeubles de plus grande hauteur ?*

RL : Oui, peut-être, c'est possible.

SB : *Le mur à ossature bois a du mal à répondre à des programmes de grande hauteur ?*

RL : Le MOB n'a pas de mal à monter s'il est mis dans une ossature principale et devient un composant d'un système plus complexe que lui-même. Bon, le MOB, je ne suis un fanatique, je ne demande qu'une chose c'est de trouver mieux, mais en l'état actuel des choses, c'est qui se fait de mieux sur le plan économique, en mettant moins de bois en œuvre pour ne pas gâcher le matériau. Avec le MOB, on remplit les vides avec de l'isolant, c'est très léger.

Mais comme les autrichiens ont trop de bois et ne parviennent pas à consommer l'accroissement annuel de leurs forêts, l'intérêt économique des forestiers c'est d'en mettre un maximum dans le minimum de construction.

SB : *En France au contraire on en importe le plus possible ?*

RL : Alors, c'est le problème, c'est là où ça ne va pas, c'est là où il y a un décalage chez nous. Au lieu de commencer à réformer le métier de scieur, de marchand de bois, nous, on réforme à partir des produits finis. Et donc comme la ressource dont nous disposons n'est pas idéale par rapport à la normalisation des produits finis, on en arrive à importer d'Autriche ces fameux panneaux contrecollés qui consomment tant de matière.

Par exemple, nous avons gagné le concours de l'école du bois de Nantes, puis est arrivé M. Flar, ancien assistant de M. Natterer, qui a proposé à l'architecte de faire une coupole en bois massif tandis qu'on venait de passer 20 ans à travailler la géométrie dans l'espace pour réaliser des structures spatiales, à étudier les solutions les plus optimisées !

Alors ne me demandez pas la prospective que j'ai sur la maison bois avec ces produits, pour la bonne raison qu'en l'état, les considérations qui priment chez les promoteurs c'est le MOB puisque c'est le prix qui compte. Le MOB est le procédé le moins cher.

Bibliographie

I CHAMP THEORIQUE GENERAL

- _Alkrich Madeleine, Callon Michel, Latour Bruno, « A quoi tient le succès des innovations ? part. 1 et 2» *Gérer et comprendre, Annales des Mines* n°11 et 12, 1994
- _Baudrillard, Jean, *Le système des objets*, Ed. Gallimard, Paris, 1968
- _Beck Ulrich, *La société du risque, sur la voie d'une autre modernité*, Ed. Flammarion coll. Champs essais, Paris 2001 (ed. originale 1986)
- _Duflo Esther, *Expérience, science et lutte contre la pauvreté*, coll. Leçons inaugurales du Collège de France, Ed. Fayard, Paris 2009.
- _Descola, Philippe, *Par delà Nature et Culture*, Coll. Sciences Humaines, NRF Gallimard, Paris 2005
- _Edgerton, David, *The shock of the Old, technology and global history since 1900*, Ed. Profile Books Ltd, London 2006
- _Gaglio Gérald, *Sociologie de l'innovation*, PUF, Paris 2011
- _Illich Ivan. *La convivialité*, Coll. Ed. du Seuil, Paris, 1973
- _Latour Bruno, *Nous n'avons jamais été Modernes*, La Découverte, Paris, 1997
- _Levi-Strauss Claude. *La pensée sauvage*, Ed Plon, Paris 1962
- _Morin Edgar, *Introduction à la pensée complexe*, Ed. du Seuil Paris 1990
- _Mumford Lewis, *Technique et Civilisation*, Ed. Seuil, Paris, (1930) 1950
- _Rifkin, Jeremy *La société du coût marginal zéro*, Ed. Les Liens qui Libèrent, Paris 2014
- _Rifkin, Jeremy *La troisième révolution industrielle*, Ed. Les Liens qui Libèrent, Paris 2011
- _Schumpeter Joseph, *Théorie de l'évolution économique* Paris Dalloz (1911) 1999.
- _Schön Donald, *The reflective practionner : how professionals think in action*, Ed. Ashgate, Farnham UK, 2011 (1983 éd. Originale)
- _Simondon Gilbert, *Du mode d'existence des objets techniques* Ed. Aubier, Paris 1958
- _Simondon Gilbert, *Imagination et invention 1965-66*, Ed. La Transparence, Chatou, 2008
- _Simondon Gilbert, *L'invention dans les techniques : cours et conférences, 1968-71* Ed. Seuil, Paris 2005
- _Simondon Gilbert, *Sur la technique, 1953-83* Ed. PUF, Paris 2014

II CHAMP THEORIE ET HISTOIRE DE L'ARCHITECTURE

- _Archieri et Levasseur, Prouvé, Cours du CNAM 1957-1970, Mardaga, Sprimont 1990
- _Banham Reyner, *Theory and Design in the First Machine Age*, Praeger 1960
- _Banham, Reyner, *Architecture of the well tempered environment*, Ed. Architectural Press, London, 1969
- _Botticher K. *Die Tektonik der Hellenen*, (2 Textbände und Tafelband) Potsdam 1852
- _Chupin Jean Pierre *Analogie et théorie en architecture*, Infolio, Genève, 2010
- _Chupin Jean-Pierre, Simmonet Cyrille, *Le projet tectonique*.Ed. Gollion Infolio, 2005
- _Collectif. *Catalogue des expositions et du projet global Jean Prouvé 2012*, Musée des Beaux-Arts de Nancy, 2012.
- _Collectif *Jean Prouvé, la poésie de l'objet technique*, Vitra design Museum GmbH, 2004
- _Dupire Alain, Hamburger Bernard, Paul Jean-Claude, Savignat Jean-Michel, Thiebaut Alain *Deux essais sur la construction :, conventions, dimensions et architecture*, Ed Mardaga, Bruxelles 1981
- _Epron JP, *Conception architecturale et industrialisation*, Rapport final de recherche CEMPA, contrat CORDA n°2594, 1972
- _Hamburger Bernard, *Dimensionnement*, contrat CORDA, Juin 1978
- _Frampton Kenneth, *Studies in tectonics cultures*, MIT Press, Cambridge, 1995

- _Frampton Kenneth, « La tectonique revisitée » in Chupin JP et Simonnet C.(dir) *Le projet tectonique* coll. _Archigraphy, Ed. les Grands Ateliers, L'isle d'Abeau 2005
- _Gauzin-Muller Dominique (sous la dir.) *Habiter écologique, quelles architectures pour une ville durable ?* catalogue de l'exposition éponyme, Actes Sud, 2009
- _Gibb Alistair, *Off-site fabrication*, Whittles Publishing, Caithness UK, 1999
- _Giedion Siegfried *Mechanization takes command* Oxford University Press 1948
- _Grèzes Denis. et Charon JP, *Industrialisation ouverte, recherche et expérimentation 1971-1983*, Plan Construction et Habitat, Paris 1983
- _Kieran Stephen, Timberlake James, *Refabricating architecture, how fabricating methodologies are poised to transform building construction*, Ed. MacGraw-Hill, New-York 2004
- _Lavalou Armelle, *Jean Prouvé par lui-même*, Ed. du Linteau, Paris, 2001
- _Marrey Bernard, *Du maître d'œuvre au disagneur*, Ed du Linteau, 2014
- _Mimram, Marc, Structures et Formes, études appliquées à l'œuvre de Robert Le Ricolais, Dunod / Presses Ponts et Chaussées / Ed. Bordas Paris 1983
- _Picon Antoine, *L'invention de l'ingénieur moderne*, Presses de l'ENPC, Paris 1992
- _Picon Antoine, *L'art de l'ingénieur*, Ed centre Pompidou, Paris 1997, catalogue de l'exposition éponyme
- _Picon Antoine, *Culture numérique et architecture, une introduction*, Ed. Birkhauser, Basel 2010
- _Richard Roger-Bruno « La saga d'un rêve plus logique que la réalité, industrialiser la production de logement pour le plus grand nombre » *Trames* n°15, Faculté de l'aménagement, Université de Montréal 2004
- _Rollet, Pascal « De la nécessité de la recherche finalisée pour la R&D en architecture » in *Les Cahiers de la Recherche Architecturale et Urbaine* n°26-27, 2012 p233-241
- _Sulzer Peter. *Jean Prouvé, Œuvre Complète / Complete Works*, 4 volumes, Ed. Wasmuth, Berlin 1995
- _Valery Paul, *Eupalinos ou l'architecte*, Gallimard, Paris, 1923
- _Konrad Wachsmann, *Wedenpunkt im Bauen*, Wiesbaden, Krausskopf-Verlag, 1959.

III CHAMP THEORIE ET HISTOIRE DE L'ARCHITECTURE DE BOIS

- _Crouzet Alix *Les maisons à ossature bois, deux exemples en Aquitaine : la villa Morton et Villaboiss*, 3 tomes, Mémoire de maîtrise d'Histoire de l'Art sous la dir. de M. Saboya, Université Montaigne Bordeaux III, 2004
- _Schweitzer Roland (sous la dir.) , *Habiter le bois*, Ministère de L'Equipement, du Logement, de l'Aménagement du territoire et des Transports, CSTB, 1986
- _Ensa Normandie, *textes et iconographie de la conférence de Jean Pierre Watel du 10 avril 2007*
- _Gauzin-Muller Dominique *L'architecture écologique du Vorarlberg*, Ed. du Moniteur, Paris 2009
- _Gauzit N., Jean P., Pigeat J.P., Schweitzer R. *Maisons de bois*, catalog of the exhibition, Centre Georges Pompidou/CCI, 1979
- _Gramazio Fabio, Kohler Matthias *The robotic touch, how robots change Architecture*, research ETH Zurich, Ed. Park Books, Zurich 2014
- _A. Guillaume (dir.) 'Le front de l'industrialisation de la construction' in *Les Cahiers de la Recherche Architecturale et Urbaine* n°28, Sept. 2013, Ed. du Patrimoine, Centre des Monuments Nationaux, Paris 2013
- _Jacques M. et Nève A. *Courtois Salier Lajus Sadirac, atelier d'architecture Bordeaux 1950-70*, catalogue de l'exposition éponyme, Arc-en-Rève, centre d'architecture Bordeaux, 1997
- _Kaufman Herman, Nerdinger Windfried, *Building with timber, path to the future*, Ed. Prestel, Munich 2011
- _Lambert Alexandra, *L'architecture bois en France, de la décadence au renouveau*, Mémoire de Master sous la direction de J.C. Bignon, ENSTIB / ENSAS, Strasbourg 2008
- _Marrey Bernard (Dir) Schweitzer Roland, Histoire de bois, catalogue de l'exposition *Le bois, essences et sens* organisée par le Pavillon de l'Arsenal, Ed. Picard, 1994
- _Sumi Christian, « l'utilisation du bois et la maison BCC » in *Jean Prouvé, la poésie de l'objet technique*, _Collectif, Vitra design Muséum, 2004, page 194 à 196
- _Schweitzer Roland, *Roland Schweizer, un parcours d'architecte*, Ed. Artsign, Paris, 2014
- _Weinand Yves *Timber Project*, PPUR, Lausanne, 2010

IV OUVRAGES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION BOIS

- _Bignon Jean-Claude, Lausecker François, *La maison à ossature bois, fichier synoptique d'opérations*, Ecole d'Architecture de Nancy, 1983
- _Bontemps D. *Charpentes de la région Centre du XII^{ème} au XIII^{ème} siècle*, Centre des Monuments Nationaux, Ed. du Patrimoine, Paris 2002
- _Coll. *Encyclopédie des métiers de la charpente et de la construction bois*, Lib. du Compagnonnage, Paris 1977
- _Coll. *Construction de maison à ossature bois – Canada*, Société Canadienne d'Hypothèques et de Logement, 1979
- _Campredon J. *Le bois, matériau de la construction moderne*, Dunod Paris 1948
- _Gauthier P. « charpente collée, théorie et réalisation des assemblages » in *Annales de l'ITBTP*, n° 161 de décembre 1950.
- _Gauzin-Muller Dominique, *Construire avec le bois*, Ed. Le Moniteur, Paris, 1999.
- _Lourdin Robert, *Construire de grands espaces à l'aide de structures en bois*, mémoire d'ingénieur du CNAM, dir. Jean Prouvé, Paris 1961
- _Lourdin R. *Structures spatiales en bois*, Cahiers du Centre d'Etudes Architecturales, Bruxelles 1969
- _Monnin M. « Essais physiques, statiques et mécaniques des bois » *Bulletin de la Section technique de l'aéronautique militaire*, fascicules 29 et 30, juin-juillet 1919
- _Natterer Julius (dir) *Holzbau Atlas* Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München 1978 traduit en français sous le titre *Construire en bois*, Presse Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne 1987
- _Pracht Klaus, *Holzbau-systeme* Verlagsgesellschaft Rudolf Muller Köln 1978, traduit en français sous le titre *Les systèmes constructifs en bois*, Ed. du Moniteur Paris 1978
- _Nicolas J. « Ossature bois : des maisons modulaires » *Le Moniteur* 22 Juillet 2011, p 20 à 22
- _Wachsmann, Konrad *Holzhausbau – technik und gestaltung*, Wasmuth Verlag AG, Berlin, 1930, réédité en langue allemande en 1980 par The Estate of Konrad Wachsmann et en 1995 en langue anglaise, Birkhauser Verlag, Basel.

VI REVUES D'ARCHITECTURE

- _AA n°11 Novembre 1938 : *Dossier « Le bois et ses nouvelles applications dans la construction »* sous la direction de J. Campredon
- _AA n°99 Déc 1961, thématique « Art de l'ingénieur (structures spatiales) »
- _AA n°136, 1968, Dossier Jean-Pierre Watel
- _AA n°347 Juil-Août 2003 thématique « bois »
- _T&A n°7-8 Juil-Août 1942, thématique «Le bois I» sous la direction de J. Campredon
- _T&A n°9-10 Sept-Oct 1942, thématique «Le bois II» sous la direction de J. Campredon
- _T&A n°321 Octobre 1978, Thématique « Architectures de bois »
- _T&A n°327 Nov. 1979 thématique « industrialisation ouverte I : principes et expérimentations »
- _T&A n°328 Déc. 1979 thématique « industrialisation ouverte II : systèmes constructifs et composants »
- _T&A n°338 Oct. 1981 thématique « habitat individuel »
- _T&A n°347 Mai 1983, thématique «Le bois dans l'habitat, traditions ou ruptures ? »
- _T&A n°365 Avril-Mai 1986, thématique « architectures de bois »
- _T&A n°404 Nov. 1992 thématique « architectures de bois »
- _Le Moniteur du 10 Septembre 1982, Dossier « Les filières de la construction face à la nouvelle industrialisation ».
- _Le Moniteur du 13 mai 1983 « Construire avec le bois, deux expériences d'architectes : Christian Gimonet à Bourges et Jean-Pierre Watel à Lille » pp.54-58
- _Architecture à vivre Hors Série Maisons Bois, Décembre 2007 « Pierre Lajus, parcours d'un pionnier »
- _Formes V7 N3.11 thématique « Systèmes constructifs industrialisés »

- _Recherche et architecture n°40 1983 « la borne de l'espoir habitations individuelles à Villeneuve d'Ascq par Jean-Pierre Watel » pp 3-8
- _AMC Hors série Novembre 2016. Lipsky+Rollet architectes, portrait d'agence.
- _D'Architecture n°250 Décembre 2016-Février 2017 « dossier : Peut-on inventer en apprenant ? » pp69-107

VII ENTRETIENS

- _Berthier S. Entretien avec Roland Schweitzer le 10 février 2011
- _Berthier S. Entretien avec Pierre Lajus le 15 février 2011
- _Berthier S. Entretien avec Jean-Pierre Watel le 28 février 2011
- _Berthier S. Entretien complémentaire avec Jean-Pierre Watel du 9 Novembre 2015
- _Berthier S. Entretien avec Christian Gimonet le 2 mars 2011
- _Berthier S. Entretien avec Robert Lourdin du 7 Juillet 2011

Remerciements

Je remercie Jean-Jacques Terrin, directeur de cette thèse, pour son soutien constant, notamment quant au format expérimental d'une thèse sur articles, ses conseils et sa capacité à me lire avec un recul salutaire.

Je remercie Jacques Anglade, Amélie Cuiller, Olivier Gaujard, Christian Gimonet, Pierre Lajus, Stéphane Laurent, Florence Lipsky, Robert Lourdin, Alain Maugard, Roland Schweitzer, Justyna Swat, Jean-Pierre Watel et Yves Weinand, pour le temps qu'ils ont consacré à me faire part de leurs expériences.

Je remercie Nadia et Jean-Michel Hoyet pour m'avoir fait partager leur connaissance de l'architecture de bois, pour leurs conseils avisés et leurs relectures précieuses des articles « Les charpentes de Jacques Anglade » et « l'appropriation de la technologie à ossature bois légère ».

Je remercie Bill Addis et James Campbell, *editors of Journal of Construction History Society* ; Margotte Lamouroux rédactrice en chef de la revue *Séquence Bois* ainsi que les membres du comité de rédaction ; Catherine Bruant, directrice de la publication de la revue *fabricA*, Françoise Fromonot, Stéphanie Sonnette, Ariane Wilson et Valéry Didelon du comité de rédaction de la revue *Criticat*, pour l'exigence de leurs relectures et pour la confiance qu'ils m'ont témoignée en publiant mes articles.

Je remercie la direction de l'ENSA de Versailles et du LEAV pour m'avoir permis de terminer sereinement la rédaction de cette thèse.

Je remercie Isabelle Noraz, Richard Thomas et Nina Marchais pour leur aide à la traduction du français vers l'anglais de l'article « Le bois dans l'œuvre architecturale de Jean Prouvé » et John Crips pour sa traduction de l'article « De l'art du charpentier à l'art de l'ingénieur »

Je remercie Isabelle, Jeanne et Clément pour leur patience et leur soutien tout au long de ces années de thèse.