



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Conception de la matérialisation en architecture :
l'expérimentation comme facteur d'innovation industrielle

THESE

Pour l'obtention du

Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine

Discipline : Sciences de l'architecture

Formation doctorale : informatique

Présentée et soutenue publiquement par

Nadia Sallé, épouse Hoyet

Le 29 novembre 2007

Directeur de thèse : Jean Claude Bignon

Membres du jury

Rapporteurs	M. Philippe Potié	Professeur, HDR, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble
	M. Gérard Moulin	Professeur, HDR, Université de Technologie de Compiègne
Examineurs	M. Nicolas Bouleau	Professeur, HDR, Ecole Nationale Supérieure des Ponts et Chaussées
	M. Vincent Boly	Professeur, HDR, Ecole Nationale Supérieure du Génie des Systèmes Industriels, INPL.
	M. Jean Claude Bignon	Professeur, HDR, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy.

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR
Monsieur Philippe POTIÉ, Professeur, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture, Grenoble
Monsieur Gérard MOULIN, Professeur, Université de Technologie, Compiègne

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorisé :

Madame SALLÉ Nadia Épouse HOYET

à soutenir devant un jury de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE,
une thèse intitulée :

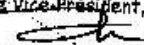
**"Conception de la matérialisation en architecture : l'expérimentation comme facteur
d'innovation industrielle"**

NANGY BRABOIS
2, AVENUE DE LA
FORÊT DE HAYE
BOITE POSTALE 3
F - 54501
VANDOEUVRE CEDEX

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : « Architecture »

Pour le Président
Le Vice-Président,

Jacques JARAY

Fait à Vandoeuvre, le 12 novembre 2004
Le Président de l'IN.P.L.,
F. LAURENT



Conception de la matérialisation en architecture :
l'expérimentation
comme facteur d'innovation industrielle

Nadia Hoyet

THÈSE

dirigée par Jean Claude Bignon

Remerciements

Je remercie Jean Claude Bignon d'avoir accepté de suivre ce travail au sein de son laboratoire et de m'avoir guidée dans cette recherche, en m'incitant à toute la rigueur qu'elle requiert.

Je remercie l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture dans laquelle j'enseigne pour son encouragement à prendre un congé pour études sans lequel cette thèse n'aurait pu être rédigée.

Je remercie la Direction de l'Architecture et du Patrimoine du Ministère de la Culture et de la Communication de m'avoir accordé ce congé pour études.

Je remercie les membres de l'équipe de recherche
« Cultures Constructives » pour leur écoute et leurs conseils.

Je remercie mes proches pour leur soutien : Jean-Michel pour sa confiance constante, Raphaël pour ses conseils avisés, et tous les autres pour leur grande patience.

Table des matières

Présentation	13
1. Chapitre introductif : état de l'art, définitions et hypothèses	17
1.1. Contexte de la recherche : les activités de production de l'édifice.	17
1.1.1 La production du bâti	18
1.1.2. Fabrication des matériaux de construction	19
1.1.3. Mise en forme des composants	21
1.1.4. Construction sur le chantier	23
1.1.5. Synthèse des activités de production d'un édifice	25
1.2. Evolution dans les modes de production et de conception	26
1.2.1. Déplacement de la création de valeur	26
1.2.2. Du point de vue architectural ; formes et outils de représentations	27
1.2.3. Du point de vue des sciences et des techniques : le matériau suit la fonction	28
1.2.4. La matière, élément de conception	29
1.2.5. Du point de vue écologique : énergie et ressources	29
1.3. Quel paradigme ?	31
1.3.1. Les matériaux et l'architecture : les manuels de construction	31
1.3.2. Construire en...	33
1.3.3. Des revues d'architecture par filière	35
1.3.4. Les signes précurseurs d'un paradigme en déclin	35
1.4. La conception architecturale dans la recherche	38
1.4.1. Modélisation des processus de conception	38
1.4.2. Modélisation des processus d'activités	40
1.4.3. Les processus de conception d'un point de vue de l'ingénierie	41
1.5. Processus de conception de la matérialisation en architecture : un modèle en hypothèse	45

2. De la matérialité à la matérialisation dans le processus de conception architecturale	49
2.1. Le processus global de conception architecturale	49
2.1.1. Avant l'expérimentation	49
2.1.2. Conception réglée : une suite d'opérations « prescriptives »	50
2.1.3. Introduire les itérations	54
2.2. Emergence des premiers concepts : la matérialité	54
2.2.1. Types de problèmes posés par la projet d'architecture	56
2.2.2. Ordre d'apparition des concepts : hiérarchie des idées	57
2.2.3. Origine et nature des concepts liés à la matérialité	58
2.2.4. La matérialité résultante d'autres réalités programmatiques	60
2.2.5. Le matérialité, finalité et moyen	64
2.2.6. Origine et nature de la matérialité, à l'état de concept	66
2.3. La matériau signifiant	74
2.3.1. Résoudre un problème	74
2.3.2. Créer du sens avec des connaissances	75
2.4. Modéliser l'émergence de la matérialité dans la conception	87
3. Le besoin d'expérimenter	91
3.1. De la matérialité à la matérialisation	91
3.1.1. Les états de l'élément de matérialité	91
3.2. Concevoir la matérialisation	96
3.2.1. Bottom up or Top down	96
3.2.2. Concevoir la matérialisation en fonction des opérations effectuées sur le chantier	98
3.2.3. Concevoir la matérialisation avec les fabricants	104
3.3. De la matérialisation à l'expérimentation	110
3.3.1. Expérimenter avec les métiers du chantier	110
3.3.2. Expérimenter avec les préfabricants	114
3.3.3. Expérimenter avec les industriels	120
3.4. Conclusion : l'expérimentation dans le processus de conception architecturale	125
3.4.1. Modélisation du processus de conception de la matérialisation	125
3.4.2. Autoriser l'expérimentation avec le processus de production	132

4. Processus collectif et protocole	137
4.1. L'architecte expérimente malgré lui	137
4.2. La question du protocole	138
4.2.1. Le protocole d'expérimentation scientifique	138
4.3. L'échange entre les acteurs	141
4.4. Les modes de décision	143
4.4.1. L'initiative de l'architecte	143
4.4.2. Le rôle du maître d'ouvrage	143
4.4.3. Décider d'expérimenter	147
4.4.4. Un processus décisionnel complexe	150
4.5. Consultation et production des connaissances	153
4.5.1. L'approfondissement technique des concepts	153
4.5.2. Des savoirs spécialisés, avant l'appel d'offres	154
4.5.3. Le signifiant technique	156
4.6. Eclairages théoriques	168
4.6.1. Le sens de l'action	168
4.6.2. Des actions en relation : coopération entre les acteurs	171
5. Représenter l'expérimentation : le rôle du prototype	173
5.1. Vertus de l'objet matériel	173
5.1.1. Compréhension globale	173
5.1.2. Outil de conception	174
5.1.3. Conformité au concept architectural	176
5.1.4. Renseigner la mise en œuvre	177
5.2. Des représentations en progression	178
5.3. En l'absence de l'entreprise	181
5.3.1. Un budget partiellement absent	182
5.4. Le prototype fabriqué par l'entreprise	183
5.4.1. L'instrument du dialogue	184
5.5. Evaluations et garanties	186
5.5.1. Avant l'opération d'architecture	186
5.5.2. Pour l'opération expérimentale	186
5.6. Les suites de l'expérimentation	188
5.6.1. Appropriation de l'ouvrage réalisé	188
5.6.2. L'avenir culturel de l'expérimentation	188
5.6.3. L'avenir économique de l'expérimentation	190

6. Modélisation du processus de conception de l'expérimentation	
Le modèle à l'épreuve d'exemples remarquables	191
6.1. Modélisation du processus de conception de l'expérimentation	191
6.1.1. L'espace des problèmes	192
6.1.2. L'espace des concepts	194
6.1.3. L'espace des représentations	194
6.1.4. L'espace des connaissances	195
6.1.5. Validation du concept	195
6.2. Inventer pour répondre à des données socio-économiques	196
6.2.1. Un traité d'architecture	196
6.2.2. Description de l'invention de Philibert de l'Orme, à partir de sa représentation modélisée	197
6.3. Expérimenter avec les techniques de transformation modernes	201
6.3.1. Des systèmes de façade légère	201
6.3.2. Description de la démarche inventive de Jean Prouvé à partir de sa représentation modélisée	203
6.4. Expérimenter pour répondre aux exigences de l'objet architectural	206
6.4.1. La gestion informatique des données du projet au profit d'une expression architecturale entre posture artistique et pratique sociale	206
6.4.2. Description du processus de projet chez Franck O'Gehry à partir de sa représentation modélisée	209
6.5. Evaluation du modèle	212
6.5.1. Structure de fonctionnement du modèle	212
6.5.2. Des exemples démonstratifs	214
7. De l'expérimentation en architecture à l'expérimentation industrielle	219
7.1. Innover dans l'industrie	219
7.1.1. Invention / innovation	219
7.1.2. Du point de vue de l'économie	220
7.1.3. La conception au centre de l'innovation	220
7.2. Expérimentation architecturale et conception de produit nouveau	222
7.2.1. La commande unique : une innovation de type incrémental ?	223
7.3. Processus d'innovation	225

7.3.1. Le cas de l'enveloppe continue en Ductal : Combarel/Marrec et Lafarge	227
7.3.2. Le cas des peaux composites De Giacinto et Cp Concept	232
7.3.3. Le cas du bardage de façade en terre cuite RPBW / Terreal	237
7.4. Les typologies d'innovation	243
7.4.1. Innovations incrémentales exogènes	245
7.4.2. Innovation produit/process : capitalisation de connaissances	246
Conclusion	247
Bibliographie	253
Liste des figures	259
Liste des photographies	261
Annexes	A 1 – A 180

Présentation

Objectifs et méthodes

Dans le contexte de la production de l'architecture contemporaine, marqué par de profondes évolutions, nous avons cherché à comprendre comment se développent les processus d'innovation dans la conception des matériaux et celle de leur mise en œuvre au travers des relations entre architectes et fabricants de produits du bâtiment. Pour satisfaire à cet objectif, nous proposons d'élaborer dans un premier temps, un modèle du processus de conception architecturale, focalisé sur la résolution du projet constructif au sens large. Nous détaillerons donc ce modèle d'un point de vue spécifique, celui des expérimentations sur les matériaux et leurs mises en œuvre. Dans un deuxième temps, nous procéderons à la confrontation de ce modèle aux réalités des acteurs de la production du Bâtiment pour comprendre comment la conception architecturale participe à la création d'innovation auprès des acteurs de la production matérielle de l'architecture et selon quelles modalités.

Données du contexte de recherche

La conception d'une architecture aboutit à la fabrication d'un objet unique du fait de sa situation dépendante d'un site et d'un contexte, toujours particuliers. De ce fait, la construction de l'édifice implique souvent de recourir à une démarche d'expérimentation technique ou constructive pour la mise en œuvre de ses éléments, en raison même de l'unicité de l'objet à fabriquer et de son originalité. Cette expérimentation qui porte sur la matérialisation du projet architectural est générée et produite dans le processus de conception, par les acteurs de la maîtrise d'œuvre. Ensuite, elle est fabriquée concrètement par les acteurs de la matérialité : entreprises de chantier et fabricants de matériaux qui concourent à la conception, suivant leurs propres critères. La recherche d'une solution technique ou constructive originale capable de satisfaire à la conception procède d'une démarche expérimentale. Celle-ci produit de la valeur qui est mise à profit pour la réalisation de l'édifice. Toutefois, nous présumons que cette création de valeur possède un rayonnement qui dépasse l'édifice particulier pour lequel elle a été réalisée. Nous formulons l'hypothèse que cette valeur peut correspondre à de l'innovation, tout particulièrement pour les entreprises qui fabriquent les matériaux et les composants.

Le présent travail aborde un segment de la conception dans lequel se définissent les caractéristiques physiques de l'objet architectural. Cette phase de la démarche constitue le processus d'élaboration de la matérialisation de l'architecture. Nous avons volontairement restreint l'exploration de cet aspect spécifique de la conception à l'expérimentation sur les matériaux et leur mise en œuvre. Plusieurs raisons président à ce choix.

Géométrie structurelle versus utilisation du matériau

La conception de la construction est communément abordée selon deux axes d'études. « Certains privilégient la géométrie structurelle et d'autres l'utilisation optimale du matériau » (Picon, 1997). L'architecte est soumis au même dilemme cognitif que celui auquel est confronté l'ingénieur de génie civil évoqué par Antoine Picon. Par nécessité conceptuelle ou attirance personnelle, certains privilégient l'abstraction des principes géométriques et mécaniques des structures. D'autres trouvent réponse au problème constructif dans les principes issus de la mise en œuvre des matériaux plus proche des processus de fabrication et des métiers du chantier. Notre recherche s'attache à approfondir ce deuxième aspect de la conception. Elle est en effet orientée vers la dimension concrète de la démarche qui s'effectue en relation directe avec les acteurs de la construction ou de l'art de bâtir. Cette perspective d'études a aussi pour conséquence de mettre en retrait la question de l'œuvre, de sa fabrication, de sa signification, bien que fondamentale dans la conception architecturale. Notre démonstration est délibérément située dans l'univers matériel, considéré du point de vue des processus de production.

Transfert de valeur

L'univers matériel qui constitue aujourd'hui les composantes de l'art de bâtir est complexe et multiforme. L'évolution des pratiques productives, des technologies et du fonctionnement économique des entreprises nous encourage à examiner plus en détail celles qui ont en charge les opérations situées en amont du chantier. Nous verrons en effet que la production de la valeur dans une opération de construction d'un édifice a tendance à se déplacer vers les entreprises industrielles chargées de la fabrication des matériaux ou des composants au dépend des entreprises de construction dont une grande part de l'activité consiste à assembler ces éléments industriels. Nous supposons que ce déplacement de la valeur économique de la production correspond aussi à un déplacement de la conception architecturale, voire de l'expérimentation, du chantier vers les entreprises manufacturières.

La conception et l'innovation.

Par ailleurs, on constate en consultant la littérature sur l'innovation dans les entreprises [(Perrin, 2001) ; (Le Masson & al, 2006)] que bon nombre d'études placent la conception au cœur des processus innovants. Nul n'ignore que la conception est le moteur qui anime l'acte d'architecture. L'observation de ce dénominateur commun nous conduit à penser qu'il y a un intérêt probable à examiner les relations que la conception architecturale peut entretenir avec l'entreprise innovante dans le secteur de production dévolu à la fabrication des matériaux et produits destinés à l'édification de l'architecture.

Méthode

Pour détailler les caractéristiques et le fonctionnement du processus de conception architecturale, nous nous appuyons sur une sélection de travaux issus des sciences de la conception qui nous semblent le mieux répondre à notre questionnement. A l'instar des propositions des chercheurs consultés dans ce champ de connaissances, nous privilégions la présentation de nos conclusions sous forme de modèles « ces représentations simples qui font comprendre » (Bouleau, 2002). Et « parce qu'il n'y a pas de modélisation intéressante sans inscription dans un site social et décisionnel » (id.) , nous avons choisi de situer cette recherche dans le contexte de la production de matériaux ou composants innovants pour l'architecture. En conclusion de cette présentation préalable, nous proposons une représentation schématique des éléments de cette recherche et de leurs relations (fig 1).

Le but de ce travail de recherche consiste à élaborer un modèle de la conception architecturale dans la phase de matérialisation, du point de vue des sciences cognitives.

La méthode utilisée en regard de cet objectif a consisté à interviewer une sélection d'architectes en exercice, en insistant sur les questions ayant trait à l'expérimentation sur les matériaux ou les composants dans leur démarche de conception. Neuf architectes ont été enquêtés, selon la méthode de l'entretien semi-directif, à partir d'une grille de questions semblables pour tous les entretiens. Ces architectes ont été choisis pour leur diversité. Ils appartiennent à des agences d'architecture de taille différente et leur intérêt pour la conception dans ses aspects matériels est variable. Des entretiens avec trois représentants d'entreprise complètent cette enquête afin de détailler les trois cas retenus pour leur exemplarité et leur capacité démonstrative. L'intégralité des entretiens est reportée en annexe.

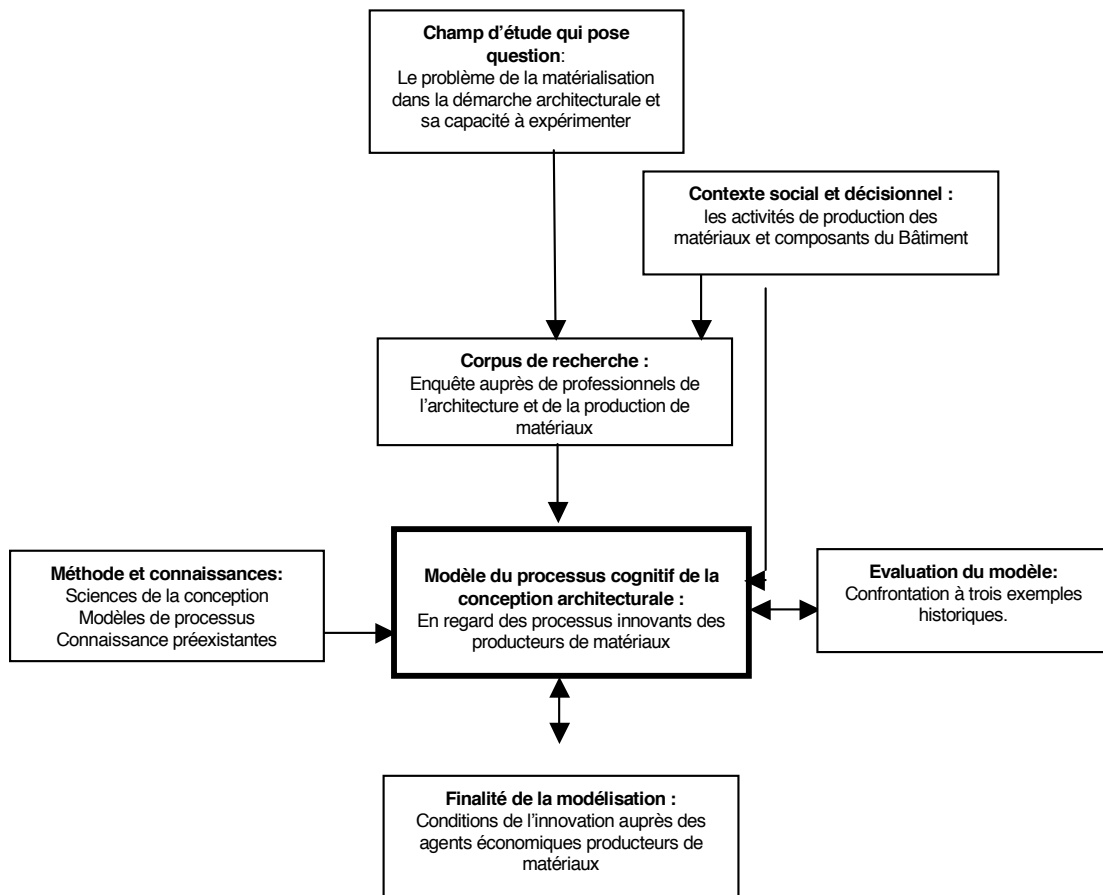


Figure 1. Représentation schématique des éléments de la recherche : questions/champs de connaissances/ corpus/ résultats attendus.

Le contexte étudié fait état de la production française contemporaine. Nous sommes conscients des limites qu'impose cette restriction mais le propos consiste à détailler les différents aspects du processus, liés aux conditions spécifiques de la production du Bâtiment: contexte réglementaire et contractuel, pratiques et coutumes. A cet égard, nous avons choisi délibérément le contexte de la France en ce début du XXIème siècle. Cette exploration détaillée n'a pas permis l'étude comparative des pratiques des différents pays, autre forme de recherche.

La problématique se formalise par des modélisations des étapes du processus conceptuel, destinées à montrer comment s'élabore l'expérimentation architecturale et les relations tissées avec l'innovation dans les entreprises.

Les connaissances auxquelles il est fait référence sont de deux ordres. Les unes puisent dans la littérature des sciences de la conception et de l'épistémologie. Les autres, en appui des entretiens auprès des professionnels proviennent de connaissances préexistantes acquises par une pratique de la maîtrise d'œuvre et de l'enseignement de l'architecture dans le domaine des matériaux.

Sommaire détaillé des chapitres.

Chapitre introductif : Etat de l'art, définitions et hypothèses.

Ce premier chapitre introductif est dévolu aux définitions des concepts utilisés pour conduire la recherche. Il est divisé en cinq parties.

La première partie définit les activités de production du bâtiment, spécifiant chacune des opérations de transformation des matières premières et des matériaux qui aboutissent à la construction de l'édifice.

Dans la deuxième partie, nous aurions souhaité présenter un état de l'art dans le domaine de la construction des édifices architecturaux mais il se présente sous forme d'études trop spécialisées pour être exploité utilement dans notre problématique. Le dernier ouvrage exhaustif sur la question après Rondelet (Rondelet, 1802) est probablement l' *Histoire de l'art de bâtir* réalisée par Jean Baptiste Ache (Ache, 1970). Nous avons remplacé ce travail sur la littérature par une présentation des activités de construction telles qu'elles se pratiquent aujourd'hui et des évolutions qui les traversent.

Ce regard nous conduit à nous poser la question de la pertinence du paradigme de la construction et de ses matériaux, au sens de Kuhn (Kuhn, 1983), tel qu'il est partagé par tous les intervenants de la production de la matérialité architecturale. Ce développement constitue la troisième partie de ce chapitre.

Dans la quatrième partie, nous établissons un état de l'art sur les différentes recherches réalisées dans le domaine de la conception en architecture et en ingénierie.

Nous proposons en cinquième partie, une hypothèse de modélisation du processus de conception de la matérialisation en architecture, réalisée à partir d'une synthèse des recherches effectuée à partir de l'état de l'art qui porte sur les sciences de la conception.

Chapitre N°2 : Le concept de matérialité dans le processus de conception architecturale

Considérant que l'expérimentation en architecture relève d'une conception particulière, ce chapitre, dans son introduction, pose les termes du processus de conception architecturale. Cette démarche, fondamentalement prescriptive est comparée à la « conception réglée » couramment utilisée dans la conception de produits (Pahl et Beitz, 1984). Les phases de la conception de la matérialisation y sont mises en évidence.

Le développement du chapitre est dévolu à l'exploration du concept de matérialité tel qu'il est exprimé par les architectes. Deux grandes tendances se dégagent des témoignages :

- La matérialité est abordée comme un concept fondateur qui figure parmi les principes initiaux et exploratoires du projet.

- Le concept de matérialité résulte de raisonnements destinés à résoudre des problèmes d'un autre ordre, fonctionnels ou spatiaux notamment.

Dans tous les cas, ce concept est enrichi d'attributs signifiants qui le définissent avec des caractéristiques non physiques.

Ce chapitre explore les champs de connaissances, les modes de raisonnements et les types de représentations mentales qui participent à élaborer ce concept, comme la formalisation embryonnaire de la matérialisation de l'édifice.

Chapitre N°3 : Le besoin d'expérimenter

Ce chapitre détaille la conception de la concrétisation des solutions architecturales qui correspond à la phase « d'embodiment » de la conception réglée, ou de concrétisation. C'est à cette étape que sont définis les attributs morpho-physiques des ouvrages. Pour effectuer cette conception, l'architecte se réfère aux représentations mentales des matériaux et de leur mise en œuvre que ses connaissances lui fournissent.

En introduction, ce chapitre présente la pluralité de ces représentations, élaborées selon le cycle de vie de matériau, de son élaboration à son utilisation dans l'édifice. On s'aperçoit en effet que l'architecte fait référence aux connaissances qui caractérisent ces différentes formes du matériau, comme autant de transformations capables de renseigner la conception.

L'étude de la conception de la matérialisation décrit les différentes stratégies des architectes, selon qu'ils se réfèrent aux modes opératoires du chantier ou aux transformations des matériaux réalisés en amont du chantier.

L'expérimentation apparaît comme une configuration particulière de la conception de la matérialisation. Elle s'exprime lorsque l'offre de production ne peut pas satisfaire les prescriptions de la conception.

Chapitre N° 4 : processus collectif et protocole

Ce chapitre détaille les activités spécifiques de la réalisation de l'expérimentation, organisées autour d'un protocole. Le modèle de référence est emprunté à la recherche-action qui définit « un protocole de travail », plus représentatif du processus collectif généré par la mise en place de l'expérimentation, que le protocole expérimental traditionnel. Le protocole de travail se définit par les échanges entre les acteurs, les formes de décision qui régissent l'organisation et l'accès aux connaissances. Ces différents points sont détaillés à partir des témoignages des architectes et contribuent à définir le contenu du processus de conception de l'expérimentation. Le déroulement du protocole est mis en situation à l'intérieur du processus global de la conception architecturale auquel il appartient. On découvre que la procédure d'appel d'offres des entreprises oblige à convoquer des

connaissances spécialisées, situées entre les savoirs de l'architecture et ceux de la technologie sur laquelle porte l'expérimentation.

En conclusion, ce protocole ou processus collectif est modélisé selon le métamodèle élaboré par le CRAI (Halin, 2004) qui fait état des relations que les activités génèrent entre les acteurs, les outils qu'ils utilisent et les artefacts qu'ils produisent. Cette modélisation révèle la complexification des activités due à la procédure d'appel d'offres, inhérente à l'opération d'architecture.

Chapitre N°5 : représenter l'expérimentation : le rôle du prototype.

La démarche de conception architecturale précise et formalise ses concepts en faisant appel aux différentes formes de représentation à disposition. Le prototype joue un rôle clé dans la démarche expérimentale.

Objet polysémique, il assure des fonctions de conception, de communication et bien sûr de validation des propriétés de l'artefact.

On examine comment ce moyen de représentation intervient activement dans le processus, dépassant le simple statut d'objet premier qu'on lui connaît dans l'industrie.

Chapitre N°6 : Modélisation du processus de conception de l'expérimentation. Le modèle à l'épreuve d'exemples remarquables.

La conception de l'expérimentation sur les matériaux et leur mise en œuvre est modélisée de façon à rendre compte des entités cognitives présentes dans le processus. C'est une déclinaison du modèle de la matérialisation (étudié au chapitre 3) où apparaissent quatre espaces :

- les problèmes
- les concepts
- les connaissances
- les représentations.

Cette modélisation reprend les travaux de Hatchuel et Weil (Hatchuel et Weil, 2002) sur la théorie C-K en enrichissant le modèle de deux espaces correspondants à la complexité de la conception architecturale.

Le modèle est mis à l'épreuve sur trois cas d'expérimentation architecturale remarquables. Ils ont été choisis à trois époques différentes (ère agraire artisanale ; ère industrielle, ère de l'information) et pour la représentativité de leur démonstration.

Le premier concerne l'invention de Philibert de l'Orme sur la charpente à bois courts initiée par un problème économique du Bâtiment dû à la raréfaction des ressources.

On détaille ensuite l'invention du mur rideau par Jean Prouvé permet de détailler une conception réalisée à partir des expérimentations directes sur la matière, où la notion des techniques de mises en œuvre est centrale.

Enfin on examine les méthodes de gestion informatisée employées par l'architecte Frank O Gehry pour conduire la conception des projets montre comment l'innovation procédurale se place au service de l'innovation formelle.

Chapitre N°7 : De l'expérimentation en architecture à l'innovation industrielle

Ce chapitre démontre la façon dont l'expérimentation conduite à l'occasion d'un projet d'architecture peut s'inscrire dans une stratégie d'innovation industrielle d'entreprise.

En introduction au chapitre, on observe différentes définitions de l'innovation dans les entreprises contemporaines. Il apparaît que la conception est centrale dans les processus innovants. L'objectif est de comprendre comment la conception architecturale peut croiser efficacement la volonté d'innovation dans l'entreprise.

Le processus de conception de l'innovation est représenté à partir du modèle de l'expérimentation en architecture, enrichi des paramètres spécifiques au fonctionnement de l'entreprise.

Trois cas sont examinés en détail pour mettre ce modèle à l'épreuve. Ces cas ont été choisis chez les architectes enquêtés dans le cadre de l'étude. Les représentants des entreprises concernées complètent les témoignages.

Le cas Lafarge / Combarel-Marrec montre comment une innovation technologique en mal d'application devient innovation commerciale avec l'appui de la conception architecturale (dans le domaine des bétons).

Le cas Cp.concept/ de Giacinto montre comment les expérimentations effectuées dans le domaine des composites par un architecte et une PME, peut se transformer en création d'entreprise grâce à l'action innovante de deux associés.

Le cas Terreal / Piano montre comment la conception détaillée d'un composant de façade en terre cuite réalisée dans le cadre d'opérations d'architecture peut aboutir à la création d'un nouveau produit et d'une nouvelle chaîne de production grâce à la perspicacité d'un entrepreneur clairvoyant.

Ces études de cas sont représentées selon le modèle élaboré pour décrire la conception expérimentale présente dans le projet d'architecture, qui devient conception innovante dans l'entreprise industrielle.

1. Chapitre introductif : état de l'art, définitions et hypothèses

1.1. Contexte de la recherche : les activités de production de l'édifice.

« Dans la construction, il faut tenir compte des techniques qui interviennent : fabrication des matériaux, outillage, moyens de transport, machines utilisées, organisation des chantiers, etc.. » introduit J.B. Ache dans son *Histoire de l'art de bâtir* (Ache, 1970). On pourrait ajouter que l'art de bâtir engage deux types de réalité :

- une réalité mentale qui **donne forme**, avec des connaissances et des savoir-faire.
- une réalité physique qui **prend forme**, avec des matières premières, des outils et de l'énergie, souvent le plus souvent dénommée « la construction ».

Depuis que l'homme bâtit sa demeure, l'une préside à l'autre. « Construire, c'est édifier selon un plan », nous dit le petit Larousse. L'acte mental précède le geste et conduit l'instrument.

Notre propos s'attache à examiner les processus de conception qui conduisent à la transformation des matériaux pour aboutir à la création de l'œuvre d'architecture, afin de détecter les conditions de leur expérimentation. Dans un deuxième temps, nous examinerons la façon dont cette expérimentation s'intègre dans un processus d'innovation industrielle. Pour y parvenir, il s'agit de mettre en relation deux réalités disjointes, la matière et l'architecture, l'une physique et l'autre mentale, qui deviennent une seule et même réalité lorsque l'édifice est bâti, lorsque l'architecture s'est matérialisée. (Le mot « architecture » ayant deux acceptions, la démarche de conception d'une part et l'œuvre bâtie d'autre part, il sera souvent fait usage du mot « édifice » pour désigner l'architecture matérialisée).

L'objet matériel ou l'artefact pour reprendre l'expression de H. Simon (Simon, 1969), conçu dans le cadre de la conception architecturale est l'édifice. Toutefois, nous avons choisi de limiter cette recherche à la conception des éléments de l'édifice que sont les ouvrages, les composants, ou les matériaux afin de détailler le processus conceptuel du point de vue des acteurs qui participent à la production du bâti, en amont du chantier.

1.1.1. la production du bâti

L'acte bâtisseur, celui qui met en œuvre des matériaux pour construire un édifice fait intervenir des éléments du réel de diverses natures. Comme toute fabrication humaine, l'abri humain prend corps grâce à l'association de matières premières, transformées avec des outils et de l'énergie, selon des modes opératoires inventés, puis reproduits. Les travaux de Leroi Gourhan expliquent avec évidence ces modes d'acquisition (Leroi Gourhan, 1971).

La construction de l'édifice à partir des seules matières premières issues de la nature ne se rencontre plus que dans les situations dans lesquelles l'homme est isolé, comme l'esquimaux qui construit un igloo, ou l'indigène d'Amazonie qui construit une hutte à partir de végétaux. La construction de l'édifice est plus communément précédée d'une transformation des matières premières en matériaux de construction, réalisation d'un artefact intermédiaire garantissant un édifice plus élaboré.

La construction de l'édifice s'enrichit dès lors de tâches préliminaires destinées à fabriquer les matériaux, objet avant l'objet. Lorsque le paysan camerounais construit une case en briques d'adobe, il procède auparavant au moulage des briques, effectuant la fabrication du moule et le malaxage de la terre. Les instruments y sont sommaires. L'énergie est la force humaine, aidée du soleil pour le séchage des briques. L'eau, matière de médiation, fournit la juste viscosité de la terre, variable selon qu'elle sera moulée en brique ou projetée sur le mur achevé, en enduit protecteur. L'ouvrage s'achève avec la fabrication du toit à partir de branchages et de bottes de paille liées. La couverture se présente comme un composant de l'édifice préfabriqué à terre pour des commodités opératoires. Ce mode constructif assez direct est démonstratif de l'enchaînement des tâches qui constituent la construction de l'édifice. Les transformations physiques majeures qui assurent le passage de la matière à l'architecture bâtie s'organisent dans un processus qui fait se succéder des actions de transformation :

- la fabrication des matériaux de construction
- la fabrication de composants
- la construction de l'édifice = assemblage et mise en espace des matériaux et/ou des composants.

Ces trois étapes sont différemment présentes dans la somme des représentations mentales de l'architecte qui conçoit l'édifice car l'art de bâtir est plus spécifiquement centré sur la construction de l'édifice, c'est-à-dire la troisième d'entre elles. Toutefois, nous verrons dans les développements qui suivent que les modifications du système de production transforment aussi les modèles de représentation et déplacent une partie de la conception de l'édifice vers la fabrication des composants, voire vers la fabrication des matériaux.

Examinons au préalable les différentes transformations subies par la matière dans chacune de ces étapes, ce qui nous permettra d'asseoir quelques définitions.

1.1.2. Fabrication des matériaux de construction

Les matériaux proviennent d'une transformation des matières premières fournies par la planète ou issues du recyclage, qui déterminent les ressources disponibles. Mais la fabrication du matériau procède d'une succession de transformations dans lesquelles la matière devient matériau, qui devient matière constitutive d'un nouveau matériau.

Prenons le cas du béton, matériau à l'élaboration relativement simple. Il est fabriqué à partir de quatre catégories de constituants :

- le ciment
- les agrégats
- l'eau
- et plus récemment les adjuvants polymères.

Le ciment est obtenu par la cuisson de roches calcaires et argileuses, concassées et homogénéisées. Les caractéristiques de ces roches peuvent changer la nature du ciment, sa couleur ou sa résistance par exemple. Les propriétés du ciment peuvent aussi être modifiées avec l'ajout d'autres substances, comme la pouzzolane, le laitier (résidu des hauts-fourneaux), les fumées de silice. Ainsi, les caractéristiques du ciment déterminées par son mode de fabrication, font varier les propriétés du béton.

Les agrégats, sable et gravillons proviennent de l'extraction et du concassage de roches diverses. Les transformations préalables sont ici assez faibles. Le paramètre pris en compte pour caractériser le béton dépend essentiellement du calibrage des agrégats pour déterminer certaines caractéristiques mécaniques du béton. Dans les cas où le parement est rendu apparent, la nature de la roche devient un paramètre déterminant. Un des problèmes contemporains de ce constituant est son approvisionnement. De plus en plus de pays n'ont plus de sable de rivière disponible par exemple.

L'eau pose le même problème de disponibilité. L'approvisionnement en eau propre n'est pas toujours possible.

Le dernier constituant est récemment apparu dans l'histoire des bétons. Il appartient à la famille des **adjuvants**, résines polymères issues de la pétrochimie. Les adjuvants proviennent d'une longue suite d'opérations, depuis la raffinerie de pétrole brut jusqu'à l'élaboration des chaînes moléculaires complexes. Avec ces constituants contemporains, les propriétés des bétons se sont considérablement développées, aussi bien pour améliorer les conditions de mise en œuvre, que les caractéristiques physiques ou encore l'aspect fini des ouvrages.

Depuis qu'il a été inventé, le béton s'est principalement fabriqué à partir du dosage de ses constituants. Aujourd'hui, il se fabrique à partir du **choix de ses constituants**, suivi de leur dosage, effectués en fonction des spécifications attendues pour le résultat final.

Définition.

Nous conviendrons que **les matériaux de construction** sont livrés sur le chantier sans forme, comme pour les matériaux à base de liants hydrauliques (béton, mortiers..) ou dont les formes déterminent peu (ou pas) la forme définitive de l'ouvrage, comme la brique, la poutrelle d'acier ou le bastaing.

En effet, lorsque le matériau sort de l'usine de production, le plus souvent, il n'est pas assigné à un ouvrage particulier. Il entre indifféremment dans la composition d'ouvrages de forme ou de fonction différente. La brique peut être sol, elle est pavement ; elle peut être paroi, elle est mur ; elle peut être couverture, elle est voûte. Et lorsqu'elle est mur, elle peut se prêter à des formes rectilignes, courbes, ou ajourées.

L'exemple de la fabrication du béton, matériau générique de la construction contemporaine, montre que sa matérialité ne peut plus être abordée comme un tout aux propriétés constantes mais plutôt comme **un processus de transformation** destiné à élaborer un matériau en fonction de propriétés énoncées en amont de sa fabrication.

Ce processus révèle diverses réalités, selon le point de vue avec lequel il est considéré.

Ainsi, du point de vue du fabricant, le matériau correspond à une somme de matières constitutives transformées par une somme de modes opératoires.

Du point de vue du concepteur, le matériau correspond à des caractéristiques destinées à satisfaire les critères de son projet. Dans le cas du béton, on peut imaginer que ces caractéristiques satisfont aux critères suivants :

- création de la forme (mur, voile, poteau, plancher...) : recherche de résistance mécanique,
- création d'un parement : recherche d'aspects (textures, couleur...).

Considérer le matériau, non plus comme un objet aux caractéristiques déterminées, mais comme un processus de transformation de la matière modifie les représentations mentales du concepteur, avec d'autant plus d'efficacité qu'il a intégré les savoirs de la production.

Nous retiendrons de l'exemple du béton, matériau prêt à être livré sur le chantier, trois constats qui portent à conséquence pour la conception architecturale :

- Du point de vue de la technicité de l'art de bâtir, le concepteur a un véritable intérêt à connaître les modes de fabrication des matériaux pour en modifier, le cas échéant, les propriétés dans le cadre de son projet, malgré (ou du fait de) la complexité de la production et la spécialisation croissante des modes opératoires.
- Du point de vue de l'organisation de l'équipe du projet d'architecture : la fabrication des matériaux, préalable au chantier s'inscrit dans un processus qui fait intervenir de nombreux modes opératoires et de nombreux constituants, processus pris en charge par

des industries spécialisées. Bien qu'extérieurs au chantier, ces acteurs peuvent figurer parmi les partenaires potentiels de l'opération de fabrication de l'édifice.

- Du point de vue écologique et des valeurs que l'architecte peut privilégier par ses choix : la question des ressources est au cœur de l'élaboration des matériaux, point crucial d'une réflexion sur le développement durable. Une partie importante des décisions sur l'utilisation raisonnée des ressources de la planète se trouve dans le mode d'obtention des matériaux. La construction des bâtiments étant l'activité humaine qui consomme la plus grande masse de matière, on mesure bien, là, un endroit stratégique de prise de décision.

De manière générale, la fabrication du matériau de construction fait intervenir des techniques avancées, comme pour la fabrication des vitrages ou des aciers par exemple dont les processus de production requièrent des investissements lourds. Grâce aux apports de la récente science des matériaux, le « règne matériel » s'agrandit, décuplant les fonctionnalités des objets physiques. De nouvelles propriétés de la matière sont quotidiennement découvertes et élaborées dans les laboratoires des scientifiques et des ingénieurs. Un de nos questionnements est de comprendre comment ces connaissances peuvent enrichir la conception architecturale et comment le concept architectural participe à enrichir les connaissances sur les matériaux.

1.1.3. Mise en forme des composants.

Poursuivons l'exemple du béton. Lorsqu'il est livré sur le chantier dans la toupie du fabricant de béton prêt à l'emploi, il s'agit bien d'un matériau de construction. Mais le béton peut aussi être livré sous forme de composant, issu de l'industrie de préfabrication, comme la poutrelle précontrainte ou le composant de façade préfabriqué. L'élément qui s'apprête à être mis en œuvre sur le chantier, possède alors une forme donnée au préalable. La somme de ses fonctions est supérieure à celle du béton prêt à l'emploi.

Le composant résulte de l'assemblage de matériaux ou du façonnage d'un matériau (mis à façon), doté de caractéristiques formelles, dimensionnelles et physiques qui s'approchent de la forme définitive de l'ouvrage. La fabrication du composant correspond à un déplacement des tâches de chantier vers l'atelier de préfabrication ou vers l'usine. Cette position du composant, entre la fabrication du matériau et la mise en œuvre sur le chantier lui confère une appartenance mouvante. Selon les cas, sa fabrication dépend du fabricant de matériaux, du transformateur ou de l'entreprise de chantier.

Par exemple

- un panneau de façade en terre cuite est fabriqué par un industriel, à partir de la matière première.

- un double vitrage est mis en œuvre chez un transformateur. Ce composant est réalisé avec une association de verres plats fabriqués par l'industriel verrier, selon certaines prescriptions destinées à lui donner des performances d'isolation.
- un portique en lamellé collé est fabriqué (dans certains cas) par l'entreprise qui le posera sur le chantier, tout comme un ouvrage en matériaux composites.

Définition .

Le composant est un élément composé de plusieurs produits (un bloc de menuiserie). Il peut concentrer des opérations de transformation afin de doter les matériaux qui le composent, de caractéristiques formelles, dimensionnelles et physiques qui influent sur les propriétés de l'ouvrage auquel il appartient (un élément préfabriqué en béton). Lorsque sa mise en œuvre sur le chantier est ouverte à des variations, le composant sera aussi nommé **procédé ou système constructif**, comme un procédé de façade ou un système constructif structurel.

La situation du composant, plus proche de la réalisation définitive, le rend plus familier des préoccupations conceptuelles de l'architecte. On pourra constater que la plupart des interventions architecturales sont réalisées aujourd'hui pour la mise au point de composant, l'architecte agissant plutôt sur la forme du matériau, et son assemblage à d'autres matériaux, que sur la nature de la matière, savoir plus traditionnellement réservée aux métiers de production.

Définitions complémentaires.

Les produits résultent d'un processus de fabrication réalisé à partir de matériaux ou d'autres produits, à toutes échelles. Ils proviennent d'une production manufacturée qui les assimile à des objets de consommation courante. Ce sont essentiellement des produits d'équipement destinés à satisfaire aux standards du confort moderne comme : les équipements de chauffage ou de refroidissement (chaudière, radiateur..) ; les équipements d'éclairage ; les équipements sanitaires et de renouvellement d'air Ce sont aussi des organes de jonction entre les éléments comme les paumelles de la porte ou de commandes, manuelles ou électriques. **Leur forme est définitive** ; elle est fabriquée chez un industriel et distribuée par le négoce, un acteur qui met à disposition mais ne transforme pas.

Nous conviendrons enfin de nommer « **matière** », le constituant de l'architecture dont les caractéristiques de la **substance** prévalent à celles de la forme, comme pour le cas d'un revêtement par exemple, ou d'un isolant.

1.1.4. construction sur le chantier

Lors de la construction de l'édifice, les matériaux subissent une nouvelle et dernière transformation qui les place dans l'espace de l'œuvre en devenir. L'objet technique qu'est l'édifice est composé d'organes, plus communément appelés ouvrages, dont la fabrication et le comportement en œuvre sollicitent les matériaux en fonction de leurs caractéristiques. On distingue ainsi deux propriétés majeures qui différencient l'acte bâtisseur des autres actes techniques :

- il est destiné à placer les matériaux dans l'espace. Cette mise en espace s'inaugure avec la fabrication d'une structure, c'est-à-dire « un assemblage de matériaux destinés à supporter une charge » (Gordon, 1994)
- Il fait intervenir un nombre très important de matériaux divers et les assemble.

Ces deux caractéristiques, symptomatiques de la complexité de l'art de bâtir, n'ont cessé d'accroître leurs performances et représentent l'essentiel des données techniques avec lesquelles le concepteur compose le projet d'architecture.

La « mise dans l'espace » a tout son sens lorsqu'il s'agit de réaliser un plancher de 100 mètres de long, à 100 mètres du sol comme à la Grande Arche, ou de fixer les panneaux de façade d'une tour. Mais l'empilement de briques qui réalise le parement de la cathédrale d'Evry s'inscrit dans un processus identique, qui consiste à mettre le matériau dans l'œuvre, cette mise en œuvre ayant l'espace architectural pour finalité.

Les transformations que subissent les matériaux au cours du chantier sont simples par rapport aux transformations des usines de fabrication, tributaires d'outillages et d'équipements spécialisés et immobiles. Mais un des défis spécifique au chantier de construction consiste à s'adapter aux particularités du site d'implantation et à lutter contre la pesanteur.⁽¹⁾ Cette adaptation oblige parfois à la réalisation d'échafaudage ou d'étais, ouvrage avant l'ouvrage, destiné à rendre possible la mise en place des éléments structurels, garants de la solidité de l'ouvrage, avant leur stabilisation définitive.

Les opérations destinées à donner forme aux matériaux dépendent de leur nature. Les matériaux agrégatifs comme la terre crue, ou hydrauliques comme les bétons se présentent sous forme liquide (ou visqueuse) avant leur mise en œuvre. Ceux-là sont tributaires de coffrages qui ont une double vocation : la création de la forme et celle du parement, deux résultats avec lesquels l'architecture compose.

¹ Citons Antoine Picon (1997) pour la beauté de l'évocation de cette lutte contre la pesanteur associée à l'observation des structures bâties. « Il y a quelque chose de primitif, il ne faut pas se le dissimuler, dans ce registre de la lutte contre la pesanteur. Des voûtes en berceau romaines aux structures tendues d'aujourd'hui, l'art de l'ingénieur-constructeur fait parfois songer à ce « langage d'action », à base de cris et de mouvements violents du corps, qu'un philosophe comme Condillac prêtait aux peuples dans l'enfance. Sous ses formes les plus frappantes, l'art des structures possède une immédiateté comparable à celle des mouvements corporels, comme une sorte de danse immobile de la matière et du vide.

La plupart des matériaux sont mis en œuvre sur le chantier sans modification majeure de leur forme, ni de leur parement, effectués dans l'usine de production. Les ajustements dimensionnels et les assemblages des matériaux entre eux sont les opérations les plus importantes : sciage pour les ajustements dimensionnels, boulonnage, clouage, soudure ou collage pour les assemblages.

L'énumération complète des opérations effectuées sur le chantier n'est pas nécessaire pour comprendre que la réalisation des ouvrages place une grande partie de sa technicité dans l'organisation de l'enchaînement des tâches et des métiers qui y participent, et dans la juste évaluation des possibilités effectives de mise en œuvre par les ouvriers.

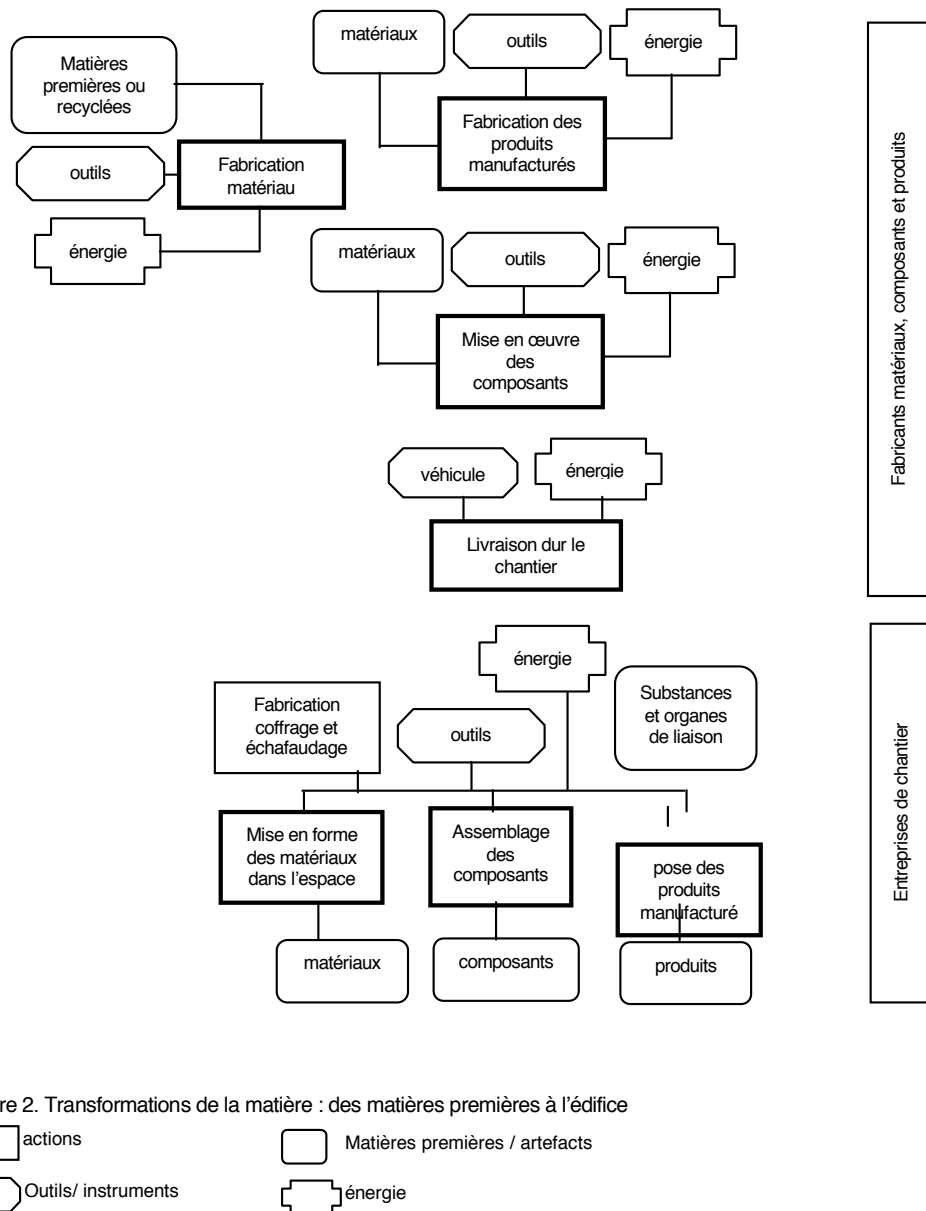
C'est par le dessin détaillé des ouvrages et la description de leurs caractéristiques que l'architecte définit les actions de ceux qui sont chargés de la réalisation.

Définition.

Les ouvrages réalisés sur le chantier, considérés comme des organes de l'édifice, sont communément classés en séquences constructives qui correspondent au déroulement des phases de chantier : structure, enveloppe, partitions, équipements et revêtements. Cette classification a remplacé les dénominations de « gros-œuvre » et « second-œuvre », moins aptes à rendre compte de la complexité des ouvrages.

Les activités de chantier sont aussi décrites en fonction de l'organisation des acteurs. Le découpage s'effectue alors par « lots » qui regroupent la réalisation d'ouvrages procédant communément des métiers (lot maçonnerie ; lot peinture..).

1.1.5. Synthèse des activités de production d'un édifice



En conclusion, la construction fait référence à une somme d'activités qui appartiennent à des entités productives différentes bien que toutes visent à transformer les matières et les matériaux en un édifice. Le tableau de la figure 2 montre les différentes étapes de production. Par tradition, l'essentiel de la conception de l'architecte porte sur les activités du chantier, car ce sont avec les entreprises de chantier que se contracte une opération de construction. Ce sont aussi ces entreprises qui fabriquent la forme définitive des ouvrages et de l'édifice, qui de ce fait, créent les caractéristiques physiques des ouvrages préalablement définis par la conception architecturale.

Toutefois, les modes de production et de conception se transforment, ce qui a pour effet de déplacer certaines tâches de chantier vers l'usine. La prise en compte de ce déplacement, signifie que l'architecte doit aussi concevoir en fonction des activités de production des composants, et pourquoi pas des matériaux. Cette étape particulière qui assure le passage entre le trait de crayon de l'architecte et la gouge du tailleur de pierre, est aujourd'hui émietlée, parcellisée. La continuité qui peut exister entre la main de celui qui fabrique et l'idée de celui qui conçoit est rompue dans la majorité des cas. Cette rupture résulte de transformations qui ont plusieurs origines, notamment économiques, écologiques, technologiques et architecturales.

1.2. Evolution dans les modes de production et de conception

1.2.1. Déplacement de la création de valeur.

Dans les pays occidentaux, on observe une transformation profonde des métiers traditionnels du bâtiment. La mécanisation des tâches a eu pour effet de délocaliser un bon nombre d'opérations, du chantier vers les ateliers de préfabrication ou les usines. Cette délocalisation matérielle a par voie de conséquence, déplacé la création de valeur du chantier vers l'atelier. Ainsi la valeur se réalise de plus en plus par des acteurs qui interviennent en amont du chantier et les compagnons du chantier deviennent des poseurs de produits élaborés par d'autres acteurs. De ce fait, la création de valeur apportée par la conception architecturale traditionnellement transmise aux opérateurs du chantier, doit s'opérer auprès des entreprises qui produisent en amont. En effet, cette production située en amont peut, pour certains ouvrages, fortement déterminer l'écriture architecturale. Prenons l'exemple de la fabrication des fenêtres. Cette production est désormais assurée par des spécialistes qui élaborent des produits dotés de toutes les garanties requises par la réglementation. Les profils qui constituent les fenêtres se sont spécialisés pour répondre aux problèmes d'isolation thermique (rupture du pont thermique), aux problèmes de maintenance (finitions sans entretien), aux problèmes de manipulation (variété des ouvertures)... . L'addition de paramètres de plus en plus complexes oblige à utiliser un outillage spécialisé et à mettre en œuvre des procédures de contrôle de la qualité qui sont typiquement le fait de la production manufacturière. Or, dans le cas de la menuiserie, une part importante de la valeur satisfait à des critères architecturaux, comme ceux qui déterminent la dimension des éléments (création de la forme ; rapport entre parties pleines et parties vitrées), et le mode d'assemblage des pièces entre elles (profils invisibles en façade, modes d'ouverture particuliers)... .

On comprend, par cet exemple dont le processus se rencontre dans beaucoup d'autres types de production, que la conception architecturale doit pouvoir être en mesure de déterminer un certain nombre de paramètres de la fabrication en amont du chantier.

Souplesse de la production.

Il est intéressant de constater, en regard de cette situation, que l'introduction des modes de fabrication assistée par ordinateur autorise désormais la gestion de paramètres de plus en plus nombreux et modifiables et pourquoi pas des paramètres requis par la conception architecturale. En effet, la mécanisation des opérations est commandée par des unités de pilotage centrales qui peuvent gérer des fabrications en séries limitées sans surcoût important. La notion de standard, valeur de base de la production industrielle, bien souvent antinomique de la conception architecturale, a tendance à être remplacée par un mode de production dans lequel les paramètres de conception de l'architecte peuvent être pris en compte. Ce mode de production est nommé « non-standard » et encourage la production de nouvelles formes architecturales.

1.2.2. Du point de vue architectural ; formes et outils de représentations.

Parmi les tendances architecturales contemporaines, certaines privilégient un mode de composition avec la matière même où la peau s'affirme comme élément majeur. Le travail sur la forme à bâtir ne procède plus d'une expressivité de la structure héritée de l'enseignement du Mouvement Moderne. Le déconstructivisme⁽²⁾ a cassé l'angle droit. Les capacités de représentation des formes architecturales avec les outils de modélisation informatique ont libéré le registre formel jusqu'à la mise en exergue des architectures dites « non-standard ». Cette tendance prend un nouvel essor aujourd'hui, grâce aux capacités de calcul des outils informatiques, capables de modéliser la géométrie de ces formes pour les rendre constructibles.

Cette attention portée à la peau et à l'enveloppe, comme si « la chair » de l'édifice prenait une nouvelle dimension, délaissant son squelette, focalise la conception sur les aspects de matières, de textures, en appelant plus directement à la sensualité. La prise en compte des perceptions s'élargit désormais à tous les sens. Les qualités acoustiques ou tactiles d'un matériau sont considérées avec autant d'attention que ses qualités visuelles, par exemple. L'étude des ambiances fait partie des nouvelles façons de concevoir le bâti. Les architectes portent un regard particulier sur les caractéristiques physiques des matériaux dont ils souhaitent maîtriser tous les paramètres. Cette attention nouvelle des concepteurs à la

² Le déconstructivisme est lié au mouvement philosophique de déconstruction, fortement influencé par la linguistique, dont Jacques Derrida est le principal instigateur. Ce mouvement architectural se fonde notamment sur la fragmentation, dénie la géométrie euclidienne, trouble les limites entre la structure et l'enveloppe. Il est apparu à la fin des années 80.

nature de la matière, couplée aux capacités physiques des matériaux en constant développement, ne font-elles pas basculer les éléments de composition ?

Les matériaux traditionnellement convoqués en fonction de leurs capacités à être actifs dans la création de l'espace architectural et de ses ambiances, ne peuvent-ils pas se prêter à une composition de la matière même, autre façon de s'intégrer dans la conception architecturale? On sous-entend par cette interrogation une autre manière de déplacer la création de valeur, encore plus amont dans le processus de fabrication de l'édifice puisqu'elle prendrait place dans l'élaboration de la substance du matériau.

1.2.3. Du point de vue des sciences et des techniques : le matériau suit la fonction.

Ces interrogations sur le matériau de construction, sont à rapprocher des profondes évolutions à l'œuvre dans l'univers plus large de l'ensemble des matériaux. Comme l'introduit Bernadette Bensaude-Vincent (Bensaude-Vincent, 1998), « c'est bien le pluriel imposé au matériau qui semble devoir caractériser notre époque. Dix mille matériaux environ sont normalisés par le Laboratoire National d'Essais, et beaucoup plus encore sont en attente de certification, dont chacun répond à une finalité précise qui s'intègre dans un ensemble (...) c'est la maîtrise de l'ensemble des matériaux qui semble désormais stratégique ». Historiquement, on situe dans les années 70, l'avancée technologique qui fait apparaître des matériaux aux caractéristiques à la fois multiples et spécialisées. Léger, mais aussi résistant à toute sorte de sollicitation (mécanique, thermique..), conducteur (supra ou semi), le matériau devient fonction. Tous les secteurs d'activités se transforment dans leur matérialité. Par exemple, les engins de transport accroissent l'ensemble de leurs performances, comme leur vitesse couplée à leur capacité ; la chirurgie progresse grâce à des matières synthétiques résorbables par le corps ou greffables sur des tissus vivants; les ordinateurs doublent leur capacité de mémoire chaque année, tout en se miniaturisant, etc.... Parallèlement à la complexité croissante de l'objet technique décrite par Simondon (Simondon, 2005), c'est aussi dans la nature même de la matière que se loge la performance attendue.

Bien que les techniques de construction ne progressent pas directement avec la science des matériaux mais procède plutôt de leur agencement dans l'espace, avançons l'hypothèse que ces bouleversements transforment aussi la relation du bâtisseur au matériau. Dans les technologies, comme celle du béton, où la formulation de la matière est une étape de sa mise en œuvre sur le chantier, il est acquis qu'à chaque réalisation particulière, correspond un béton particulier. Les combinaisons entre les constituants sont capables de répondre tout

aussi bien aux contraintes de chantier, comme une température extérieure excessive par exemple, qu'aux exigences structurelles du bâtiment, comme la résistance aux efforts d'un pylône de pont, ou qu'aux contraintes spécifiquement architecturales, comme celles qui consistent à couler un plancher à 100 mètres de hauteur, comme à l'Arche de la Défense. L'exemple du béton est transposable à de nombreuses matières manufacturées dont les propriétés peuvent répondre à des performances prédéfinies, obtenues notamment par association de matières, associations effectuées jusqu'au niveau moléculaire. Le matériau oscille entre deux statuts. D'objet de réalisation de l'ouvrage, il devient sujet d'étude, pouvant devenir parfois centralité de la conception.

1.2.4. La matière, élément de conception.

Le monde de la construction est encore régi par les principes hérités de l'ère industrielle, voire artisanale, bien que le réel nous livre des faits qui l'en éloignent.

La trop grande quantité de matériaux, produits ou composants, offerte par le marché n'est plus répertoriale dans les catalogues et l'environnement économique est de plus en plus concurrentiel, obligeant à modifier les modes de production. Du point de vue de la conception, Ezio Manzini (Manzini, 1989) voit dans cette multiplication, l'annonce d'une modification fondamentale de la relation au matériau :

« La multiplication des matériaux et la compétition qui se déchaîne entre eux sont la cause de modifications plus profondes que leur nature même. La multiplication signifie en effet une spécialisation dans des domaines d'application déterminés ; cette spécialisation signifie à son tour la production d'un ensemble de performances. L'aboutissement de cette quête de performances complexes, toujours mieux adaptés à un champ d'application, est « le matériau sur mesure », spécialement mis au point pour un usage spécialisé. Arrivé à ce point, la notion « d'hyper-choix » devient impropre : il ne s'agit plus de choisir mais de concevoir ».

Le développement accru des matériaux transforme la notion de concurrence. L'effet de masse annihile tout choix, donc toute comparaison, action à partir de laquelle se fonde la concurrence. Manzini voit dans cette situation une mutation des comportements vis-à-vis des objets matériels qui privilégie la conception. Cette analyse est partagée par des recherches plus récentes comme celles de Le Masson et Hatchuel (Le Masson et al, 2006).

1.2.5. Du point de vue écologique : énergie et ressources

La conception architecturale opère des choix de matériaux et de mises en œuvre qui aboutissent à une consommation de matières-ressources et d'énergie importante, directement proportionnelle à l'importance de l'artefact conçu. De ce fait, l'architecte a la possibilité d'agir sur le mode de consommation de ces biens collectifs que sont les

ressources et l'énergie. Pour ce faire, il est nécessaire qu'il ait connaissance des modes de fabrication des matériaux et de leur acheminement. Dans le tableau qui synthétise les activités de production du bâti (figure 2), nous avons volontairement fait apparaître la composante énergétique du processus. A chaque phase de production, cette composante (énergie grise) est présente, parfois très importante pour la production de certains matériaux. Par ailleurs, les matières premières minérales et fossiles qui constituent les réserves de certains matériaux à bâtir s'épuisent et disparaîtront parfois à des échéances de temps très brèves. Il convient de trouver des substituts pour remplacer les matières premières qui manqueront. La fabrication des matériaux à venir inaugure de fait de nouveaux usages de la matière, dont l'incidence sur l'art de bâtir, le plus important consommateur de matériaux de l'activité humaine, mérite qu'on s'y intéresse dès aujourd'hui.

La raréfaction des ressources nous oblige à rechercher des modes constructifs capables de répondre à ce constat environnemental. La mise en œuvre de matériaux va dans le sens d'une économie de matière, image forte de la dématérialisation (Bensaude-Vincent, 1998) et nos connaissances nous autorisent à envisager de diminuer encore l'utilisation de matière pour un résultat identique.

S'il est admis que la matière disponible se raréfie et que les capacités de la science nous ouvrent des champs d'intervention de plus en plus fins, jusqu'au nanomètre, l'organisation des connaissances sur la fabrication matérielle est aussi à rechercher dans la composition moléculaire adaptée à chaque matérialité conçue en fonction de son contexte et de sa finalité.

N'observe-t-on pas chez les scientifiques des matériaux, deux échelles d'études qui se font écho lorsqu'une microstructure est élaborée pour répondre au problème posé par une macrostructure. Pourquoi ne pas imaginer que l'ingénieur spécialiste de la matière s'associe à l'équipe de conception. Dans les schémas professionnels actuels, ce spécialiste se trouve dans les entreprises qui fabriquent les matériaux, mais le dialogue est encore timide.

Si nous admettons que le matériau n'est pas seulement la concrétisation de l'ouvrage mais qu'il devient aussi matière générée par des informations, certains éléments du processus architectural, de la conception à la fabrication, ne pourraient-ils pas s'inverser ? Le fabricant de matériaux quitterait-il son rôle de fournisseur pour devenir créateur ?

1.3. Quel paradigme ?

L'enchaînement des activités de production de l'art de bâtir s'inscrit dans un faisceau de relations d'autant plus complexes que les mutations qu'elles traversent sont d'origines très variées. Par rapport à quelle réalité matérielle la conception de la matérialisation de l'architecture se situe-t-elle aujourd'hui? Par rapport à l'édifice, au composant, au matériau ? Le matériau de construction est-il toujours envisagé comme un objet aux caractéristiques permanentes et universelles tels, le marbre, la brique de terre cuite, le bois de charpente, et même la fonte ou le verre ?

Envisagée du point de vue épistémologique, en se référant aux travaux de Kuhn (Kuhn, 1983), on peut considérer que la conception architecturale et sa matérialisation font référence à « une science normale », partagée par la communauté des acteurs qui œuvrent à l'art de bâtir, transmise par les manuels, les traités, les revues, tous ces supports qui véhiculent les connaissances. Examinons comment ces documents présentent la construction et plus particulièrement le matériau de construction afin de tenter de dégager les principes sur lesquels se base la conception architecturale pour les aborder.

1.3.1. Les matériaux et l'architecture : les manuels de construction.

1.3.1.1. La matière absente

La rencontre de l'élève architecte avec la science constructive de l'architecture le forme à la mise en œuvre de la matière au sein du projet. Cette formation s'effectue par l'intermédiaire des cours dispensés dans les Ecoles d'architecture et par la consultation des manuels. C'est par ce biais qu'il se familiarise avec les notions de construction et peut les approfondir au gré de ses questionnements. Le manuel, sous toutes ses formes, fait état de la science de référence dans les domaines constructifs et techniques qui intéressent l'architecture et son édification. Notre propos ne consistant pas à effectuer une étude approfondie sur les manuels de construction, mais plutôt de tenter de dégager les principes les plus importants qui régissent ces connaissances, nous avons consulté quelques ouvrages de base, connus de tous les étudiants ⁽³⁾. De cette consultation, d'encyclopédie, de dictionnaire thématique ou de manuel, une constante s'impose : la construction est toujours présentée par type d'ouvrage de bâtiment. L'ouvrage, qu'il soit mur, plancher, menuiserie... est analysé dans son comportement face aux sollicitations extérieures comme les surcharges, ou les effets de la neige et du vent par exemple. Ses caractéristiques intrinsèques sont présentées à l'aide de formules et de schémas qui renseignent sur le mode de travail de l'ouvrage et sur ses

³ notamment, Encyclopédie du Bâtiment. Editions Eyrolles et Editions techniques.
« le » Neufert. Editions Dunod

performances, comme la résistance mécanique d'une poutre précontrainte, mais rarement en fonction des propriétés du matériau constitutif. La décomposition des ouvrages procède souvent du découpage correspondant aux attributions de chacun des métiers du bâtiment, ceux-ci étant assez fidèlement représentatifs du phasage temporel du chantier.

Par ailleurs, l'introduction à la science constructive avec la résistance des matériaux, est effectuée d'une façon abstraite : on y apprend ce que sont les efforts, les forces, modélisés en équations. Poutres et appuis sont caractérisés en modules et coefficients. Ceci acquis, la conception et le comportement des structures sont étudiés par type d'ouvrages : portiques, nappes ... le plus souvent sans référence à un quelconque matériau. Ces connaissances sont basées sur celles des ingénieurs de génie civil dont les calculs procèdent de modélisations des phénomènes statiques (ou dynamiques) auxquels sont soumis les ouvrages, les matériaux intervenant ultérieurement et étudiés indépendamment les uns des autres.

Ceci posé, on s'aperçoit que les matériaux apparaissent essentiellement de deux façons : au travers des détails techniques d'une part et dans les chapitres spécifiques qui présentent les propriétés de telle ou telle famille de matériau d'autre part.

1.3.1.2. Détails techniques

La présence des matériaux dans chacun des ouvrages présentés apparaît dans les chapitres et paragraphes qui traitent des mises en œuvre sur le chantier. Il en est ainsi de tous les détails d'exécution où le dessin représente des matériaux identifiables : on reconnaît l'appui en béton, la poutre en bois, la couche d'étanchéité, le profil en aluminium.... Les matériaux sont « nommés », par un graphique ou une description, mais leur nature est rarement détaillée. Par exemple, la présentation des détails de montage des maçonneries ne spécifie jamais les types de pierre qui peuvent être mises en œuvre. Et pourtant un calcaire tendre des Pays de la Loire ne peut pas s'identifier à un granit de Bretagne. La matérialité des ouvrages, y compris dans la description de leurs détails, en vue rapprochée, se prêtant à la compréhension de chaque élément constitutif, fait abstraction de sa substance. La matière à l'origine de la manifestation tangible et perceptible des éléments d'architecture ne fait pas l'objet d'investigation particulière ; sa nature intrinsèque importe peu dès l'instant qu'elle satisfait au résultat attendu. De ce fait, lorsqu'il termine ses études, l'architecte entretient avec le matériau une relation abstraite et théorique. Il ignore tout ou presque des processus qui président à leur fabrication.

Dans la pratique, la connaissance du matériau et de ses capacités constructives sont maîtrisées par l'homme de chantier qui le met en œuvre, et par habitude et expérience, par l'architecte qui possède une longue pratique de suivi des chantiers.

1.3.1.3. *Nature et composition des matériaux.*

En règle générale on peut constater que les seuls matériaux qui échappent à l'absence de description de leur nature sont ceux à base de liants hydrauliques qu'il est impossible d'évoquer sans mentionner la composition. Ainsi, les manuels qui portent sur les ouvrages en béton ne font jamais abstraction de la composition du matériau, des types de ciment qui peuvent intervenir, des granulats, adjuvants et ferraillements pour le béton armé. Dans un registre différent, la construction métallique peut difficilement être expliquée sans présenter en détail les produits de l'industrie auxquels elle se réfère : la construction de type mécanique des ouvrages en acier s'effectue à partir des produits de catalogue strictement référencés. Les produits laminés sont présentés dans leur forme et leurs dimensions avec les abaques de résistance correspondantes ; il est très rare qu'on y évoque la composition des aciers ou les modes de traitement surfacique qui se spécialisent pourtant constamment en proposant des matériaux de nature très diverses. Les vitrages sont présentés de manière identique au catalogue du fabricant. Les produits de terre cuite sont présentés en référence à leurs propriétés de mise en œuvre : la brique « monomur » par exemple (épaisse, fortement alvéolée et donc isolante) s'affiche avec l'ensemble des éléments spécialisés qui entrent dans la fabrication des linteaux ou de chaînes d'angle.

On constate que ces chapitres spécifiquement dévolus à la présentation des matériaux et de leurs caractéristiques se développent régulièrement, au rythme de l'accroissement de la diversité de la production industrielle des matériaux et composants. Ainsi s'affirme avec une évidence croissante la nécessité de présenter autrement le matériau de construction, comme si sa complexité spécifique ne pouvait plus se satisfaire du statut qu'il occupait auparavant, de simple illustration de la mise en œuvre de tel ou tel ouvrage.

1.3.2. *Construire en...*

De nouveaux manuels sont ainsi apparus, focalisant leur propos sur la construction avec un matériau identifié. Les Editions Polytechniques et Universitaires Romandes ont sans doute initié ce type d'ouvrage avec les travaux réalisés sous la responsabilité de Julius Natterer *Construire en bois*, (Natterer & al, 1987), suivi de *Construire en béton* de René Walther (Walther, 1993) qui traite du dimensionnement des structures en béton.

Le propos éditorial n'est plus de présenter « la construction », c'est-à-dire la somme des opérations qui adviennent au moment du chantier pour réaliser les ouvrages, mais un objectif à atteindre qui se traduit par le verbe « construire ». Le passage du substantif au verbe est très explicite dans les ouvrages des Editions Polytechniques et Universitaires Romandes qui ont publié d'une part *Construction en bois : technologie, propriétés, dimensionnement* sous la direction du professeur de génie civil René Walther, et d'autre

part *Construire en bois : choisir, concevoir, réaliser* sous la direction de Julius Natterer, un des responsables du laboratoire matériau bois. Cette approche affirme la nécessaire connaissance des particularités du matériau à intégrer lors de la conception architecturale et constructive. Le matériau est abordé par rapport aux possibilités conceptuelles et non par rapport à des caractéristiques données. Des initiatives éditoriales semblables ont vu le jour dans d'autres pays. Citons l'excellent ouvrage anglais, *Glass in building, a guide to modern architectural glass performance*, (Button & Pye, 1993). L'ouvrage présente les processus industriels de fabrication du matériau et les fonctions primaires d'une fenêtre en verre, introduits par une rapide histoire de l'architecture en verre. Le développement principal est organisé en trois chapitres qui abordent les fonctions du verre dans l'architecture : visuelles, thermiques et mécaniques. En appendice sont présentés les systèmes structurels des ouvrages en verre. Le concept éditorial est ici fondamentalement différent des manuels de construction traditionnels : le matériau est acteur du concept architectural, et non plus illustration. Il a capacité à répondre à des attentes programmatiques énoncées dans la démarche conceptuelle. Cette approche décrit des fonctions constructives, des performances et une capacité à concevoir ; elle est fondamentalement ouverte, puisque les études de cas sont placées en annexe, à titre d'exemples.

Citons aussi les initiatives des éditions du Moniteur qui a réalisé plusieurs ouvrages du type « Construire avec... » dans la collection « Techniques de conception ». Les matériaux majeurs y figurent : acier, béton, bois. Certains de ces ouvrages sont réalisés avec la contribution très active du monde industriel.

Construire avec les bétons (Editions du Moniteur, 2000) réalisé sous la direction de l'association Cimbéton divise son propos en deux parties :

- concevoir en béton , chapitre constitué de nombreuses études d'opérations architecturales qui utilisent le béton sous différentes formes
- connaître le béton, développement dévolu à la connaissance de la matière, les modes de fabrication et leur diversité.

Construire avec le bois (Gauzin Müller, 1999) insiste en introduction sur la filière bois, analyse les propriétés du matériau, décrit les modes de conception des ouvrages et illustre la totalité du propos par de nombreuses études de cas réalisées selon une grille d'analyse constante.

1.3.3. Des revues d'architecture par filière.

Ces publications sont à rapprocher des revues spécialisées publiées à l'initiative d'organismes professionnels ou d'entreprises.

Une des premières du genre, la revue « AC » pour *Amiante Ciment* a été publiée à l'initiative du groupe Eternit pour la promotion de ses produits auprès des architectes. Publiée dans les années 70, cette revue présentait des réalisations architecturales d'une façon différente, insistant sur les détails d'exécution et donnant ainsi à lire les modes d'assemblage et de composition des matériaux les uns par rapport aux autres. Notons que la disparition de la revue AC, très regrettée des nombreux architectes qui trouvaient là l'information correspondant à leurs questionnements sur la mise en œuvre des enveloppes minces, a précédé l'interdiction de l'amiante.

La revue *La construction moderne* éditée aujourd'hui sous la responsabilité de l'association Cimbéton présente des réalisations architecturales en béton, exaltant plutôt la plastique du matériau que les mises en œuvre techniques.

Séquences Bois, revue du Comité National pour le Développement du Bois a été créée pour faire état des possibilités architecturales du matériau peu familier des pratiques architecturales françaises. Revue destinée à la promotion du matériau bois chez les architectes, elle s'est rapidement imposée comme un outil précieux d'information technique sur des mises en œuvre spécifiques encore peu maîtrisées du milieu professionnel. Plébiscitée par les architectes qui s'y réfèrent fréquemment, cette revue a largement contribué à la diffusion de la technologie du bois dans l'architecture française et s'est affirmée comme un modèle. La filière acier a édité *L'acier pour construire* selon un principe de présentation de l'information assez semblable. D'autres tentatives moins heureuses ont été initiées, comme pour la terre cuite par exemple, confirmant une présentation de l'information technique et architecturale par filières de matériau plutôt que par type d'ouvrages.

1.3.4. Les signes précurseurs d'un paradigme en déclin

Cet infléchissement de la présentation des savoirs constitués, que ce soit par l'intermédiaire des manuels ou par celui de la presse spécialisée révèle deux types de modifications importantes :

- le matériau de construction est abordé comme un élément de la conception du projet : la conception d'un ouvrage du bâtiment ne s'opère plus seulement selon des principes constructifs mais par rapport à des matériaux aux performances identifiées. Ces performances maîtrisées par la science des matériaux sont parfois décrites en termes appropriables par l'architecte (fonctions constructives, esthétiques, perceptives...). Elles

sont le plus souvent repérées dans les nombreuses études de cas qui se substituent aux modèles théoriques de conception des ouvrages. Ainsi la mise en œuvre des matériaux peut être comprise par rapport à un contexte conceptuel, qu'il soit programmatique, environnemental ou économique. Par l'observation et l'étude des cas, le matériau peut être abordé dans sa nature même et pour ses caractéristiques propres puisqu'il est saisi en situation de rendre le service attendu. Cela correspond à un accroissement qualitatif de l'information parce qu'elle est replacée dans le processus global de la conception architecturale et constructive, et ainsi chargée de significations croisées.

- la présentation du matériau de construction atteste de sa nature. L'organisation sectorielle par filière induit une information spécialisée et approfondie par type de matériau. L'accès à la connaissance physique et matérielle s'affirme de plus en plus par sorte de matériau, déclinant ses capacités à réaliser l'ouvrage. Cet état de fait est-il à rapprocher du développement de plus en plus concurrentiel des matériaux de construction dont les caractéristiques sont par ailleurs de plus en plus polyvalentes, l'un pouvant souvent se substituer à l'autre sans incidence fondamentale sur la conception globale ? L'affichage du matériau tel qu'il s'opère aujourd'hui semble correspondre à une réponse commerciale des filières de production qui affirment leur identité. Cette position accentue l'importance du matériau dans la conception.

En conclusion, on constate que la présentation des connaissances dans le domaine de la construction s'infléchit vers un intérêt à mieux connaître les caractéristiques des matériaux, et de ce fait leur nature et leur mode de fabrication. Cet intérêt pour les matériaux est-il un premier pas vers l'exploration des capacités nouvelles des matériaux. Est-il annonciateur de la « révolution silencieuse », que décrivent Kurz, Mercier et Zambelli dans leur *Introduction à la science des matériaux* (Kurz & al, 1999). Ces auteurs expliquent la mutation des matériaux en faisant référence aux modes de transformation. « Autrefois, on réalisait des produits par déformation de la matière en la travaillant en quelque sorte par l'extérieur ; c'était la fonderie, la forge, le travail du verre ou le moulage des plastiques. Aujourd'hui on tend à **organiser la matière** à partir de sa structure interne, et c'est à cette conception, en particulier, que l'on doit le nucléaire, les composites, l'électronique, les biotechnologies ». Et ces auteurs de conclure par une phrase qu'ils imaginent qu'on pourra lire dans les livres d'histoire des décennies à venir : « vers la fin du XXème siècle, l'humanité est passée de l'ère du fer à celle de la synthèse ».

A quelle ère de transformation des matériaux les architectes se réfèrent-ils lorsqu'ils conçoivent la construction ? Les bâtisseurs d'aujourd'hui ne sont-ils pas encore attirés par le mode de transformation de type artisanal issu de l'ère agraire dans lequel l'écart entre la représentation de l'architecte et celui qui réalise est minimum. Cet écart est d'autant plus

réduit que l'artisan, tout comme l'architecte, appréhende l'artefact dans sa globalité, depuis les matériaux constitutants jusqu'à l'objet fini, doté de toutes ses caractéristiques.

Mais, ces mêmes bâtisseurs ne sont-ils pas aussi fascinés par la mécanisation de l'ère industrielle, dominée par le modèle issu du travail du fer qui a initié la précision et l'efficacité dans la conception des structures bâties ?

Sont-ils prêts à concevoir la matérialisation de l'architecture en « organisant la matière à partir de sa structure interne » ?

Cette recherche a pour objectif de rendre compte des modes de conception des architectes, tels qu'ils s'opèrent aujourd'hui. Parlant d'expérimentation et d'innovation, nous serons tentés d'aborder les questions de matérialité au travers des évolutions en marche. Mais notre contexte d'études se situe dans la réalité sociale et économique de la production des chantiers contemporains. L'actualité de la production a-t-elle déjà intégré les évolutions qui s'annoncent ? Nous donnons la parole aux architectes et aux industriels pour répondre à cette question.

1.4. La conception architecturale dans la recherche.

Les enquêtes auprès des architectes qui constituent notre corpus d'étude ont pour but de préciser les termes de la conception architecturale dans sa phase de concrétisation. Pour l'explorer, nous utilisons les notions et les concepts élaborés par les sciences de la conception. Le développement qui suit présente l'état de l'art dans le domaine auquel nous nous référons pour comprendre les processus.

1.4.1. Modélisation des processus de conception

L'étude de la conception appartient à des champs de connaissances récents, les développements les plus importants étant apparus avec l'essor des technologies informatiques. Dans le domaine plus étroit de la conception architecturale, privilégiant les approches qui approfondissent la démarche conceptuelle en tant que processus, nous nous sommes appuyés sur les travaux de Michel Conan (Conan, 1990), Robert Prost (Prost, 1992), et Jean Charles Lebahar (Lebahar, 2007).

Les travaux de Philippe Boudon en « architecturologie » ou ceux d'Alain Rénier en relation à la théorie des systèmes traitent de questions plus éloignées de notre propos, malgré le grand intérêt de leur thèse.

Michel Conan dans son ouvrage intitulé *Concevoir un projet d'architecture* explore la nature des opérations effectuées par la pensée architecturale à l'occasion de l'élaboration d'un projet, entre les arts et l'ingénierie. Il propose un modèle de démarche heuristique (fig. 3) issu du modèle de production des connaissances selon Popper, exprimé de la manière suivante :

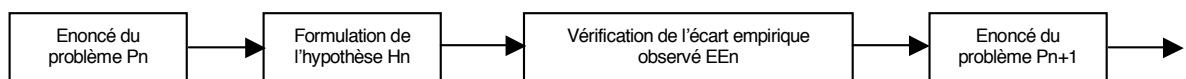


Fig. 3. Le processus de conception architecturale (Conan ,1990)

« Le problème Pn amène le chercheur à proposer une hypothèse Hn, et à créer un dispositif de vérification de l'Ecart Expérimental E_{en}, entre la prévision autorisée par l'hypothèse et la réalité observée, d'où le chercheur tire un nouvel énoncé de problème P_{n+1} ». (Conan 1990).

Sa réflexion sur la créativité le conduit à approfondir le rôle du dessin dans la pratique de l'architecte et les modes de circulation de l'information au cours d'un projet.

Robert Prost (Prost, 1992) procède à une investigation méthodologique dans son ouvrage sur la *Conception architecturale*. Il détaille les étapes du projet architectural comme processus qui fait se succéder la formulation d'un problème et sa résolution. Il détaille le projet architectural en quatre étapes majeures :

- la formulation du problème posé par le projet architectural.
- la résolution du problème qui équivaut à la formulation de la solution architecturale.
- La concrétisation de la solution qui correspond à la matérialisation de la solution architecturale.
- L'appropriation de la solution, dernière étape du processus, qui marque l'avènement de l'architecture en une œuvre.

Pour ces quatre étapes, il propose différentes modélisations dont nous reproduisons celle qui concerne la concrétisation.(fig.4)

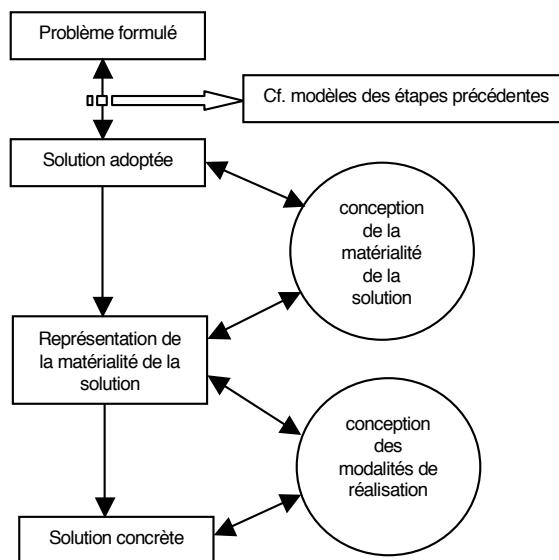


Fig.4. Composantes du processus de concrétisation d'une solution architecturale (Prost, 1992)

Cette investigation méthodologique part du principe que « les paramètres d'un énoncé de problème sont autant de vecteurs portant en eux des informations mais cet énoncé reste toujours un système ouvert qui ne peut trouver sa clôture que dans son articulation aux solutions qu'il engendre (itération) » (Prost, 1992).

Jean Charles Lebahar dans son ouvrage sur *La conception en design industriel et en architecture* (Lebahar, 2007), envisage l'activité de conception comme la construction et la communication d'un modèle d'artefact. « C'est une construction cognitive basée sur des significations et des connaissances utilisées par les professionnels de la conception pour produire des informations destinées à définir les attributs du nouvel artefact ». Sa

démonstration détaille les modes opératoires destinés à produire les représentations de l'artefact et leur matérialisation.

1.4.2. Modélisation des processus d'activités.

La complexité des opérations effectuées à l'occasion d'un projet d'architecture, depuis sa conception jusqu'à sa réalisation, a conduit plusieurs laboratoires de recherche à explorer les capacités des outils informatiques à gérer ces ensembles de données. Au sein du MAP-CRAI notamment, des recherches ont été effectuées sur l'organisation des connaissances liées aux ouvrages du Bâtiment (Bignon 2002). Ces recherches ont été développées sous l'angle de la coopération entre acteurs en phase de conception des bâtiments. Les travaux du laboratoire ont conduit à l'élaboration d'un métamodèle de coopération qui a pour but de décrire les entités présentes dans le processus et les relations qu'elles entretiennent entre elles.

Le métamodèle original (fig.5) proposé notamment par Gilles Halin (Halin, 2004) se compose de trois entités principales : l'acteur, l'activité et le document.

- L'activité se décompose en : projet, phase et tâche .
- L'acteur (simple ou groupe) se caractérise par son métier, ses compétences, la fonction qu'il occupe dans le groupe d'acteurs.
- Le document est un artefact lié à l'activité.

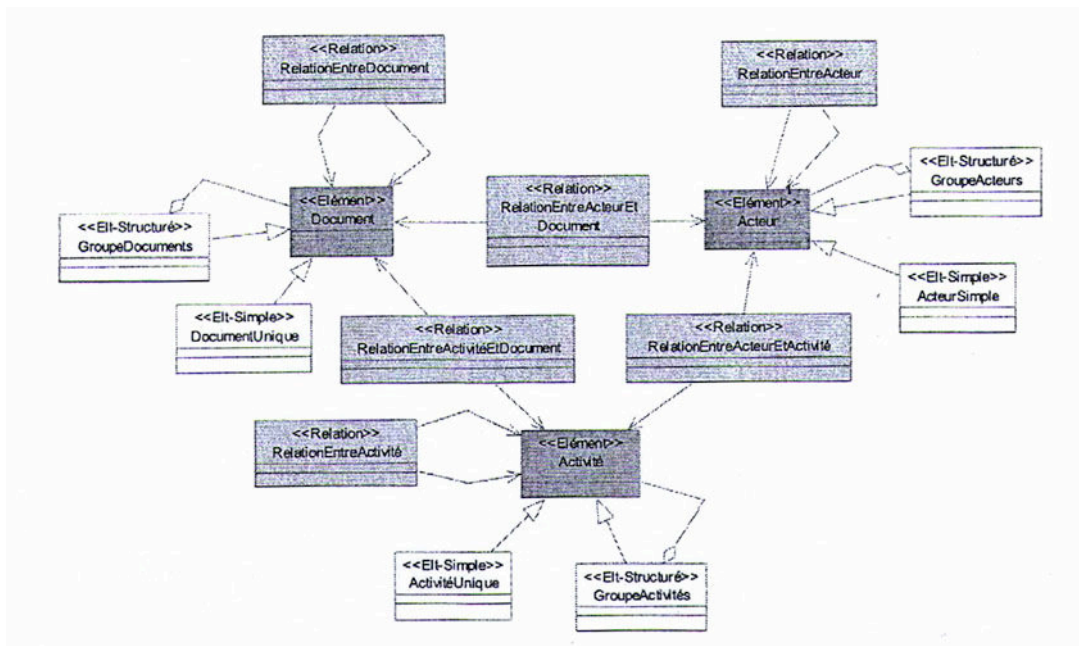


Fig. 5. Extrait du métamodèle de coopération dans sa forme originale. (CRAI)

Les relations définissent les actions entre les entités de la façon suivante :

- les relations entre activités consistent à organiser le déroulement d'un processus (planification)
- les relations entre acteurs et activités définissent la fonction de l'acteur et son rôle exact.
- Les relations entre acteurs et documents sont relatives à la gestion et à la circulation des informations.
- Les relations entre activités et documents sont relatives à la production d'informations
- Les relations entre acteurs définissent les rôles entre les membres (structure organisationnelle)
- Les relations entre documents sont liées à la gestion des versions.

Les recherches qui ont suivi cette proposition ont enrichi le modèle initial, en précisant les entités et leurs relations. L'entité « document » est devenue « artefact », décomposée en : document, objet et modèle. Sylvain Kubicki (Kubicki, 2007) dans sa thèse sur l'assistance à la coordination dans les opérations de chantier, a proposé la création d'une entité « outils », destinée à caractériser un certain type d'opérations et leurs instruments, correspondant à une modélisation plus exacte de ses travaux. Ces évolutions du metamodèle original démontrent que cette proposition est une forme de représentation ouverte destinée à expliquer des situations ou des phénomènes en fonction de leur contexte et de l'objectif pour lequel on effectue la modélisation. (Bouleau, 1999).

1.4.3. Les processus de conception du point de vue de l'ingénierie.

Le déploiement des théories développées pour étudier les processus industriels s'effectue dans des domaines étrangers à l'architecture, mais leurs principes participent à nous faire comprendre, par analogie, comment s'effectuent les relations entre les concepts et les connaissances dans les démarches de conception en architecture, et leur capacité à générer l'innovation.

Parmi les travaux issus des sciences de la conception, nous avons retenu ceux qui envisagent la démarche de conception comme une composante de l'innovation industrielle. La problématique scientifique s'intéresse ici à la conception de produits innovants. Les rapprochements avec la conception architecturale semblent porteurs d'enseignement, d'autant plus que nous l'abordons dans la phase de la matérialisation.

Jacques Perrin propose une méthodologie de conception de l'innovation dans son ouvrage intitulé *Concevoir l'innovation industrielle* (Perrin, 2001), se basant sur le constat établi par Nathan Rosenberg « le processus central de l'innovation n'est pas la science mais la conception ». J. Perrin dresse un état de l'art des connaissances dans le domaine des sciences de la conception. Il présente les différents aspects des démarches de conception : nature, méthode et modèles, pour en rendre compte. Nous aurons l'occasion de reprendre

certaines des modèles présentés. Le plus courant d'entre eux, qui sert de référence à bon nombre de bureaux d'études chargés de la conception de produit est sans doute celui proposé par Pahl et Beitz (Pahl et Beitz, 1984), qui fait se succéder quatre phases pour aboutir à l'artefact (fig.6).

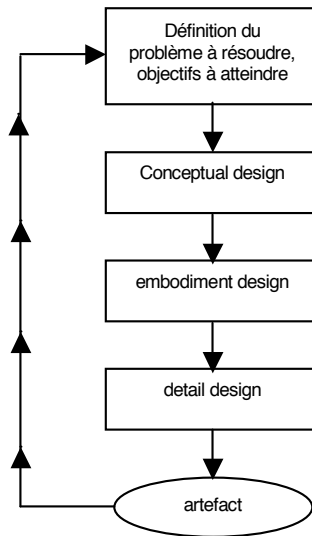


Fig. 6. Les phases de conception selon Pahl et Beitz. (Pahl et Beitz, 1984)

Dans l'industrie, la première phase aussi nommée « functional design » est dévolue à la définition du cahier des charges. « Les phases suivantes correspondent à la conception comme processus de concrétisation croissante de la solution adoptée ou comme passage d'une fonction (forme abstraite) à une solution (forme concrète)[...] Le modèle permet de rendre compte des interactions entre phases et entre étapes intermédiaires ». (Perrin, 2001) Retenons de l'état de l'art présenté par J.Perrin, la définition de l'artefact proposée par H. Simon, notion reprise par de nombreux auteurs. « L'artefact est défini comme toute production faite par l'homme, considérée comme une interface « entre un environnement interne, la substance et l'organisation de l'artefact lui-même, et un environnement externe, les alentours dans lesquels il est mis en œuvre ». (Simon, 1991)

Enfin, il nous paraît intéressant de faire état des travaux d'Asimow (Asimow, 1962) concernant les trois logiques d'action qu'il a mises à jour, destinées à structurer la démarche de conception : divergence, convergence et transformation. Ces notions permettent de nuancer les formes de raisonnement habituelles, qui s'appuient sur l'analyse et la synthèse. « La divergence est l'action qui vise à élargir les frontières de la situation de conception pour élargir l'espace de solutions ; la transformation est l'action de construire à partir des résultats de la logique de divergence, une structure, un modèle, une solution. C'est une phase de découverte et de créativité. La convergence est l'action de réduire progressivement

l'incertitude due à la multiplicité des solutions possibles afin de sélectionner la solution la plus satisfaisante ».

Dans le même champ de connaissances, c'est-à-dire celui qui traite de la conception en tant que vecteur d'innovation, nous avons retenu les travaux récents d'un groupe d'enseignants-chercheurs de l'Ecole des Mines de Paris, Pascal Le Masson, Benoît Weil et Armand Hatchuel dont l'un des derniers ouvrages met en regard la conception innovante et la croissance des entreprises (Le Masson & al, 2006) . Cette étude sur les processus d'innovation dans l'entreprise industrielle contemporaine, bien qu'effectuée sous un angle économique et organisationnel, aide à comprendre les modes d'apparition et de développement de l'innovation constructive et technique dans la démarche architecturale. Pour les auteurs, l'innovation dans l'entreprise procède d'une **conception innovante** de produits, dont ils analysent les modalités. Ils mettent en avant le fait que la conception est une activité sous-jacente à toute innovation. Et pour analyser le raisonnement de conception, ils se tournent vers les « figures historiques majeures qui ont constitué les principales traditions de conception ». En procédant à cet examen, ils montrent les correspondances entre les modes conceptuels traditionnels et les questions d'innovation. Trois figures traditionnelles sont repérées : l'architecte, l'artiste, et plus récemment l'ingénieur.

« L'architecte incarne un cas exemplaire de capacité de gestion d'innovation. Pour l'architecte, chaque nouvelle construction est une innovation, mais les traités et les théories de l'architecture sont autant de moyens offerts au praticien pour procéder à cet exercice. [...] il s'appuie sur une science de l'architecture qui est constituée, d'une part de « la connaissance de tant de diverses choses » (l'auteur cite Vitruve) et d'autre part d'un raisonnement qui lui permet, dans l'immense étendue des connaissances qui lui sont potentiellement utiles, d'extraire ce dont il a besoin ». Les auteurs identifient l'appareil conceptuel de l'architecte par son mode de **raisonnement** et ses champs de **connaissances**.

« L'artiste ne subordonne pas sa création à la réalisation de fonctions prédéfinies et il ne la voit pas non plus comme la résolution de problèmes anciens et bien répertoriés : l'artiste contemporain cherche à créer des « mondes nouveaux ». [...] « Cette tradition de conception nous confronte à l'émergence de l'inattendu, de la surprise [...] aptitude du processus de conception à générer du nouveau, identifié comme **capacité d'expansion** ».

La tradition conceptuelle des ingénieurs est examinée comme une « logique d'expansion fondée sur la production de connaissances et l'expérimentation ». (Le Masson & al, 2006). Précisant les méthodologies de la conception innovante, les auteurs s'appuient sur un

modèle de raisonnement de conception formalisé par deux d'entre eux (Hatchuel, Weil 2002), appelé **la théorie C-K**.

« Son principe fondamental consiste à séparer deux « espaces » d'études :

- **l'espace des concepts** est celui « des points de départ » de tous les concepteurs. La notion apparaît évidente pour les designers. [...] Travailler sur un concept consiste à suspendre le jugement et à spécifier le concept en lui ajoutant des attributs. Un concept est validé à l'aide des connaissances existantes ou créées à cette occasion ;
- **l'espace des connaissances** contient les propositions validées : techniques, commerciales, sociales, réglementaires... . Toutes les connaissances nouvelles produites par les techniques de tests, d'essais, de mesure (i.e. la recherche notamment), consistent à rajouter des propositions dans l'espace des connaissances.

La conception consiste à spécifier progressivement un concept de C en lui ajoutant des propriétés issues de K, éventuellement en produisant des connaissances nouvelles. On a donc un ensemble d'aller et retour entre l'espace C et l'espace K. » (Le Masson & al, 2006).

Nous avons pu remarquer que les études centrées sur la conception architecturale s'essouffent toutes plus ou moins lorsqu'elles parviennent à l'examen de la matérialisation située en fin de processus, ce qui justifie la référence aux travaux dévolus à la conception, pratiqués par les entreprises industrielles. Les caractéristiques spécifiques aux aspects matériels de la production paraissent peu familières des centres d'intérêt de la plupart des chercheurs en architecture. Ce constat nous encourage à retenir des éléments de points de vue de l'ingénierie, choisis pour la complémentarité de leurs approches, afin de proposer une hypothèse de modèle plus adaptée à notre problématique.

Des travaux du CRAI, nous retenons la capacité à **modéliser la complexité du processus**. Le métamodèle de coopération devrait nous permettre de représenter la situation de conception à l'étape de matérialisation, en mettant en présence les acteurs qui sont concernés, les activités qu'ils opèrent, les artefacts qui y sont produits et les outils qui facilitent certaines opérations. Cette approche n'a pas vocation à expliquer le mode de production des concepts et la réflexion sur les connaissances convoquées ou produites au cours du processus qui nous intéresse. Nous l'utiliserons de ce fait de façon limitée, lorsque nous aurons besoin d'explicitier la complexité de la démarche.

1.5. Processus de conception de la matérialisation en architecture : un modèle en hypothèse.

Dans un premier temps, nous retiendrons de ces travaux d'origine diverses, différentes définitions dont la synthèse nous permet de proposer l'hypothèse d'un modèle représentatif de la situation qui nous intéresse : la phase de conception de la matérialisation.

- Des travaux de Lebahar, (Lebahar, 2007), nous retenons que l'activité de conception est une construction cognitive basée sur des connaissances en vue de produire des informations qui définissent les attributs du nouvel artefact. Cette définition met l'accent sur la relation qui s'opère entre l'exploitation des **connaissances** qui produisent des informations avec l'élaboration des caractéristiques de l'**artefact**.
- Des travaux de Hatchuel et Weil (Le Masson & al, 2006), nous retenons que l'activité de conception consiste à spécifier progressivement un **concept** en le validant et en lui ajoutant des propriétés issues de l'espace des **connaissances**. Cette définition introduit la notion du concept, résultat d'une activité mentale qui fait converger des propositions qui ne seront pas remises en cause.
- Des travaux de Robert Prost notamment (Prost, 1992), nous retiendrons que l'activité de conception est une activité d'énonciation et de résolution de **problèmes**. Cette définition met l'accent sur la posture intellectuelle qui vise à questionner une situation, un contexte, voire des connaissances, dans le but de satisfaire à un objectif préalablement identifié. L'énonciation du problème qui guide la recherche de solution est une étape première dont dépend la suite de la conception. La résolution du problème précise les solutions par l'intermédiaire de la formulation du concept. « Le "parti" (ou le "concept" dans la terminologie contemporaine) donne à l'édifice intellectuel une unité nécessaire pour réduire la complexité des paramètres, les organiser, et rassembler ainsi les actes de conception autour d'un argument fondateur de la solution. » (Prost, 1992)

Pour avancer dans notre recherche, nous proposons une hypothèse de travail destinée à analyser le processus de conception qui nous intéresse.

Dans un premier temps, nous définissons ce processus comme un système d'interactions entre des éléments cognitifs que nous avons identifiés en recoupant différentes recherches. Nous proposons ainsi de retenir cinq notions récurrentes dont l'exploration nous paraît pouvoir satisfaire à la compréhension du processus :

- le problème (ou les problèmes) : objectif pour lequel l'activité de conception s'organise.
- le concept (ou les concepts) : formulation première de l'idée, « qui ne représente pas une réalité mais un potentiel d'expansion » (Le Masson & al, 2006).

- les connaissances : propositions validées dans les domaines techniques, réglementaires, sociaux ... (id.). Nous intégrons notamment dans les connaissances, les savoirs et savoir-faire de la matérialité.
- les représentations destinées à traiter les informations issues du concept et des connaissances. Dans le processus que nous étudions, ce sont « les représentations qui ont pour fonction de guider les actions de ceux qui sont chargés de la réalisation » (Lebahar, 2007).
- l'artefact : objet conçu. Sa formalisation et sa caractérisation marquent la fin du processus. Nous avons choisi de limiter cette recherche à la conception des éléments de l'édifice (ouvrages, composants, ou matériaux) afin de détailler le processus conceptuel du point de vue des acteurs qui participent à la production du bâti, en amont du chantier.

Les interactions entre ces éléments sont effectuées par le **raisonnement** du concepteur qui fait appel à différentes logiques d'action, ainsi qu'à sa créativité. Elles sont validées par sa **décision**.

La mise en relation de ces éléments s'organise selon le modèle représenté figure 7.

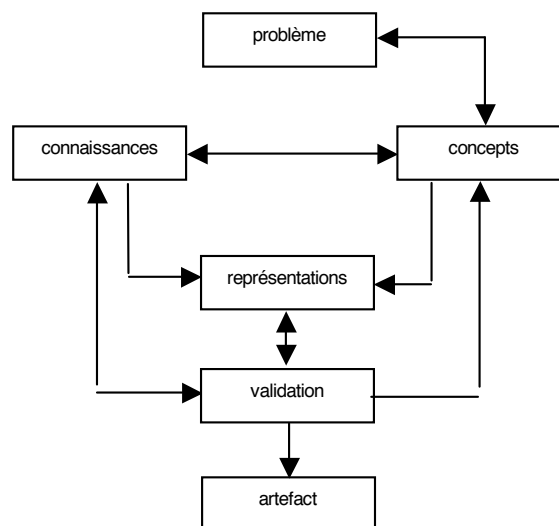


Figure 7. Activités de conception de la matérialisation : processus interactif entre les éléments cognitifs. Hypothèse.

Notre hypothèse de travail propose une mise en relation entre ces éléments qui s'organise selon le modèle représenté figure 7. Les termes seront validés et détaillés au cours de cette recherche. Les relations entre chacun de ses éléments participent à définir le

fonctionnement du processus. Pour cette première hypothèse, nous proposons les définitions suivantes :

- La relation entre le problème et le concept consiste à :
 - Répondre au problème par l'énonciation d'une idée (il est sous-entendu que le problème est déjà formulé à cette étape de la conception) ;
 - Redéfinir la formulation du problème, en cas de besoin.

- La relation entre le concept et les connaissances consiste à développer le concept par la mise en application de solutions puisées dans les connaissances disponibles et adaptées. Le développement de la conception peut aboutir à la création de connaissances.

- La conception progresse avec la production de représentations qui poursuivent un triple objectif :
 - La simulation de l'artefact. Pour la conception de la matérialisation, il s'agit de représenter les caractéristiques physico-morphologiques de l'artefact.
 - L'évaluation de l'artefact simulé et de sa capacité à répondre aux attributs du concept, en vue de procéder aux décisions.
 - La transmission d'informations aux acteurs chargés de la matérialisation de l'artefact.

- La relation du champ des connaissances à l'ensemble des représentations fait référence aux nouvelles technologies de simulation et de modélisation dont la mise en application et l'utilisation requièrent un véritable apprentissage (une acquisition).

- La boucle de retour des représentations vers le concept signifie qu'il est envisageable de reformuler les (ou certains) attributs du concept, suite aux validations effectuées à partir des représentations.

L'approfondissement de cette hypothèse de recherche nous permettra de réaliser un modèle représentatif du processus de conception de la matérialisation en architecture, à partir duquel nous pourrions formuler le modèle capable de rendre compte des particularités de la conception architecturale dans les cas d'expérimentation.

Cette compréhension du processus ainsi établie devrait nous conduire à mettre en évidence les liens qui existent entre l'expérimentation architecturale et l'innovation industrielle dans le domaine de la conception des matériaux et de leur mise en œuvre.

2. De la matérialité à la matérialisation dans le processus de conception architecturale

2.1. Le processus global de conception architecturale

2.1.1. Avant l'expérimentation

L'expérimentation sur les matériaux et leur mise en œuvre en architecture est une conception particulière, dotée de caractéristiques spécifiques, qui s'inscrit dans le processus global de conception du projet d'architecture, à l'endroit des échanges entre conception et réalisation. L'expérimentation envisagée de ce point de vue ne peut être étudiée en dehors de la conception du projet architectural au risque de produire un contresens. Le matériau acquiert ses attributs d'architecture parce qu'il participe à donner forme au projet d'architecture. De ce fait, l'expérimentation est reliée aux concepts et aux connaissances qui représentent le projet dans son entier. Dans un premier temps, nous examinerons comment s'opère la matérialisation du projet d'architecture, l'expérimentation en étant une forme de résolution particulière. En effet, le besoin d'expérimentation sur les matériaux et leur mise en œuvre ne figure pas parmi les modes opératoires traditionnels de l'architecte. Il advient dans des conditions spéciales qui seront étudiées ultérieurement. Au préalable il convient de préciser les termes du processus de conception dans sa globalité.

Pour concevoir l'agencement des matériaux qui seront mis en œuvre dans l'espace physique, l'architecte met en œuvre un acte mental que les anglo-saxons nomment « *embodiment* », sorte d'incarnation de ce qui est conçu préalablement. Nous l'appelons matérialisation ou encore concrétisation. Il s'agit de faire coïncider les attendus désignés d'une façon abstraite, en éléments concrets, constituants de l'artefact dans sa forme définitive. Si nous reprenons la théorie « C-K », (voir chapitre précédent), l'idée initiale exprimée par un concept, s'enrichit d'attributs grâce à la mobilisation des connaissances des acteurs, c'est-à-dire des savoirs et expériences de l'architecte et des ingénieurs qui constituent la maîtrise d'œuvre, et des savoirs et techniques des acteurs de la matérialité. Cette étape de concrétisation intervient à la suite d'un processus préalable, annonciateur des formes et des caractéristiques physiques qui définissent les éléments matériels, sorte de genèse opérée dans l'idée.

2.1.2. Conception réglée : une suite d'opérations « prescriptives »

Une opération d'architecture se caractérise par son organisation en « projet » auquel participent de nombreux acteurs. Les principales étapes que sont l'esquisse, l'avant-projet sommaire puis détaillé, le dossier de consultation des entreprises, rythment l'introduction de nouveaux acteurs : l'architecte et l'équipe de maîtrise d'œuvre dans un premier temps, puis les entreprises.

Pour rendre compte de ces étapes, nous adoptons la représentation du processus de conception le plus couramment utilisée dans l'industrie qui consiste à faire se succéder des phases de conception de façon hiérarchique : « la conception réglée ». Ces modèles s'appuient sur une logique d'action de convergence et sont de type prescriptifs. Le modèle de Pahl et Beitz (Pahl & Beitz, 1984) en est le meilleur représentant. (cf fig. 6 ; ch.1).

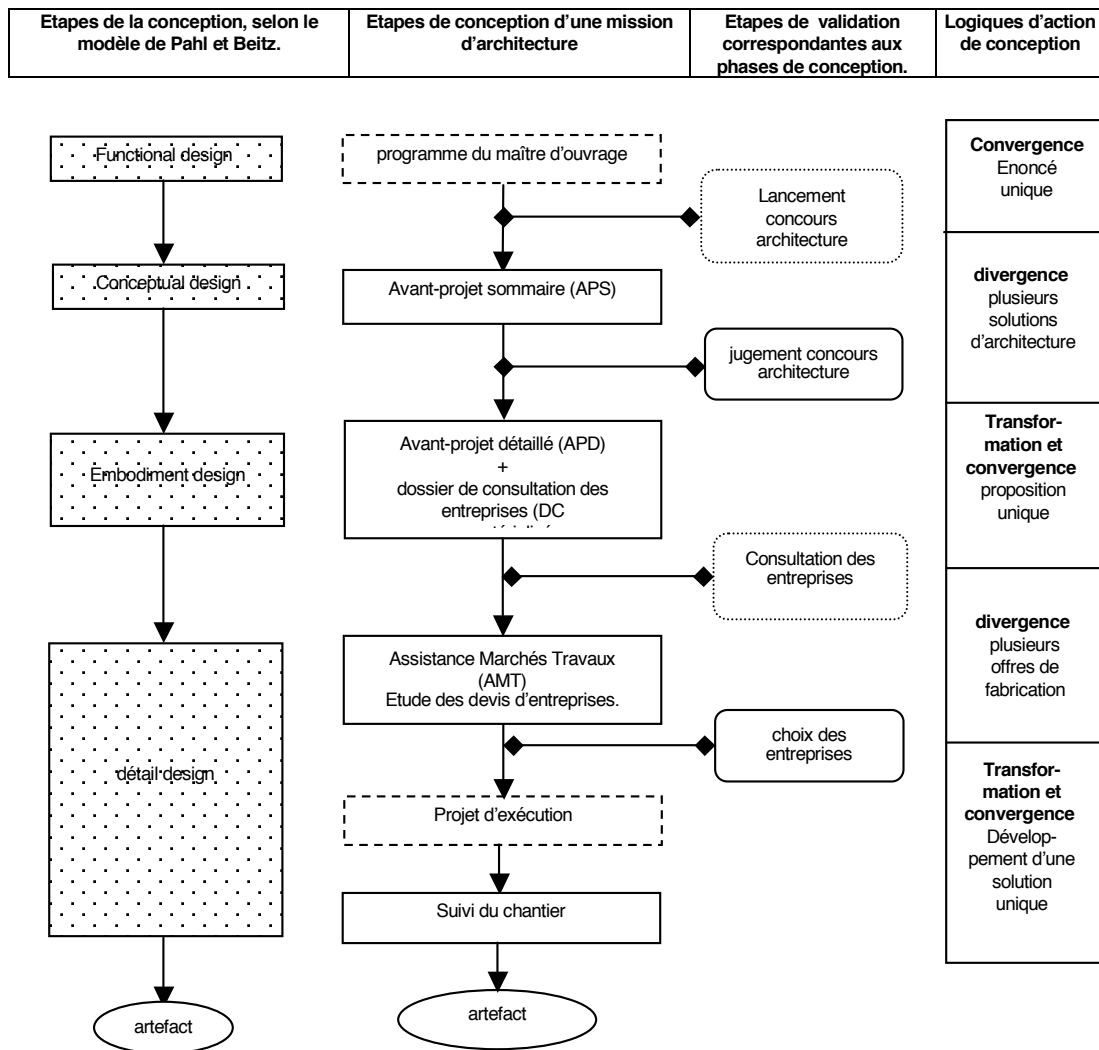


Figure 8. Transposition du modèle de conception réglée» aux étapes de conception d'une mission d'architecture.

Plaçons en regard de ce modèle, les étapes du projet d'architecture telles qu'elles sont définies par la mission de l'architecte dans le cadre des marchés publics. Cette représentation, proche des étapes définies par la norme Afnor X50-127 de 1988 (Perrin, 2001), qui établit « les recommandations pour obtenir et assurer la qualité en conception »⁽⁴⁾ se satisfait de ce modèle séquentiel dont chaque étape est la prescription de l'autre.

Pour figurer cette représentation schématique, nous ne présentons que les phases les plus importantes (fig. 8). La transposition du modèle de conception réglée au déroulement du projet d'architecture fait apparaître des différences révélatrices.

Pour les comprendre, nous identifions :

- la nature des étapes
- les modes d'intervention et d'action des différents acteurs
- les logiques d'action.

Nature de chacune des étapes.

Les phases du modèle de conception réglée définissent des **problématiques** auxquelles la conception doit apporter réponse : définition des fonctions, des concepts et de la matérialisation.

Les étapes du projet d'architecture nomment des **types de documents** à réaliser comme le programme, le dossier de consultation des entreprises **ou des états** de développement du projet : avant-projet sommaire, projet détaillé.

Ces différences sémantiques sont dues au fait que ces définitions ont des objectifs différents. La première est opérationnelle et s'intéresse aux caractéristiques du processus de conception. La deuxième est de type administratif et désigne des étapes contractuelles d'un processus de conception destinées à définir les obligations de production des prestataires de service.

Des acteurs différents.

La conception d'une opération d'architecture fait se succéder une série d'acteurs indépendants les uns des autres destinés à assurer une fonction précise dans le processus.

Les principaux acteurs appartiennent :

- à la maîtrise d'ouvrage. C'est à la fois le client et l'utilisateur. Personne unique dans le cas d'une maison individuelle, cette entité peut regrouper plusieurs fonctions dans le cas d'opérations complexes.
- à la maîtrise d'œuvre. Il s'agit de l'architecte et des différents ingénieurs qui conçoivent le projet. Des spécialistes de telle discipline ou de telle mission peuvent y être associés,

⁴ « Partant de besoins exprimés, le processus de conception définit pas à pas le produit qui doit répondre aux besoins et aux attentes, par des choix successifs portant sur des points de plus en plus détaillés » Trois phases sont distinguées : étude de faisabilité ; avant-projet ; développement de projet. [extrait de la norme Afnor X50-127 de 1988]

comme l'ergonome pour la conception de lieux de travail (représentant d'une discipline appelée ponctuellement), le bureau de contrôle obligatoire pour certaines opérations, ou l'ingénieur sécurité pour le suivi du chantier (mission obligatoire).

- aux entreprises pour la réalisation des opérations de chantier.

On remarquera que les entreprises qui fabriquent les matériaux ne figurent pas dans l'ensemble des acteurs liés contractuellement dans une opération d'architecture. Ce sont les fournisseurs des entreprises du chantier. Cette situation peut représenter une cause de blocage dans les situations d'expérimentation.

Revenons au modèle de conception architecturale de la figure N°8 et soulignons les étapes de conception qui sont extérieures à la conception architecturale.

La première étape qui consiste à définir les objectifs est établie par le maître d'ouvrage, acteur qui commande la conception. Le document qui définit cette étape est le programme, plus souvent un cadre de contraintes que l'amorce de la conception. Le programme précise le budget, le site d'implantation, les besoins d'architecture et les cadres réglementaires. Pour certains programmes complexes, comme les équipements publics par exemple (hôpitaux, groupes scolaires...), cette étape fait l'objet d'une étude de « programmation », qui correspond à ce que peut être le « functional design ». Cette étape est validée en interne par le maître d'ouvrage qui transmet cette information à un groupe d'architectes en vue de la soumettre au concours d'architecture.

On peut observer une autre phase du processus qui n'est pas (toujours) assurée par l'architecte. Il s'agit de l'étape de la conception de détail qui correspond au « projet d'exécution ». Cette étude est de moins en moins souvent réalisée par la maîtrise d'œuvre du fait des questions de responsabilité très contraignantes. Cette partie de la conception est donc souvent effectuée par les entreprises puis contrôlée par la maîtrise d'œuvre, procédure parfois pénalisante en cas d'expérimentation où la conception doit être partagée.

Ces deux étapes qui appartiennent à l'opération de conception d'un projet d'architecture ne sont donc pas réalisées par l'architecte ou l'équipe de maîtrise d'œuvre. Elles sont pourtant déterminantes dans l'élaboration de certains choix et participent activement à la conception. Ce propos n'est mentionné que pour confirmer qu'un projet d'architecture n'est pas du seul fait des acteurs dits de conception (architecte et ingénieurs).

L'introduction des acteurs au sein du projet est organisée par les étapes séquentielles. En effet, la nécessité de faire jouer la concurrence entre ces agents économiques a imposé un mode d'action par séquences de conception au cours desquelles chacun des acteurs conçoit avec ses connaissances spécifiques. L'équipe de maîtrise d'œuvre organisée autour de

l'architecte est introduite dans le processus à la suite du concours d'architecture. Les entreprises sont connues à la suite de l'appel d'offres de construction. Ces procédures participent à fermer le système de la conception, fermeture antinomique des itérations entre les phases. Pourtant, la complexité des projets ne peut pas se satisfaire de cette progression par séquences étanches. Les pratiques la contournent dans les faits. Avant de détailler cet aspect, examinons comment les logiques d'action de conception de « convergence », « divergence » et « transformation » sont utilisées dans la démarche de conception architecturale, attestant de son dynamisme.

Logiques d'action de conception.

Le modèle de conception réglée est essentiellement régi par la logique de convergence, chaque phase définissant un artefact unique destiné à être développé dans la phase suivante.

Dans un projet d'architecture, les logiques d'action de conception à l'œuvre dépendent de deux réalités dont les logiques se superposent.

D'une part, l'organisation entre les différents acteurs est essentiellement régie par la concurrence. Dans un premier temps l'architecte est intégré au processus à l'issue d'un concours, à l'occasion duquel plusieurs agences d'architecture répondent. Différentes solutions sont exprimées. Aucune solution ne ressemble à une autre bien qu'elles répondent toutes aux mêmes problèmes formulés dans le programme. La logique d'action est donc **divergente**. Le même processus est réitéré pour l'introduction des entreprises qui sont intégrées à la suite de l'appel d'offres de construction. Pour chacune de ces actions divergentes, la **convergence** qui suit procède d'un jury d'acteurs (jury du concours d'architecture et commission d'ouverture des plis). Ces phases valent aussi comme validation des propositions.

D'autre part, chacune des étapes de conception fait intervenir des logiques d'action différentes, de façon interne. Par exemple, la formalisation de « l'avant-projet sommaire » fait appel à la divergence (analyse des paramètres ; exploration des possibilités) puis à la transformation (étape conceptuelle) et à la convergence (choix d'une seule solution proposée au concours). L'étape de « l'avant-projet détaillé » fait appel à la transformation (suite de l'étape conceptuelle) et à la convergence (détermination des choix, en particulier constructifs).

La mise en œuvre de plusieurs logiques d'action à différents endroits du processus atteste de la richesse des démarches mises en œuvre, nécessitées probablement par le très grand nombre de données à gérer dans un même projet.

Ce constat est une démonstration supplémentaire que le modèle de conception réglée représente incomplètement la réalité de la conception d'une opération d'architecture, y

compris dans sa présentation contractuelle qui correspond aux formes les plus « réglées » du processus. La référence à ce modèle nous a permis de présenter d'une façon synthétique la succession des étapes conceptuelles de l'opération d'architecture du point de vue de l'engagement des acteurs.

Précisons à présent les principales actions qui s'inscrivent dans chacune des étapes pour mieux saisir la complexité du processus. En effet, on s'aperçoit que la réalité des projets demande de procéder à des itérations entre chacune des phases, du fait de la nature des actions qui s'y produisent.

2.1.3. Introduire les itérations.

Dans le tableau de la figure N°9, nous avons défini sommairement le contenu des différentes étapes de la conception, en insistant sur les actions qui ont rapport avec la matérialité. On fait état ici de pratiques courantes de conception architecturale, destinées à montrer les nécessaires itérations entre les phases. Prenons quelques exemples.

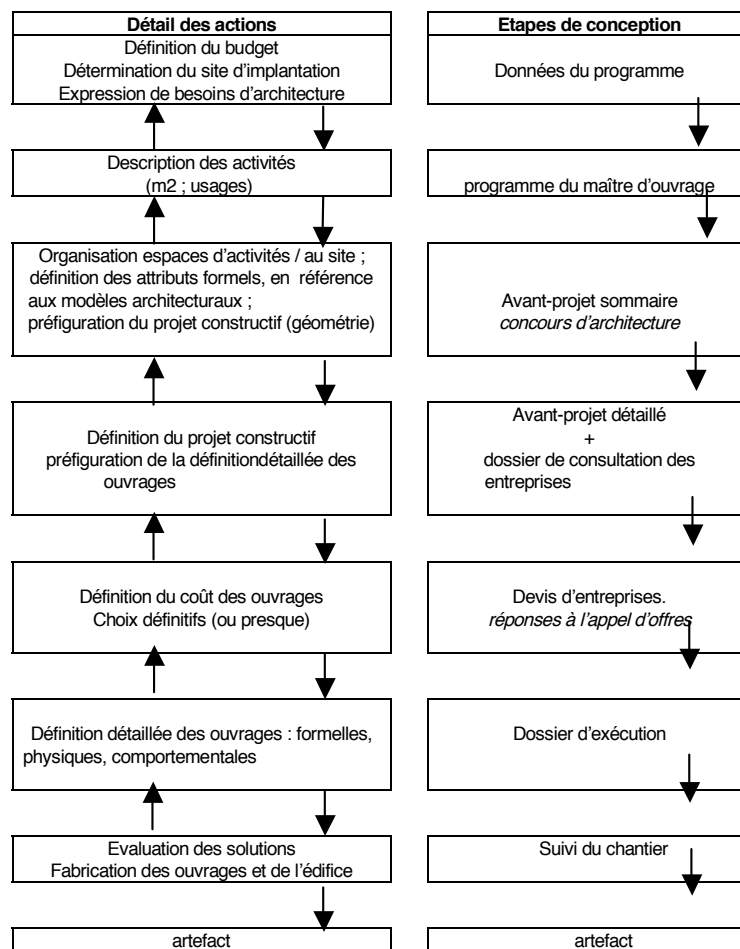


Figure 9 : détail des actions des étapes de conception

Par exemple, lors de la phase de concours, les architectes effectuent la recherche de solution aux problèmes posés par le maître d'ouvrage sans pouvoir débattre avec lui de ses choix ou les remettre en cause. L'élaboration de la conception est tenue au secret. Si l'avancement du projet révèle certaines incohérences ou impossibilités, l'architecte prend la responsabilité d'y déroger en formulant sa réponse. Cela peut correspondre à une redéfinition de certains aspects fonctionnels du programme. Ces interprétations sont admises et permettent d'introduire une ouverture dans le processus. Elles sont de l'entière responsabilité de l'architecte qui prend un risque. Ce risque fait partie de la réponse qui sera évaluée puis validée par le jury du concours.

Autre exemple : à la fin du processus, lors de la phase de suivi de chantier, celle pour laquelle tout doit être défini. Dans le cas où l'expérimentation s'impose, il peut être nécessaire de revenir sur certains aspects de conception de détail suite aux évaluations réalisées lors des tests expérimentaux, obligeant à un retour sur la phase de conception de détail. Des retours en arrière sont nécessaires, familiers par ailleurs de la pratique des architectes. Il est connu en effet, qu'ils poursuivent jusque dans la phase du chantier l'amélioration du dessin de certains détails.

En résumé, le processus de conception architecturale répond, dans son organisation contractuelle, à une démarche de conception prescriptive qui fait dépendre la phase suivante de la précédente. Dans les faits, la nécessaire prise en compte de la complexité du processus qui requiert des ajustements constants dans le cours des décisions, contraint à des itérations entre les étapes. Ces retours en arrière obligent les acteurs à mettre en place des démarches alternatives ou de contournement. Nous aurons l'occasion d'en rencontrer lors de l'étude de la démarche d'expérimentation. Enfin, on peut noter que l'organisation du processus qui fait appel à de nombreux acteurs introduit le recours à des logiques d'action variées, reprises individuellement par chacun des acteurs. Cette caractéristique témoigne d'une forte capacité d'adaptation de la démarche.

2.2. Emergence des premiers concepts : la matérialité

Si nous considérons le modèle de conception réglée, on constate que l'étape de matérialisation (embodiment) intervient à la suite de la phase de définition des concepts, destinée à déterminer les premiers attributs de l'artefact, en réponse aux énoncés fonctionnels. Dans la démarche architecturale, la conception de la matérialisation consiste à résoudre le problème constructif dans la prise en compte de sa dimension matérielle. Cela signifie que, dans un enchaînement logique, les questions constructives interviennent à la suite de la formalisation des premières représentations conceptuelles de l'artefact destinées à caractériser **l'espace architectural**, ses éléments, les relations entre ses éléments et son tout, caractéristiques faites d'idées et de forme, sans matière.

Pour valider cette hypothèse, nous avons ouvert les entretiens avec les architectes sur la question de **la matérialité**, façon d'entrer dans le propos par le biais des concepts. Plutôt que de les interroger sur la mise en œuvre des matériaux, nous avons préféré une évocation plus globale : la matérialité ne représente-t-elle pas le concept de l'univers matériel ?

Si nous reprenons l'hypothèse que le concept se formalise comme la réponse à un problème, il convient d'examiner dans un premier temps ce que sont les problèmes et comment les réponses s'élaborent.

Cela nous conduit à définir les points suivants :

- types de problèmes posés par le projet d'architecture
- ordre d'apparition des concepts et hiérarchie des idées
- origine et nature des concepts liés à la matérialité

2.2.1. Types de problèmes posés par le projet d'architecture

On peut distinguer deux catégories de problèmes qui se posent à l'architecte dans le cadre d'une opération. La première catégorie concerne les données spécifiques à l'opération. Elles sont définies par le programme du maître d'ouvrage auquel il convient d'ajouter les obligations réglementaires qui s'y réfèrent. La deuxième catégorie est constituée par les problèmes énoncés par l'architecte à partir de ses connaissances préexistantes, domaine qui caractérise ses compétences. Citons quelques exemples.

2.2.1.1. Données identitaires de l'opération.

- Problèmes fonctionnels : les fonctionnalités et les usages déterminent les activités accueillies dans l'espace bâti et leurs besoins en espace (dimensions) et qualité d'espace (caractéristiques).

- Problèmes environnementaux : le site détermine les données physiques (nature des sols, climat...) et contextuelles (environnement social, historique ...).
- Problèmes économiques : le budget fixe les limites des possibles.
- Problèmes réglementaires : le contexte de l'opération est cadré par un ensemble de règlements spécifiques (règles d'urbanisme locales) et généraux (droit de la construction ; réglementations incendie ou réglementation thermique...), auxquels s'ajoutent les réglementations de la construction (Documents Techniques Unifiés, Eurocodes...). Les réglementations fixent des cadres pour chacune des actions de conception et de réalisation de l'opération d'architecture.

2.2.1.2. Données identitaires du savoir architectural et constructif.

(Nous ne faisons référence qu'aux deux domaines de connaissances qui sont en liaison avec le sujet que nous étudions).

- l'architecture doit s'inscrire dans un courant esthétique et affirmer sa présence par sa dimension symbolique. C'est un objet de culture. Cette dimension se manifeste notamment par la forme et les matériaux de l'objet architectural.
- L'édifice à construire doit être solide en toutes circonstances et sa technicité doit être apte à répondre aux aspirations de la société pour laquelle il est construit.

Ses deux obligations qui s'apparentent à deux des préceptes de Vitruve s'imposent à l'architecte par une succession de problèmes que la conception est tenue de résoudre.

De ce fait, la recherche de solutions passe par une élaboration progressive de concepts destinés à définir les caractéristiques de l'artefact en fonction de problèmes posés en ordre dispersé. Les démarches sont variables en fonction des architectes ou des nécessités de l'opération. Notre propos vise à rendre compte du cheminement de certains d'entre eux lorsqu'ils abordent les questions relatives à la matérialité. Ils établissent des sortes de « chemin critique », valorisant certaines options plutôt d'autres, certains modes de raisonnements plutôt d'autres.

2.2.2. Ordre d'apparition des concepts : hiérarchie des idées.

Les entretiens effectués auprès des architectes ont mis à jour plusieurs façons d'aborder la matérialité du projet. Pour la majorité d'entre eux, cette forme de conceptualisation figure parmi les actes fondateurs du projet. Elle procède de deux approches qui se distinguent par l'ordre d'apparition de la matière et des matériaux dans la progression de la pensée conceptrice .

- Dans un cas, l'idée ou le désir de matière s'impose dès les premières réflexions. Il s'agit parfois d'une idée encore floue qui ne définit pas un matériau précis. La matière ou le matériau, presque préexistant au projet, est valorisé pour son potentiel expressif et pourra figurer parmi les concepts structurants.
- Dans le deuxième cas, les matériaux y sont choisis en réponse à des fonctions préalablement identifiées. Ce choix s'affirme comme une résultante conceptuelle qui s'exprime par ses caractéristiques physiques autant qu'expressives.

2.2.3. Origine et nature des concepts liés à la matérialité

Dans les agences importantes comme Architecture Studio ou Renzo Piano Building Workshop (RPBW), les démarches de projet sont initiées par la définition des idées fondatrices. L'énoncé de ces concepts de base intègre la dimension matérielle, que ce soit en référence à des images précises ou à des impressions.

2.2.3.1. « Les codes esthétiques du projet » chez Architecture Studio.

Avant de dessiner le projet, nous définissons les concepts.[...] Nous définissons très vite les codes esthétiques du projet. Qui dit code esthétique, dit aussi matière. On ne les définit pas complètement. Ce sont de grands principes qui seront développés ensuite. [...] Par exemple, pour l'église Notre Dame de l'Arche de l'Alliance, nous voulions un brun. Le concept était un cube en bois, ou d'apparence en bois, un bois qui ne change pas d'aspect. (Martin Robain)

Cette description synthétique et fondatrice du projet intègre une volonté ou un désir de matérialité aux contours encore flous. Ce ne sont en effet que des principes. Les modalités de réalisation ne sont pas connues : le bois de l'église n'est pas choisi. Mais ils ont valeur de principe et en ce sens, ils constituent une base essentielle, loi fondamentale à partir de laquelle le projet se développe.

2.2.3.2. « Le Decalog » chez Renzo Piano Building Workshop

A l'agence RPBW, le commencement d'un projet, sous l'impulsion de Renzo Piano, s'effectue d'une façon un peu similaire.

Le point de départ est de l'ordre de l'impression. Ce sont des sentiments qu'il (Renzo Piano) veut développer dans le projet. Renzo est un architecte qui travaille beaucoup en hiérarchisant les points de développement de chaque projet. Les aspects à développer sont toujours en petit nombre. Un, deux ou trois, une dizaine au maximum. Il parle souvent d'ailleurs de Decalog. Se pose ensuite le problème de savoir comment les développer. (Paul Vincent)

Ces principes initiaux, définis en amorce de tout projet, aussi bien chez Architecture Studio que chez RPBW, témoignent d'une méthode de travail dont l'organisation est tributaire de

l'importance de ces deux agences. Avec cette méthode, le projet, dans son développement ultérieur, est assuré de conserver les idées initiales, celles-ci étant étudiées par délégation.

2.2.3.3. Une somme de paramètres

Emmanuel Combarel insiste sur la complexité du projet d'architecture ce qui le conduit à envisager la matérialité comme un des concepts parmi d'autres.

Un projet représente une telle somme de paramètres à prendre en compte que nous comptons sur la part d'intuition qui viendra alléger le cours des décisions. De plus, les outils de représentation actuels ont supprimé la hiérarchisation dans les dessins. Avec l'outil informatique, une échelle donnée n'a plus de signification. On dessine 3cm, cela signifie 3cm. On travaille sur l'échelle 1. De ce fait, le détail peut être très structurant dès le début du projet. Cela peut être de la matière, rien que de la matière. Mais l'idée peut émerger d'un tout autre domaine comme celui qui consiste à se déjouer d'une contrainte réglementaire. (Emmanuel Combarel)

Lorsque la matérialité est énoncée parmi les concepts initiaux du projet, il est fait référence à une démarche intuitive, nourrie par l'expérience et le talent, qui fait presque précéder l'énonciation du concept à la résolution du problème. La pensée s'abstrait du raisonnement logique pour privilégier un comportement similaire à celui de l'artiste. (fig.10) Ce mode opératoire provoque une sorte de fusion entre une certaine catégorie de problèmes et le concept pour déterminer un socle initial, créateur d'architecture. Cette action s'appuie sur les images mentales de l'architecte, formulées à partir de ses connaissances préexistantes et de son imagination. Cela correspond à l'exploration de nouveaux mondes (Le Masson & al, 2006).

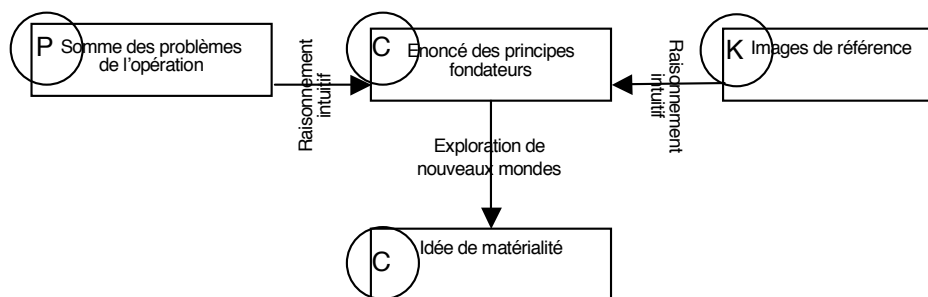


Figure 10. Formulation de l'idée de matérialité contemporaine à la prise en compte du problème posé par le programme par raisonnement intuitif.

Cette démarche n'est pas unanimement partagée. Certains préfèrent déduire la définition de la matérialité de raisonnements antérieurs. Ces raisonnements témoignent des démarches de conception mises en œuvre par chacun, forgées au coin de leur personnalité. De ce fait, les variations dans l'apparition des concepts sont nombreuses. Pour certains, comme Jacques Ferrier la prise en compte des usages est prioritaire. Pour d'autres, la matérialité s'impose à la suite des définitions premières de l'espace architectural. Elles sont énoncées en référence à des archétypes comme l'explique Pascal Rollet, ou de lumière chez Nicolas Michelin. Christian Hauvette affectionne une approche plus structuraliste et définit l'espace architectural à partir de ses éléments, eux-mêmes porteurs de matérialité.

2.2.4. La matérialité résultante d'autres réalités programmatiques.

2.2.4.1. En réponse au programme

Pour Jacques Ferrier, la matérialité du projet est déterminante car elle précède la création de la forme. Toutefois, elle résulte d'une réponse aux attentes du programme.

A l'agence, la matérialité intervient relativement tôt. Le départ du projet se fait sous mon impulsion par des échanges, en partageant des thèmes. Ces thèmes, que nous discutons avec l'équipe et avec les directeurs de projet, ne sont jamais des thèmes formels. L'idée de départ ne procède jamais d'une forme qui pourrait répondre au site, au paysage, à la ville. Je n'y arrive pas. C'est toujours une réflexion qui part des éléments du programme.

Dans ce cas, la conception est abordée par des définitions raisonnées qui s'attachent en priorité à satisfaire aux usages des activités à venir dans le bâtiment. La conception de la structure y apporte réponse, par les portées qu'elle assure, la fluidité qu'elle autorise. Un dialogue se met en place entre les exigences programmatiques et des faisabilités constructives.

La réponse aux questions de programme se formalise en termes de fonctionnement, de circulation, de flux, mais aussi de capacité d'enveloppe, de portée de structure. Par exemple, pour le palais de justice, il faut de grandes portées pour les salles. Sera-t-il possible d'y superposer des bureaux ? De ce fait, la question de la matérialité et de la construction du projet se pose très rapidement pour pré-évaluer la faisabilité de nos hypothèses fonctionnelles. (id.)

Le deuxième ordre de composition se met ensuite en place, convoquant des images de caractère sensible en référence à l'univers favori de l'architecte ou à des impressions qui s'imposent, notamment à partir de l'observation de ce qui est déjà là, le site en particulier.

A partir de cette étape, s'amorcent les grandes directions formelles que je fais réagir avec mes intentions, avec ce que j'aime en architecture, avec le site, ce qui questionne à nouveau la technique et le programme. Mais je pense que c'est le lien entre le programme, c'est-à-dire le fonctionnement, les usages, les circulations dans le bâtiment, et la technique et la matérialité du projet qui opère les fondements de l'idée de départ. (id.)

Dans la démarche décrite par Jacques Ferrier, le concept de matérialité est formalisé en réponse à des besoins d'usage, qu'il valide avec ses connaissances en construction. Il en résulte une idée fondatrice qui est confrontée aux données du site par l'intermédiaire d'une proposition formelle.

Pour Pascal Rollet, dans la majorité de ses projets, l'idée fondatrice consiste à formuler un principe spatial, dont il exprime la matérialité en référence à un archétype constructif.

2.2.4.2. Archétypes constructifs.

Lorsqu'il évoque l'intervention de la matérialité dans la conception, Pascal Rollet précise que la majorité des projets procède d'une recherche de matériaux effectuée en fonction de concepts posés préalablement. La définition de la matérialité intervient comme un moyen de réalisation d'idées de nature différente.

On met en place une stratégie globale de l'organisation de l'espace qui, à un moment donné, nécessite le recours à une certaine matière, à un certain type de matériau pour s'incarner. Dès lors, on recherche les matériaux qui correspondent le mieux à l'archétype ou au dispositif spatial imaginé. Très souvent, c'est une idée qui prend forme avec le dispositif spatial. Par exemple, si on souhaite quelque chose de très massif, de très lourd, on pourra envisager d'utiliser de la pierre. Mais ce choix est absolument conjoint, j'insiste là-dessus, à la notion de dispositif spatial, aux effets d'ambiance, de confort, d'organisation, de symbolique aussi, imaginés pour le projet. Il s'agit de rechercher le matériau qui correspond à l'idée, au concept général du projet. Je dirais que cela représente à peu près 80 % des opérations que nous avons réalisées. (Pascal Rollet)

Les concepts initiaux s'intéressent aux caractéristiques de l'espace architectural, dans son organisation, son confort, ainsi qu'à sa symbolique traduite en partie par les archétypes auxquels Pascal Rollet fait référence.

Le concept qui définit la matérialité résulte d'une réponse aux données du programme, formulée en référence à des archétypes issus des formes fondamentales de l'art de bâtir qui agissent comme des « objets transactionnels ». Le recours à ces objets sert de véhicule à la

pensée et assure l'émergence de la forme architecturale par la mise en relation de désirs d'espace d'architecture et de matérialités connues.

La démarche décrite par Nicolas Michelin, bien que faisant intervenir un enchaînement logique différent, procède de façon similaire.

2.2.4.3. Le matériau, un des vecteurs de la conception.

La démarche de Nicolas Michelin situe l'apparition du matériau dans la démarche de conception en réponse à plusieurs exigences du projet, formulées préalablement. Les idées fondatrices portent sur l'espace et la lumière de l'architecture imaginée qui appellent un type structurel. Cette construction mentale s'apparente à l'archétype constructif invoqué par Pascal Rollet. De ces images, un matériau, ou des matériaux s'imposent, capables de répondre par ailleurs à d'autres critères énoncés conjointement, destinés à assurer notamment confort et construction durable. Le choix des matériaux est compris comme un véhicule d'informations qui interagit avec d'autres notions.

Le matériau, j'appellerais cela « matériau » plutôt que matérialité, que je vais choisir est un des vecteurs de la conception, je ne dirais pas que c'est le plus important, mais un des plus importants. C'est un des vecteurs qui interagit avec les autres. Je ne dis jamais « je vais construire en bois », ou en béton, ou en métal. Je vais chercher un mixte. J'ai toujours une idée de cet espace, de cette lumière, de ce confort que je veux donner et enfin m'assurer que le bâtiment soit durable. Je cherche la meilleure structure, le meilleur matériau pour y parvenir. C'est assez différent que de penser faire un bâtiment en bois parce qu'on est dans une forêt, ou en Norvège, ou au Vietnam. (Nicolas Michelin)

Remarquons que si Nicolas Michelin préfère le substantif de « matériau » à celui de « matérialité », c'est parce que sa recherche porte sur les capacités physiques et quantifiables de la matière. La matérialité renvoie à des notions plus abstraites, plus proches de l'idée ou du domaine sensible qui sont introduites par la suite.

Ensuite, je fais intervenir un dernier choix, le choix esthétique. J'appelle cela la poétique. (Nicolas Michelin)

L'apparition des matériaux dans le processus de conception décrit par Nicolas Michelin procède d'un raisonnement logique qui vise à définir des performances de matérialité qui conduiront à choisir des matériaux en fonction de leurs caractéristiques. Le choix esthétique, effectué en référence à un univers émotionnel, « la poétique », n'apparaît pas comme un critère fondateur.

On peut déceler dans cette prise de position où le raisonnement logique précède l'introduction de critères artistiques, une affirmation de valeurs exprimée avec précision par Christian Hauvette. Cet architecte pose la question de la construction de l'architecture

comme un principe qui s'oppose à des démarches conceptuelles qui initient la forme à partir d'images d'ordre plastique ou artistique. Il affirme ainsi introduire la réflexion sur les modes constructifs très tôt dans le projet. Remarquons qu'il ne fait pas référence aux matériaux.

2.2.4.4. Eléments de composition.

*Dans notre agence,[...] nous réfléchissons très rapidement aux modes constructifs.
(Christian Hauvette)*

Et par ailleurs, lorsque Christian Hauvette précise sa démarche, il évoque des parties d'ouvrage et non des matériaux :

Lorsque je limite l'espace, je m'intéresse à ce qui peut être nommé. Je peux désigner des murs, des sols, des plafonds, des poutres... la matière est là. S'il n'y a pas de matériaux, c'est du décor, de la scénographie, ou de l'habillement. Mais s'il y a du matériau, c'est du vrai, du solide, donc c'est de l'architecture. (Christian Hauvette)

Le projet se compose avec des éléments physiquement identifiables et porteurs de matérialité, mais ce qui est nommé relève des composantes de l'espace architectural : le sol, les murs... la matière n'est pas loin car il s'agit bien d'éléments physiques mais elle n'est pas encore présente dans le discours.

Dans le cas des logements, il faut rapidement convaincre le maître d'ouvrage qu'il faudra isoler par l'extérieur, et que cela induit l'utilisation de tel matériau, avec tel dispositif de mise en œuvre.

Dans cet exemple, l'enchaînement des décisions est clair : le programme requiert une isolation par l'extérieur pour être conforme à la nouvelle réglementation thermique. Cela oblige à mettre en œuvre un dispositif technique tributaire de matériaux spécifiques. La singularité de cette démarche est de placer de façon prioritaire la question du dispositif technique, parmi les tout premiers choix architecturaux. Ainsi le matériau s'affirme en réponse à une construction envisagée pour des objectifs qui ne sont pas que d'ordre matériel. Christian Hauvette revendique la « vérité constructive » comme un paradigme. Cette référence lui assure de réunir les conditions d'une architecture qui se livre autant par ses espaces que par la nature de sa construction, à l'image de l'abbaye cistercienne et en opposition aux décors en stuc de l'Opéra Garnier (voir entretien complet en annexe).

Le processus de conception du projet architectural s'élabore par la formulation de réponses à des questions ou des problèmes posés par tous les paramètres qui constituent l'ensemble de l'opération.

Ainsi le projet, du fait des nombreux éléments qui le constituent, dotés chacun de valeur différente, est marqué par un degré d'incertitude qui rend difficile la prédiction du résultat

final. Cet état de fait contraint les concepteurs à imaginer des chemins de décision personnels qui oscillent entre la formulation de concepts et la recherche de solutions par la convocation de connaissances et d'informations. (fig. 11)

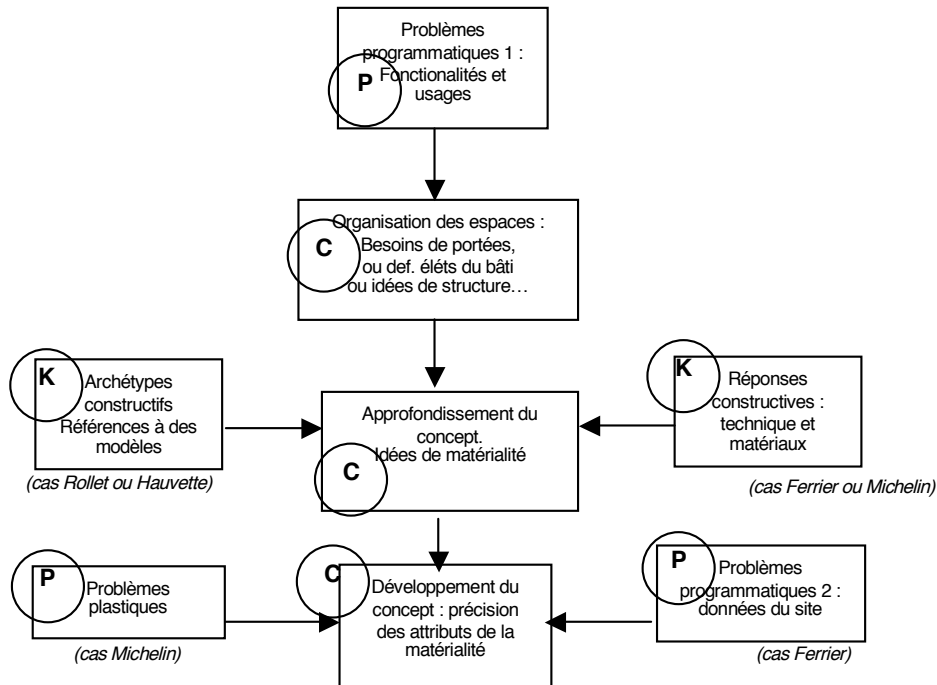


Fig.11 : La matérialité apparaît comme une résultante d'un processus de conception préalable.

La figure 11 qui fait apparaître les relations entre les diverses entités cognitives du processus montre comment le concept s'enrichit d'attributs en mobilisant dans un premier temps des connaissances du domaine constructif (archétypes, modèles, techniques connues...). Dans un deuxième temps, l'architecte formule de nouveaux énoncés de problème destinés à préciser à approfondir la caractérisation du concept. La figure 11 montre l'amorce du processus de conception de la matérialité qui fait se succéder la mobilisation des connaissances et l'énoncé de nouveaux problèmes. Cet enchaînement de raisonnements a pour but de satisfaire à la complexité de la démarche.

2.2.5. Le matériau, finalité et moyen.

En résumé, nous pouvons observer deux stratégies de conception révélatrices de modes de raisonnements différents, mais l'une et l'autre élaborées pour répondre à la complexité des projets. On peut identifier deux modes cognitifs.

L'un qui anticipe l'architecture à venir, hypothèse d'un résultat inconnu mais désiré et imaginé. La matérialité est figurée par des idées qui la projettent dans des univers symboliques et esthétiques, choisis pour la puissance de leur synthèse. Les idées ne font pas particulièrement référence aux questions constructives. Ce mode de raisonnement peut s'interpréter comme une stratégie conceptuelle destinée à contourner les difficultés occasionnées par la divergence trop importante qui résulte de la masse de problèmes à résoudre. Le concept opère une action qui fait converger un certain nombre de données en quelques principes et images sur lesquels la démarche peut se fonder. Cela correspond à « **l'exploration de nouveaux mondes** » (Le Masson & al, 2006) , selon un procédé familier des artistes, exprimé avec la force d'une conjecture. Ces principes de matérialité, exprimés très en amont du projet sont caractérisés par des attributs dont il convient de décrire la nature (voir § suivant).

L'autre qui puise des informations dans les champs de connaissances de la matérialité (capacités structurelles notamment) pour trouver des moyens de résoudre un problème, propose une solution définie par rapport aux caractéristiques physiques des matériaux dans leur capacité à devenir des éléments construits. La matérialité s'affirme alors comme une des solutions aux problèmes énoncés et pris en compte préalablement. Les concepts s'enrichissent selon un processus en **expansion**.

Lorsqu'il cite Deleuze pour conclure son entretien, Jacques Ferrier résume cette dualité attribuée à la conception matérielle, entre fin et moyens :

J'apprécie cette idée qui explique toute la difficulté que nous pouvons avoir en architecture à distinguer le rôle de la technique comme moyen et en même temps, comme indissociable du résultat final. C'est un peu ce que nous avons évoqué dans notre discussion. On ne peut pas tout expliquer, tout justifier ; mais en même temps , le tout est déjà contenu dans la technique . Nous sommes déjà engagés dans une option qui ne sera pas de la brique pour de la brique, mais qui sera de la brique pour CE projet. Il y a une sorte de convergence, qui ne se discerne pas toujours très bien, mais qui est déjà présumée, presque dès le départ.(Jacques Ferrier).

L'architecte se construit un appareil conceptuel élaboré à partir des références des maîtres et de ce qu'il connaît de la discipline architecturale. Cet appareil est fondé sur les connaissances qu'il a de son métier. Pour aborder la matérialité de l'architecture, l'architecte puise dans ses représentations mentales de l'univers matériel. L'idée qui déclenche le concept de matérialité prend sa source dans son capital de références. Cela procède à la fois d'une démarche intuitive, destinée à privilégier un certain nombre de valeurs dans le

projet. Cela peut aussi procéder d'un raisonnement logique effectué en référence à d'autres réalités.

Les deux formes de représentation de la matérialité s'imposent tour à tour dans le cheminement conceptuel de l'architecte. Ce va et vient est révélateur d'une conceptualisation complexe dont la formalisation ne peut pas s'effectuer linéairement entre cause et effet, sous peine de réduction simplificatrice antinomique de la démarche architecturale, contrainte de prendre en charge des exigences souvent étrangères les unes aux autres.

2.2.6. Origine et nature de la matérialité, à l'état de concept.

L'idée de matérialité s'exprime le plus souvent à partir d'images du règne matériel en contact avec la pensée, par notre faculté à percevoir. La matérialité du projet s'élabore à partir d'un **univers de perception** et de sensations imaginées en dialogue avec les individus qui vivront l'architecture achevée. Ce procédé mental d'anticipation est très caractéristique des modes opératoires de l'architecte.

De ce fait, l'architecte projète l'artefact en situation, prenant en compte le contexte physique du site d'une part et des attributs imaginés, construits, en référence à ses connaissances préexistantes d'autre part. A cette étape de résolution des problèmes, la majorité des architectes se réfèrent aux attributs matériels du contexte d'insertion. Les critères pris en compte dépendent de leur mode de lecture, certains privilégiant l'histoire portée par les matériaux du site, d'autres prêtent attention au territoire, d'autres enfin prennent le contexte à témoin, dans sa brutalité et son évidence.

2.2.6.1. Une matière chargée d'histoire. Marbre, brique, béton...

Parmi les principes fondateurs exprimés en amorce d'un projet chez Architecture Studio, la matière est toujours évoquée :

Pour l'opéra d'Athènes, c'est du marbre blanc. Nous savions, dès le démarrage, que cela serait du marbre blanc, du marbre blanc rugueux, et du verre lisse. Nous étions à Athènes, face à l'Acropole.[...] Cela a été défini dans les premières semaines, avant de rendre le concours. Pour le rendu du concours, tout cela était décrit. Aujourd'hui le projet se construit en référence à ces définitions de base. Et quand nous avons des problèmes avec le client, nous ressortons les cinq pages écrites au moment du concours, en rappelant que le projet doit respecter cette définition première. (Martin Robain)

Dans ce contexte le choix du marbre opère comme un fil conducteur, façon de se connecter à l'Histoire antique en empruntant un de ses matériaux favoris. C'est aussi une façon d'emprunter un moyen d'expression qui a fait la preuve de son efficacité dans la lumière

hellénique. Le propos de Martin Robain précise par ailleurs la fonction de ce concept de base, idée première sur laquelle on ne revient pas, qui prend toute son importance en cas de remise en cause des choix qui peuvent intervenir dans le cours de l'opération. (cf. entretien complet en annexe).



Photo. N°1 : Maquette virtuelle de la Fondation Onassis à Athènes.

ARCHITECTE : ARCHITECTURE-STUDIO

La brique avec laquelle Jacques Ferrier a travaillé les façades d'un laboratoire en banlieue de Lyon s'est placée en témoin des activités passées dont la marque était inscrite dans les bâtiments voués à la démolition.



Photo N°2 : Laboratoires à Oullins (69) ; Jacques Ferrier , architecte. [document fourni par l'architecte]

La terre cuite est venue de façon, je dirais, urbaine. (photo. N°2) On est à Oullins, en banlieue sud de Lyon. Quand on a visité le site, il n'y avait que des grands bâtiments à sheds en briques. Et lors de nos premiers questionnements, c'est à nouveau la problématique de l'enveloppe qui s'est imposée, pas pour des raisons climatiques cette fois-ci, mais en référence à la mémoire des lieux. A ce moment-là, tous ces bâtiments étaient en cours de démolition dans le but de réaliser un nouveau quartier. La première opération était ce laboratoire. Il y avait des lieux de travail en briques. Je me suis dit, un peu au premier degré, pourquoi ne pas garder cette qualité de la brique ? (Jacques Ferrier)

La brique semble ici s'imposer dès le départ, presque de façon urgente. Elle deviendra un des éléments dominants du projet. Cette forme d'imposition du matériau «au premier degré » révèle dans le propos de J. Ferrier la façon dont une image peut agir avec force, au-delà du raisonnement, comme une certitude inscrite dans le site qu'il suffit de décrypter.

C'est avec cette même conviction que Nicolas Michelin est intervenu dans la Halle aux Farines à Paris pour la réalisation de l'Université de Paris VII :

Tout est en béton, que du béton, le béton de Denis Honegger. (Photos. N°3 et 4) Aucun des ouvrages que nous avons rapportés n'est en métal. Cela aurait été une erreur tragique. Même pour les garde-corps. Et pourtant, à l'agence on aime beaucoup travailler le métal. (Nicolas Michelin)

Dans cet exemple, le bâtiment à rénover était chargé de l'histoire des pionniers du béton. Cette réalisation portait la trace des recherches de son concepteur et de celles des grandes figures de ses contemporains comme Auguste Perret. L'intervention dans une telle architecture était de l'ordre de l'hommage, traduit par l'adoption de la technique constructive de l'époque.



Photos N° 3 ▲ et 4 ▼ : Halle aux farines (Paris) en rénovation. Architecte : Denis Honegger. Architectes de la restauration : Agence Nicolas Michelin Associés. [documents fournis par l'architecte]



Ce type de démarche, dans laquelle l'artefact se conçoit dès le départ avec un matériau précis se retrouve chez Pascal Rollet, pour certains de ses projets qu'il précise être très minoritaires malgré l'intérêt qu'ils représentent. Pour le musée du cristal à Saint Louis, l'opération était prévue dans une halle existante, en charpente bois, installée dans une région marquée par une forte tradition forestière. On verra par ailleurs que ce choix portait déjà les germes du concept global basé sur la confrontation du cristal avec un bois brut.

On rencontre une matière, et une évidence se manifeste dès l'origine de la conception. Cette évidence s'est imposée par exemple pour le musée du cristal St Louis qui sera incontestablement en bois. (Photo. N°5) Cela vient du contexte, de

l'histoire du projet. Le matériau est presque préexistant au projet. Dans ces cas-là, la présence de la matière est assez forte et la conception se déroule assez facilement. Il est beaucoup plus facile de faire ces projets-là, que d'aller chercher la matière qui correspond à l'idée première. (Pascal Rollet)



Photo. N°5 : Musée du cristal St Louis. Lipsky-Rollet, architectes. Document fourni par l'architecte

Pascal Rollet remarque que la conception est facilitée par ce premier choix sur lequel on ne revient pas. Cette logique de convergence qui intervient très tôt dans le processus a la vertu de poser les termes des études constructives avec plus de certitude. Le cours des décisions s'en trouve simplifié.

Dans ce jeu interactif entre les composantes du concept, le matériau est prescrit à la fois du fait de ses caractéristiques physiques mais aussi de ses attributs dotés d'un pouvoir d'expression déterminant dans la construction des images mentales de l'architecte. Pour certains architectes, ce pouvoir d'expression se pose en préalable au démarrage de chaque opération, comme chez Jean de Giacinto.

2.2.6.2. La matière en relation au territoire.

Pour Jean de Giacinto qui revendique une approche contextuelle de la conception, les matières offertes par le territoire d'implantation, fournissent un registre de composition préliminaire constitué d'images destinées à amorcer un dialogue avec les éléments en présence qui pourra prendre diverses formes.

Nous nous interrogeons sur ce que le territoire nous offre et met à notre disposition. [...] Nous qualifions nos projets d'architecture par une approche contextuelle, en relation directe avec la géographie et les matières.[...]

Soit nous établissons un vrai lien entre l'architecture du projet et la problématique des matières liées au site géographique, soit nous optons vers une déconnexion totale pour imposer une intention architecturale. (Jean de Giacinto)

Dans cet exemple, les données offertes par les matériaux présents sur territoire d'implantation sont toujours prises en compte mais leur utilisation dans la composition du projet n'emprunte pas toujours le même procédé. Dans certains cas les matériaux du site s'intègrent au projet par une opération de mimétisme ; dans d'autres cas, ils sont utilisés pour créer un contraste, une opposition, autre forme de l'expression architecturale.

La prise en compte des éléments physiques du site peut prendre la forme du jeu quand les circonstances l'imposent. L'exemple évoqué par Emmanuel Combarel et Dominique Marrec montre comment un territoire d'implantation particulièrement déshérité peut se transformer en un prétexte onirique. Le projet de terminal bus qu'ils réalisent pour la RATP est installé dans une banlieue défigurée par des bâtiments d'activités sans caractère, noyés dans un environnement dévolu à la circulation automobile.

On est sur un grand parking qui doit faire deux hectares, tout en béton. Comme il n'y avait rien à quoi se rattacher, nous avons proposé de construire le bâtiment comme une déformation de cette plaque que constitue le parking (Photo.N°6)



Photo N°6 : Bureaux pour la RATP à Thiais (banlieue parisienne). Emmanuel Combarel et Dominique Marrec, architectes. [photo N. Hoyet]

C'est un peu comme si on venait glisser un élément dessous en créant une excroissance. Nous voulions avoir une continuité du matériau. Le matériau passe du sol et continue sur la façade sans transition. (Emmanuel Combarel)

Le concept est fédéré par la peau, la surface, enveloppe continue, entaillée par quelques failles de lumière. L'enveloppe est l'ordre majeur du bâti, dont les autres séquences sont des résultantes, notamment le gros-œuvre. Cette enveloppe particulière qui règle l'ensemble du projet tend à reproduire la matière de l'étendue du parking. Le projet prend sa signification et son identité dans l'élaboration de cette matière enveloppante dont la surface est texturée pour être anti-glissante quand elle passe au sol. Toute la conception du bâtiment se décline à partir du concept de déformation du sol au point que le détail d'exécution du coffrage des moules devient un principe de composition qui structure l'ensemble du projet.



Photo N°7 : Bureaux pour la RATP à Thiais (banlieue parisienne). Détail de l'enveloppe en pied de mur : continuité entre sol et façade. Emmanuel Combarel et Dominique Marrec, architectes. [photo N. Hoyet]

Ce qui est étonnant à Thiais, c'est que tout le bâtiment est précisément dessiné sur ce petit rond (elle montre un dessin de détail de fond de moule). (Photo N°7) Tout est calé en fonction d'un petit rond qui fait 20 mm. On a une trame de 36mm : 12 de joint et 20 + 2 + 2. (Dominique Marrec)

Dans ces exemples de différentes démarches, on comprend comment l'idée de matière ou le choix d'un matériau s'impose dès l'origine de la conception pour devenir un élément de composition déterminant. Lorsque le concept s'élabore à partir d'une idée de matière, l'imagination de la matérialité s'effectue en fonction d'images mentales qui constituent progressivement l'œuvre à venir. Ces images, propres à l'architecte et à son équipe traduisent des valeurs privilégiées. Elles sont produites en appui à des postures autant artistiques que raisonnées. La majorité d'entre elles participent à construire l'univers culturel que l'architecte échafaude pour bâtir sa conception. Il s'agit bien d'une pré-construction mentale, sans laquelle le projet ne peut pas prendre forme, à l'image de la construction du cintre en bois qui précède celle de l'arc en pierres, construction qui s'efface au cours du processus sans disparaître totalement, laissant la trace immatérielle de son existence antérieure.

2.3. Le matériau signifiant

2.3.1. Résoudre un problème

Dans les différentes démarches que nous venons d'observer, le concept définit la matérialité à des degrés divers, qui varient en fonction des pratiques d'architectes ou de la nécessité des opérations. Pour comprendre mieux ce qui s'opère dans le processus de conception, nous nous référerons aux travaux de Robert Prost sur la conception architecturale (Prost, 1992). Adoptant le modèle qu'il a établi, nous convenons que cette démarche s'apparente au processus cognitif de résolution de problème. Il s'agit « d'atteindre un objectif défini, sans savoir au départ qu'elle est la stratégie la plus appropriée pour y parvenir » (Mattin, 2001). Au cours de la démarche de conception, l'architecte progresse par compréhension successive des problèmes qui se posent à lui, comme autant de représentations mentales qui participent à l'élaboration de la solution finale. Parmi celles-ci, d'aucunes ont trait à la matérialité, comme nous venons de l'exposer avec les différents points de vue des architectes. Nous verrons ultérieurement qu'un certain nombre de ces représentations ont vocation à se transformer en expérimentation.

La formulation du concept d'ordre matériel s'élabore simultanément aux premières mises en forme de la solution architecturale. Les propos des architectes en attestent. Elle prend son origine dans le concept même de la solution globale, condition qui lui confère les caractéristiques de la complexité inhérente au projet d'architecture. Cette condition est centrale dans la définition de la problématique liée à la matérialisation de l'ouvrage. Les solutions d'ordre constructif et matériel sont en interaction constante avec les autres problèmes posés par l'opération. Les questions liées à la matérialisation sont incluses dans le projet global. Elles en possèdent les attributs. Cette caractéristique est fondamentale à prendre en compte lors de l'étude plus spécifique qui porte sur l'expérimentation.

Dans l'ensemble complexe des données du projet, la formulation de la solution architecturale, à l'instar de l'heuristique fins-moyens, s'opère en divisant la formulation du problème en sous-problèmes. La hiérarchie entre les « sous- problèmes » est mouvante ; elle peut se déplacer au cours du processus et n'est pas semblable d'un projet à un autre. Ces fluctuations proviennent des valeurs différenciées des sous- problèmes qui interagissent entre eux.(fig 13).

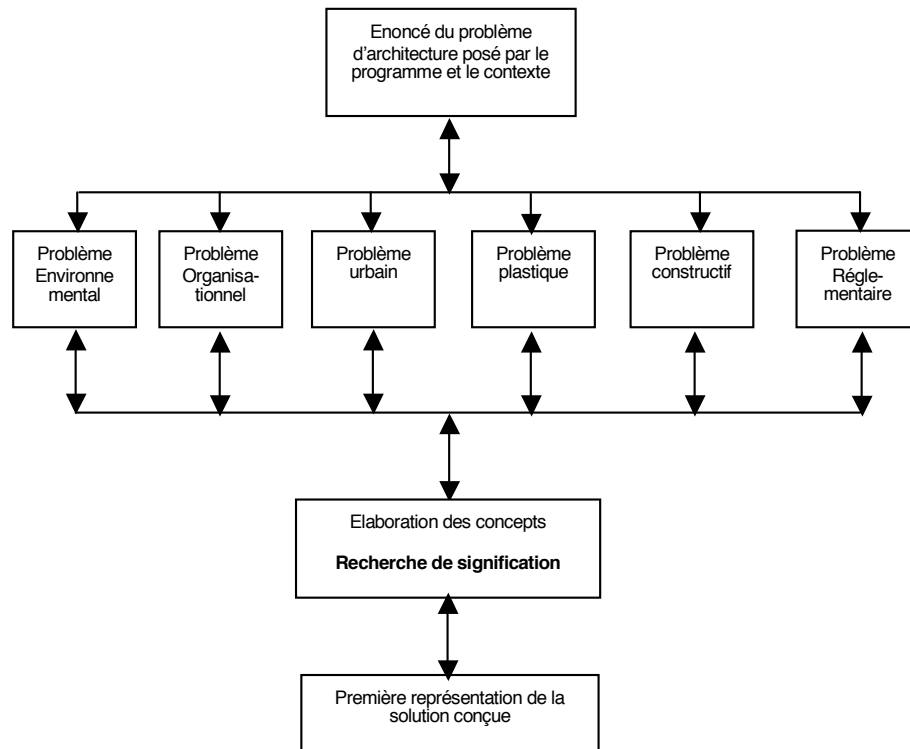


Fig13. Processus de conception comme recherche de solution aux problèmes posés par l'opération d'architecture

Les modes opératoires de l'architecte mettent en relation chacun des sous-problèmes envisagés de manière analytique dans un premier temps, avant de les hiérarchiser lors de la formalisation des concepts du projet. L'un d'eux pourra devenir majeur.

Selon les pratiques, nous avons pu constater que certains architectes court-circuitent l'étape analytique pour pallier aux effets d'une divergence trop forte (masse de problèmes). D'autres choisissent de résoudre les problèmes selon un ordre déterminé.

Quelque soit la méthode adoptée, on constate que les architectes insistent particulièrement sur la signification de leurs choix.

2.3.2. Créer du sens avec des connaissances.

2.3.2.1. Méta-représentation

Limitier le raisonnement conceptuel à la résolution de problèmes est insuffisant car cela ne prend pas en compte la notion d'ouverture inhérente à la conception, qu'elle provienne de l'exploration ou de l'élaboration des nouvelles solutions. Si nous nous référons à la théorie

« C-K », (Le Masson & al, 2006), il convient de s'interroger sur le mode « d'expansion » des concepts, effectué en référence aux domaines de connaissances.

Lorsque l'architecte élabore le concept du projet qu'il étudie, il décrit des intentions (issues de raisonnement), des impressions (issues de désir, de pulsion), parfois des objets en référence à d'autres univers ou d'autres champs de connaissances. Ces descriptions conceptuelles ont pour but et pour effet d'apporter un contenu sémantique aux réponses strictement fonctionnelles. L'énoncé de la proposition conceptuelle se formalise par un ensemble de représentations qui font sens et créent de la valeur. Cette recherche de signification s'intéresse à chacun des sous-problèmes inclus dans l'opération, y compris le problème constructif conceptualisé par la définition de la matérialité du projet.

Les entretiens avec les architectes révèlent comment ils envisagent la matérialité du point de vue de sa signification. Cela procède d'une approche culturelle du projet, y compris dans ses données physiques et techniques. La création de sens agit dans le croisement des paramètres du projet. Elle cristallise les intentions du concepteur en un certain nombre d'images, capables de transmettre, de véhiculer l'identité du projet, identité unique. Le concept est porteur du sens, symptomatique d'une culture à l'œuvre. Il peut être compris comme une méta-représentation d'un résultat souhaité, désiré ou voulu selon que la motivation du concepteur puise dans des références d'ordre sensible ou raisonnées. Il est l'idée vers laquelle tendront les décisions à venir, destinées à réduire l'écart entre cette représentation mentale de principe et les représentations successives qui conduisent le projet vers sa réalisation. Lorsqu'Architecture Studio met en place les codes esthétiques du projet, ces codes jouent le rôle de méta-représentations qui guideront les choix à venir. Le « Decalog », somme d'images mentales définies au démarrage du projet chez RPBW a la même signification. Il provient de définitions destinées à conférer une signification particulière au projet.

Dès le début du projet, il (Renzo Piano) définit un but à atteindre qui correspond à un des éléments fondateurs du projet. C'est une idée qui s'exprime souvent par un sentiment, par un besoin, je dirai sensuel. C'est à partir d'une matière, d'une couleur, d'une vibration, que commence le développement d'un produit. (Paul Vincent à propos de la conception d'un matériau dans le cadre du projet)

[...]. Par exemple, s'il s'agit de l'éclairage naturel dans un musée avec une verrière, nous réfléchissons sur la façon dont on peut faire entrer différemment la lumière : tamisée, discrète, agréable et qui n'endommage pas les œuvres. Ce n'est pas forcément matériel, cela peut être une vibration, une forme de sensualité.

J'aime bien le mot sensualité pour évoquer une matière ; la sensibilité, la sensualité d'un matériau. (idem)

Dans ce dernier exemple, le concept attaché à la lumière du musée, un des éléments du « Decalog » de l'opération, définit des caractéristiques physiques répondant aux critères fonctionnels du programme (ne pas endommager les œuvres), tout autant que des caractéristiques liées à la perception (lumière discrète et agréable) s'adressant à la sensualité de l'objet projeté.

La recherche de signification emprunte des voies différentes selon les architectes et selon les projets, en fonction des chemins critiques tracés dans l'ensemble des paramètres, pour formaliser la conception. Les architectes créent ces significations en puisant dans leurs références et connaissances personnelles, en croisant leurs expériences antérieures, et en ouvrant des horizons.

« Lorsque l'on traduit un programme on a envie de donner du sens, d'apporter au projet une dimension qui est la nôtre » (Jean de Giacinto), c'est-à-dire de créer une valeur, en affirmant comme vrai ou beau, ou bien, les attendus de l'architecture projetée, que cette valeur proviennent de critères personnels ou de critères sociaux.

Dans cette étape de la conception qui consiste à approfondir la sémantique de la matérialité, les architectes procèdent de différentes façons en jouant sur la création du sens. Les uns préfèrent superposer les ordres sémantiques attribués à la matérialité. Cela consiste dans la plupart des cas à enrichir le matériau d'attributs non physiques qui s'opère par ajout ou par déplacement de sens. Dans ce cas, certains jouent sur la bivalence du matériau, entre artefact et nature, entre vrai et faux. D'autres déplacent le sens du matériau en réalisant des transferts d'autres univers techniques ou scientifiques. Enfin, nous avons identifié une troisième catégorie qui consiste à saturer le sens, en ajoutant des références culturelles par exemple. Il s'agit des travaux effectués « à la manière de.. ». Cette saturation du sens est aussi produite à partir des expériences antérieures de l'architecte qui ont valeur de connaissances mises à profit dans la conception.

Nous avons distingué trois types de démarches dans cette recherche de signification à propos de la matérialité du projet :

- L'une porte sur le sens apporté aux matériaux eux-mêmes et crée du sens avec des attributs non physiques.
- L'autre emprunte à des références extérieures, en opérant par détournement ou transfert.
- La troisième se réfère à des expériences et des connaissances antérieures de l'architecte et réalise une saturation du sens.

2.3.2.2. Créer du sens avec des attributs non physiques.

Lorsque l'architecte pense à un matériau lors de l'élaboration du concept, il l'envisage toujours en interaction avec l'espace architectural auquel il est destiné. De ce point de vue, le matériau est identifié dans sa capacité à donner du sens à l'espace projeté, à le doter de significations particulières.

Chaque matière : bois, aluminium, béton, acier, a sa propre identité et l'alliance entre elles relève parfois d'une véritable alchimie. Il nous revient de valoriser cette identité et de savoir habilement les assembler en rapport au concept de départ. Il est important de bien comprendre la subtilité de chacune d'elles et de les définir dans leurs spécificités. Il y a l'identité de poids, de masse, de volume, de densité, de transparence, de lumière... Certaines identités touchent à d'autres sensations telles : la noblesse, la rudesse, l'étrange, l'unique. Tout l'intérêt du projet d'architecture est la mise en scène, en créant un dialogue entre les éléments du projet et leurs propriétés. (Jean de Giacinto).

Jean de Giacinto évoque l'identité des matériaux dans leur capacité à exprimer un langage capable de transmettre à la fois les caractéristiques physiques des composantes de l'espace architectural, comme la masse ou la transparence, et des caractéristiques qui définissent des modes d'appréhension spirituels, comme l'étrange ou la noblesse.

Pascal Rollet place cette signification des matériaux dans l'ordre symbolique, emblématique de figures majeures de l'art de bâtir. Il considère que cela peut être déterminant dans le choix.

Faire un projet en pierres renvoie à des cultures, à une symbolique très forte sur la matière en masse, sur la pérennité, sur la construction séculaire, sur les temples. Faire des constructions en bois renvoie plutôt à des constructions plus légères, à la marine, à une culture plus nordique et en même temps à la cabane, à des objets beaucoup plus transportables, transformables. Voilà comment s'orientent les idées fédératrices du projet, entre l'archétype symbolique et la matière que l'on utilise. (Pascal Rollet)

Pour le musée du cristal à Saint-Louis, cette recherche autour du langage des matières a porté sur le dialogue entre les matériaux qui seront mis en œuvre et la matière des objets à exposer, composante essentielle de l'architecture future même si elle ne participe pas à son édification :

Nous avons beaucoup travaillé sur le rapport entre l'architecture et l'objet de cristal extrêmement fin, transparent, très pur, qui évoque la perfection et l'immense savoir-faire des métiers de la cristallerie, sur le contraste d'échelle entre l'un et l'autre. Nous nous sommes demandés jusqu'à quel point l'architecture devait être détaillée par rapport à ces objets qui, eux, le sont extrêmement.[...] Nous avons

donc opté pour l'inverse, avec quelque chose de frustré. Cela sera une construction en bois massif, brut de scierie, sans détail. (Pascal Rollet)

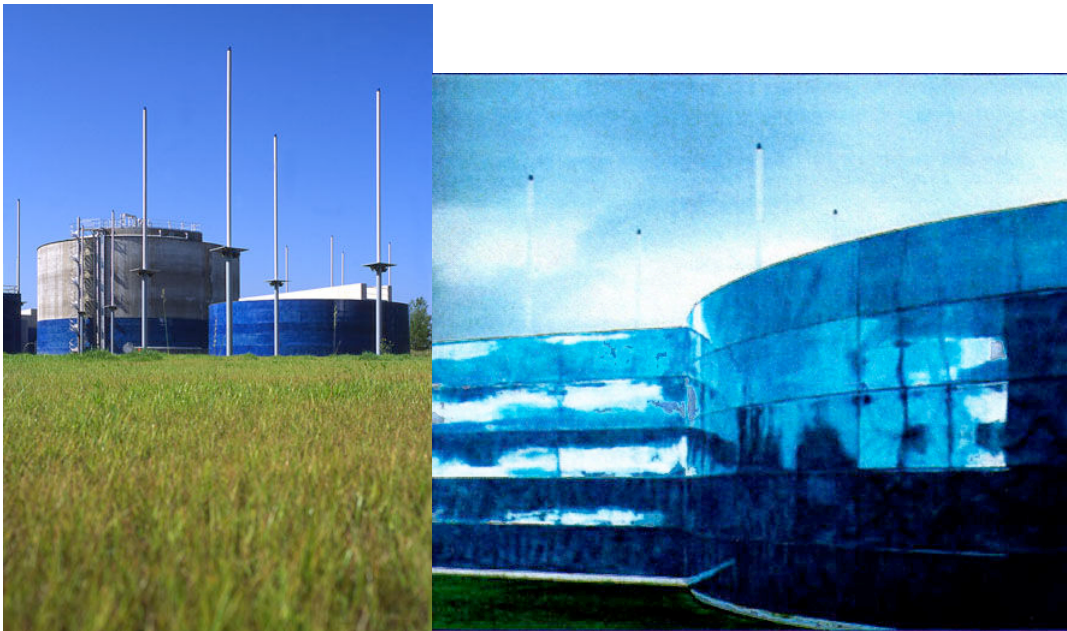
Entre nature et artifice

La création de la signification en cours de projet emprunte parfois à un mode d'élaboration littéraire. La fabrication par le récit en fait partie. Les opérations mentales sont prétextes à des jeux sémantiques basés sur l'addition, le déplacement, ou le dévoiement du sens pour créer à nouveau du sens.

Par exemple, lorsqu'il élabore le concept de l'usine de Bègles pour le traitement des eaux, Jean de Giacinto cherche à rendre perceptible l'élément « eau », objet caché du programme.

J'ai réfléchi à une métaphore de l'eau, en relation avec la fonction de ce bâtiment industriel qui est une station d'épuration. J'ai cherché une peau qui symboliserait la beauté d'un plan d'eau avec ses variations de surfaces et de couleurs. (Photos. N°8 et 9) Cette référence à l'eau qui a été à mon sens magnifiquement interprétée dans ce contexte industriel reste malgré tout un bardage (Jean de Giacinto)

Ce déplacement de sens par la métaphore s'est traduit par une stylisation graphique sur les éléments du bardage qui a instauré une nouvelle signification.



Photos 8 et 9 : Bâtiments de l'usine de traitement des eaux de Bègles (33) et détail du bardage en matériau composite, simulant une étendue d'eau. Jean de Giacinto, architecte [documents fournis par l'architecte].

L'intérêt que Christian Hauvette porte au matériau se place délibérément dans sa capacité à fabriquer le langage de l'architecture :

Je m'intéresse à un matériau dans la mesure où il entre comme constituant de l'architecture, comme constituant des signes qui fabriquent l'architecture, en tant qu'élément, qu'entité. (Christian Hauvette)

Toutefois, lorsqu'il précise les valeurs attachées à cette recherche de signification, qui se synthétisent pour lui dans la notion de vérité constructive, il met en évidence la complexité de cette position. Que signifie un vrai matériau dans le processus de conception architecturale dans lequel l'architecte s'emploie à sur-ajouter du sens, transformant le vrai en faux et vice-versa.

Je pense toutefois, que le bon côté, éternel, de l'architecture, est celui qui s'intéresse à la vérité et qui fonde la psychologie humaine dans l'éternel, dans le vrai. Mais la question se complique car le matériau n'est jamais vrai ; il est à la fois vrai et faux. [...] Ils sont tous fabriqués et ils sont tous sensés signifier autre chose que ce qu'ils sont. Le temple grec, bâti en pierres, représentait des colonnes en bois ou des chapiteaux en feuilles. Les architectes n'ont cessé de donner des qualités au moins doubles aux matériaux, même à l'intérieur de la vérité constructive. (Christian Hauvette).

Lorsqu'il a conçu un bâtiment de bureaux avec le procédé Cibbap, Christian Hauvette a travaillé sur « la masse transparente », détournant le bac acier porteur en l'utilisant dans sa version perforée, réalisant par là même une interprétation double et d'apparence contradictoire de l'élément constructif :

Il n'y a pas très longtemps, nous avons réalisé un bâtiment pour Usinor dans lequel il fallait utiliser un système de palplanches de 15/10° d'épaisseur. [...] Je me suis aperçu que grâce aux perforations des éléments, on pouvait voir au travers. Je lui ai donc proposé (à l'ingénieur chargé du développement) que pour la première fois dans l'histoire de l'architecture, on fasse des murs porteurs et transparents à la fois. (Christian Hauvette)

En résumé, on constate que dans ces démarches destinées à enrichir les concepts de matérialité de nouveaux attributs il est fait référence au « langage architectural » attribué aux matériaux. Cela peut correspondre aux représentations plurielles que l'architecte projète sur le matériau. Cela se traduit aussi par les espaces de connaissances auxquels se réfère l'architecte pour enrichir les attributs du concept. (fig. 14)

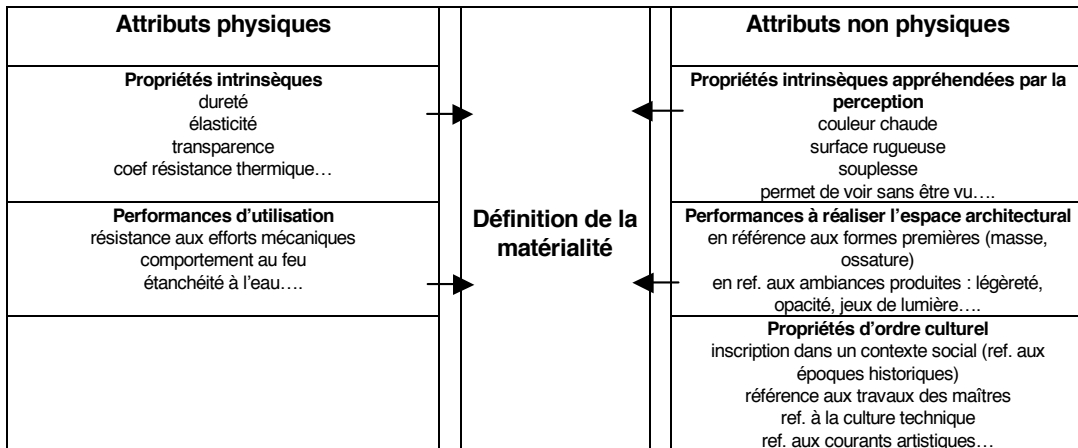


Figure 14 : Enrichissement des attributs du concept de matérialité par référence aux espaces de connaissances des domaines physiques, et non physiques.

L'enrichissement des concepts est une action favorite de l'architecte. Pour y parvenir il sait convoquer des espaces de connaissances variés et inattendus. Il sait aussi emprunter des modes de raisonnement ou des postures créatives particulièrement fécondes à produire la nouveauté ou l'originalité qui peut être recherchée. On assiste à un jeu sur le sens, qu'il soit détournement, transfert ou saturation.

2.3.2.3. *Détournement et transfert.*

Le travail sur le déplacement du sens des objets, par le détournement notamment, s'opère avec l'observation d'autres domaines techniques ou scientifiques. L'imaginaire de l'architecte est souvent fasciné par la production des objets techniques comme les navires, l'automobile, voire l'aérospatiale. On constate que cette opération correspond à un transfert d'images qui se transforme souvent en un transfert de technologies. Cet emprunt à d'autres domaines que ceux du bâti pour imaginer les formes architecturales et leurs caractéristiques a toujours existé. Les anciens observaient la nature et les formes complexes qu'elle produit comme source d'inspiration pour la conception de structure, d'ornement, voire de systèmes de composition notamment géométriques et dimensionnels.

Les théories de la cognition définissent ce mode de raisonnement comme **analogique**.

Pour Jean De Giacinto, par exemple, l'imaginaire lié aux constructions navales est indissociable de toute la recherche technique qu'il a effectué ultérieurement sur l'utilisation des composites dans l'architecture.

Le composite utilisé dans l'architecture navale donne l'image d'un matériau qui fusionne avec le vent, l'eau, l'air, et de surcroît inaltérable. Je ne suis pas navigateur mais cette image m'a toujours inspiré et fait rêver. (Jean De Giacinto).

Ce mode de création est assez fréquent chez les architectes et souvent partagé par les ingénieurs. L'exemple de la conception du système de fixation des parois vitrées des serres de La Cité des Sciences et de l'Industrie par RFR, en est un exemple magnifique. Sans la référence à l'architecture navale, autant imagée que technique, le judicieux système de poutres au vent souples n'aurait pas été inventé. On peut constater que le transfert de techniques est une source d'inspiration telle qu'il s'érige presque en méthode formalisée pour atteindre l'innovation. E. Combarel par exemple explique comment ils sont conduits à rechercher des matériaux innovants dans des domaines différents de celui du Bâtiment lorsqu'ils n'y trouvent pas de réponse à leurs attentes.

Face à cette situation, (la difficulté à trouver des réponses innovantes dans les produits du Bâtiment) nous avons une réponse, que nous utilisons le plus souvent. Cela consiste à aller voir ce qui se passe à côté, dans le monde du vêtement, de l'automobile par exemple. Dans des domaines d'activités connexes où il y a des mises en œuvre de matériaux intéressantes. Actuellement on travaille avec des peintures qui diffractent la lumière. Ce sont des peintures utilisées au départ par des gens qui faisaient du tuning automobile, qui s'amusaient à peindre leur voiture avec des peintures diffractantes, irisées. (Emmanuel Combarel).

Cette quête de matériau à même de créer les significations recherchées pour le projet est du même ordre chez Pascal Rollet :

Par exemple, lorsque nous avons utilisé les films dorés aux Grands Ateliers, nous étions à la recherche d'un matériau extrêmement économique, qui filtre la lumière sans être opaque, et qui ait un rendu de façade, avec une matière. On avait vu tous les systèmes de stores intégrés, le cool shed, les mailles métalliques très à la mode à l'époque. On connaissait tous les systèmes de stores et d'écrans, mais rien ne nous satisfaisait. J'avais en tête quelque chose qui fasse penser aux couvertures de survies ou plutôt aux protections des satellites contre les radiations solaires, une espèce de papier doré. En visitant le salon des composites, je suis tombé par le plus pur hasard sur le stand d'un importateur marseillais d'un film doré, dérivé de ceux de la Nasa. Il le proposait pour faire du pseudo verre réfléchissant en le collant derrière un vitrage. Simultanément à cette recherche, nous avons vu une exposition d'Issey Miyaké au Japon sur le tissu en plis. Il montrait des vêtements plissés, froissés, à partir de couvertures ignifugées,

métallisées. En voyant toutes ces images, nos idées se précisaient. (Pascal Rollet)

Dans cet exemple, la recherche sur la signification du composant d'enveloppe (filtrer sans être opaque et posséder un rendu de matière, une texture), fait appel à deux modes opératoires. L'image mentale attachée au concept oriente la recherche vers des matériaux d'autres domaines (couvertures de survie, réflecteur de l'aérospatiale). On assiste ici à un détournement de matériaux, tel qu'il est fréquemment effectué. De plus, le travail sur le concept est enrichi de références à un artiste styliste qui travaille les plissés, Issey Miyake. Le détournement d'un matériau mis en œuvre selon les modes opératoires utilisés par un styliste (autre forme de détournement) a permis aux architectes d'atteindre les objectifs conceptuels qu'ils avaient formulés pour ce composant d'enveloppe en cours d'étude.

2.3.2.4. Saturation du sens

Ajout de références

Le savoir-faire de l'architecte s'élabore à partir de la connaissance d'architectures existantes, constituantes du savoir architectural. La référence à une quelconque de ces architectures est constante, l'invention totale étant exceptionnelle. Ce phénomène est récurrent dans toutes les formes de création, qu'elle soit musicale, picturale, architecturale. Le plus souvent implicites mais aussi avouées dans le cas d'une conception « en hommage », ces références sont puisées dans les connaissances préexistantes de l'architecte qui opère une appropriation de l'ensemble sémantique du créateur auquel il fait référence, forme d'adhésion aux valeurs de l'autre.

Transformer cette étendue de béton en une espèce de peau avec laquelle on joue. C'est un hommage à un groupe d'architectes qu'on aime bien. SITE. (Emmanuel Combarel). (Photo N°10)



Photo N°10 : Groupe Site (James Wine - né en 1932) : Notch Showroom de la chaîne de magasin Best, à Sacramento en Californie (1977) Source de l'image : L'architecture du XXe siècle - Taschen (1991)

Nous cherchions à faire une poutre comme ça, en hommage à Sol Lewitt. On voulait la faire souple. C'est un banc. Quand on s'assoie il accepte des petites déformations. (Luc Boulais). (Photos. N°11 et N°12)

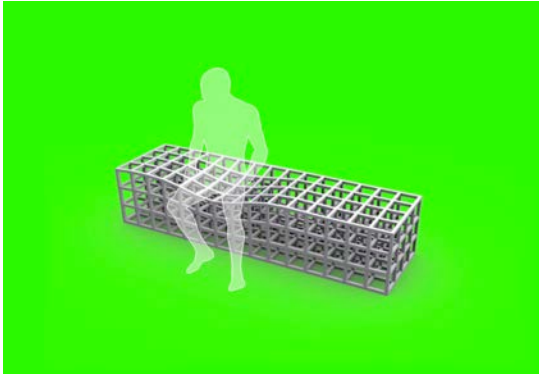


Photo N°11

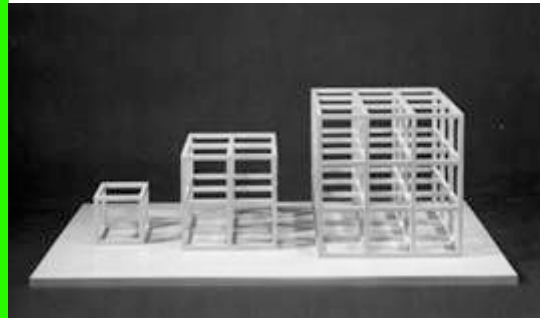


Photo N°12

Photo N°11 : projet de banc, à la manière de Sol LeWitt. Luc Boulais, architecte

Photo N°12 : Sol LeWitt . Œuvre intitulée « 1,2,3 » (1978)

Source : <http://www.lacavernadeplaton.com/imagesbis/0405/estrategias0405/image015.jpg>

Expériences antérieures

Le concept peut s'élaborer aussi à partir de raisonnements construits à partir d'expériences antérieures, ou de savoirs constitués par la pratique. Cette démarche qui s'apparente à un développement déductif a capacité à créer une signification nouvelle comme le montre Jacques Ferrier lorsqu'il évoque la conception de la tour bioclimatique .

J'avais une idée assez précise qui consistait à démontrer qu'une tour peut être une bonne réponse à la ville durable. J'en étais convaincu, fort des recherches que nous avons faites auparavant. Plutôt que de concevoir la tour comme une grande sculpture, il me semblait intéressant d'y chercher une réponse à l'accroissement des villes, en proposant des logements, des bureaux, sans consommer trop d'énergie fossile. A partir de ce concept de départ, avec l'ingénieur Jean Marc Weill, nous avons réfléchi à ce que cela signifiait du point de vue architectural.

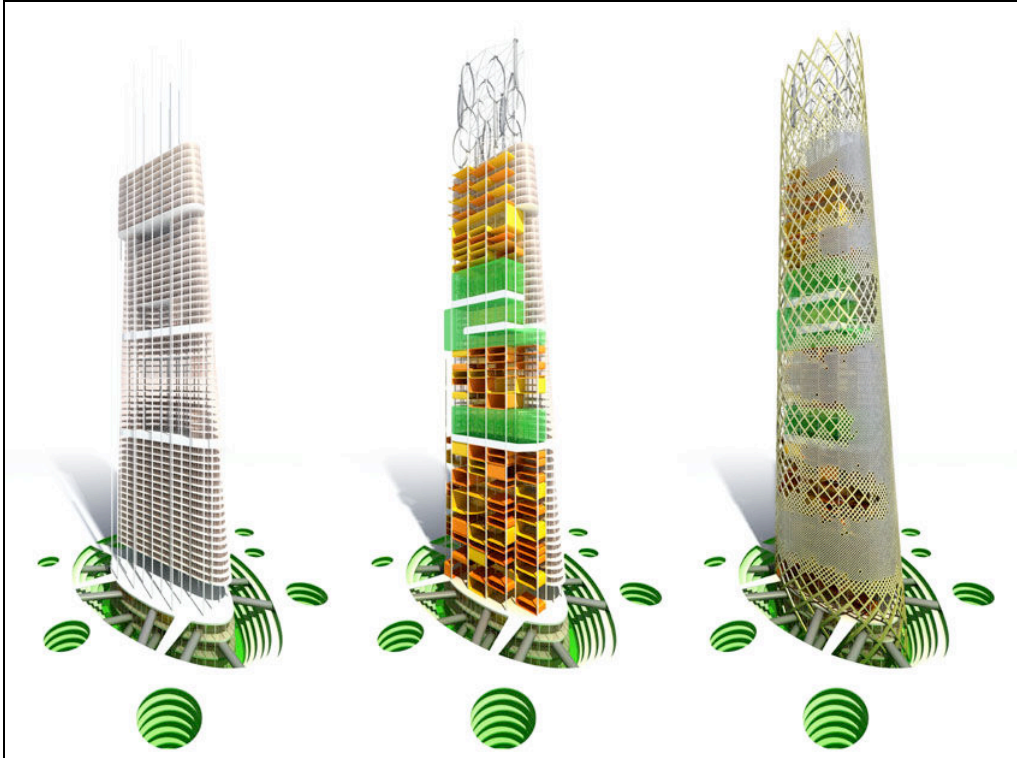


Photo N°13 : Projet de la tour bioclimatique « Hypergreen ». Jacques Ferrier, architecte. [document fourni par l'architecte]

La première idée qui s'imposait à moi, très forte, consistait à envisager une tour orientée, imaginant tout simplement la façade sud différente de la façade nord : la façade sud se ferme, se protège du soleil, et la façade nord peut s'ouvrir largement. [...] Nous avons donc imaginé une résille climatique aux perforations variables et presque immédiatement, nous avons pensé qu'il n'était pas possible qu'une résille de cette taille, de cette échelle, ne soit qu'un habillage. Pour éviter que le coût porte uniquement sur le rôle climatique, nous avons cherché à ce que la résille puisse aussi jouer un rôle structurel. Et la belle idée s'est synthétisée sur ce concept. Cette mantille climatique qui enveloppe la tour est conçue et dimensionnée pour servir de contreventement horizontal du bâtiment, pour répondre aux contraintes sismiques et au vent. Par cette conception, la structure intérieure est considérablement soulagée et peut être envisagée en préfabrication car elle n'a plus à supporter les efforts horizontaux. La résille extérieure devient à la fois climatique et à la fois structurelle. (Jacques Ferrier). (Photo N°13)

Ce travail d'élaboration conceptuelle, créateur de sens, est dans un premier temps, origine de la signification, identitaire du projet, pour devenir objet d'étude, support de création de sens à nouveau. Le concept de tour orientée chez Jacques Ferrier se traduit par une enveloppe dotée d'une résille climatique qui devient elle-même composant à vocation plurielle : brise-soleil à maille variable, support de dispositifs énergétiques et structure partielle. Ce type de raisonnement est typiquement pourvoyeur d'innovation, entre concept et connaissances.

2.4. Modéliser l'émergence de la matérialité dans la conception

En conclusion de cette première partie du développement dévolu à l'examen des modes opératoires employés par les architectes pour faire intervenir les matériaux dans le processus de conception, nous avons identifié deux modes conceptuels différents.

Cette première étape au cours de laquelle la matérialité est définie dans la démarche de conception, répond en partie aux problèmes posés par le programme de l'opération et exprime le sens et les valeurs sur lesquels se fonde le projet.

L'un des modes conceptuels identifiés met en œuvre un circuit conceptuel court. Il est modélisé figure 15.

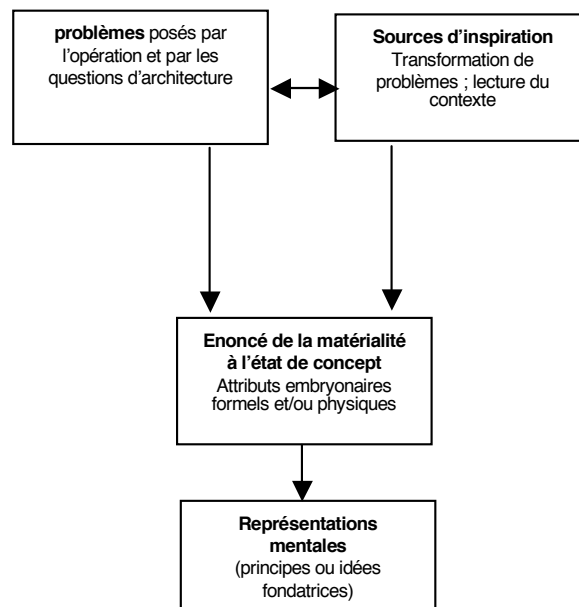


Figure 15. Mode conceptuel d'introduction de la matérialité. Circuit court.

Pour réaliser ce télescopage entre problèmes et concepts, l'architecte a recours à des sources d'inspiration avec lesquels il énonce quelques principes fondateurs qui inaugurent la mise en matière de l'artefact. Ces premiers principes ont une valeur semblable à l'esquisse à main levée qui préfigure la forme de l'édifice. Cela peut être une impression liée à la perception matérielle, un choix de matériau, un jeu conceptuel avec les matériaux du site. Ce sont des attributs embryonnaires de définition des matériaux ou de leur mise en forme. On peut remarquer que ce **raisonnement de type inductif** opère une sorte de court-circuit dans la mobilisation des données qui a pour effet de produire un processus plus court.

L'autre mode conceptuel fait appel à un raisonnement logique qui apporte des réponses progressives aux différents problèmes posés par le programme. L'apparition des matériaux en est déduit. (figure 16)

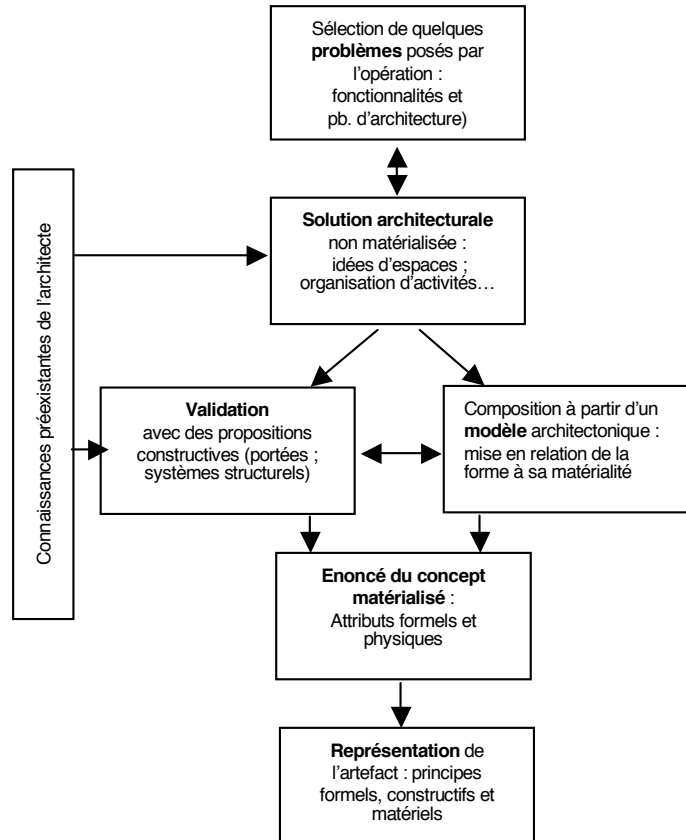


Figure 16. Mode conceptuel d'introduction de la matérialité. Processus long.

Dans ce cas, les premiers concepts élaborés définissent des principes d'architecture en dehors de toute matérialité. Ces principes sont ensuite confrontés à des propositions constructives qui permettent de valider leur pertinence. Ce mode opératoire correspond à la conception de l'ingénieur. Il fait appel à un **raisonnement déductif**.

Un autre moyen consiste à confronter les principes à des modèles architectoniques qui permettent de mettre en relation une idée de forme avec des principes constructifs. Le concept se matérialise progressivement, matériau et mise en œuvre opérant comme des moyens techniques au service d'idées d'architecture préalablement énoncées.

Nous avons par ailleurs constaté que les premières formulations de la matérialité de l'artefact ont pour objectif d'ajouter des significations qui sortent des limites des définitions techniques ou scientifiques du matériau. Ce sont des moyens d'exploration qui jouent de rôle

de meta-représentation, référence à partir de laquelle seront évaluées les représentations ultérieures de l'artefact.

Enfin, il apparaît important de revenir sur le fait que les représentations mentales relatives au matériau sont toujours envisagées comme une partie du tout qu'est le projet. Cette appartenance à la globalité du projet est fondamentale et spécifique.

Elle est spécifique, parce qu'elle est caractéristique d'un processus qui fait intervenir de nombreuses données étrangères les unes aux autres. La démarche architecturale est probablement la conception la plus symptomatique de ce mode conceptuel.

Elle est fondamentale, parce qu'elle attribue à la matérialité une complexité féconde, issue des croisements entre divers paramètres, potentiellement porteuse d'innovation. En effet, la finalité du projet architectural est de donner une existence matérielle à un objet mental dont la forme et les attributs apportent une réponse unique à l'ensemble des problèmes que le projet doit résoudre. Cette particularité a pour effet de conférer à chacune de ses parties, la complexité globale du projet synthétisée dans le concept, ou les concepts, selon qu'on l'envisage comme un tout ou une somme de parties. Par analogie à l'organisme vivant dont les cellules sont marquées par le même capital génétique, tout en possédant une fonctionnalité spécifique les parties de l'édifice à venir, les éléments de l'artefact sont chargés de la complexité du projet dans toutes ses dimensions.

Dans le champ de la matérialité, ce processus conceptuel conduit vers la matérialisation, ou la concrétisation qui a pour objectif d'incarner l'idée.

Rappelons les propos de Jacques Ferrier concernant la réalisation de laboratoires en briques. Alors que le projet était encore très peu formalisé, l'idée de l'utilisation d'un matériau s'est imposée. Il précise que ce choix s'est opéré par rapport à une situation précise, faisant référence à l'histoire d'un lieu en cours de disparition. Ce choix qui, initialement signifiait la volonté de préserver une mémoire collective, a guidé la réalisation de l'enveloppe des bâtiments, séquence constructive qui manifeste l'édifice dans sa relation à l'environnement urbain. Dans cet exemple, on comprend que la représentation mentale initiale formulée par la volonté d'une architecture en briques traduit à la fois une option technique, un parti urbain et une conscience collective liée à la mémoire sociale. Cette faculté conceptuelle qui vise à croiser des paramètres d'origine différente est potentiellement génératrice de nouveauté. Il nous intéresse de comprendre comment cette démarche peut se transformer en expérimentation dans la phase de matérialisation.

3 Le besoin d'expérimenter

3.1 De la matérialité à la matérialisation

3.1.1 *Les états de l'élément de matérialité.*

Le développement du processus de conception de la matérialisation se réalise avec la phase « d'embodiment » au sens employé par les ingénieurs (Pahl et Beitz, 1984). Nous avons pu constater qu'il a été nécessaire de revenir sur la phase de conception antérieure, du fait que les architectes expriment le besoin de recourir à des concepts précurseurs de la matérialisation. Cette nécessité provient de la nature des représentations mentales que l'architecte élabore à propos des matériaux et de leur mise en œuvre. En effet, par définition, l'architecte est un agent « utilisateur » ou « applicateur » du matériau. Ce type d'action lui demande de connaître le matériau dans son état d'utilisation. Mais pour appliquer un matériau, il faut en connaître les caractéristiques intrinsèques et son potentiel à construire un ouvrage. Par conséquent, lorsqu'il conçoit la mise en matière de l'édifice et qu'il en imagine les effets, l'architecte se réfère à des connaissances plurielles du matériau, capables de le définir aux différents états de son cycle de vie, de sa fabrication à ses applications.

Considérons que les éléments de la matérialité de l'architecture possèdent une double réalité physique, selon qu'on les appréhende comme partie du tout qu'est l'édifice, ou comme éléments du système de fabrication qui a présidé à son élaboration. Il convient aussi de l'appréhender dans sa phase ultime, de disparition suite à la démolition de l'œuvre, pour envisager sa capacité à se réintroduire dans un nouveau cycle de production.

Ces différents points de vue sur la réalité du matériau participent à définir **les critères** avec lesquels l'architecte définit ses **performances**.

Pour détailler cet aspect de la connaissance auquel l'architecte se réfère, examinons les différents aspects à prendre en compte au cours de ces étapes de transformation. (voir figure 17).

Remarque : nous évoquons ici « **l'élément de matérialité** » car nous faisons référence à une réalité non définie qui peut aussi bien être matière, matériau, composant, partie d'ouvrage, produit, voire, déchet.

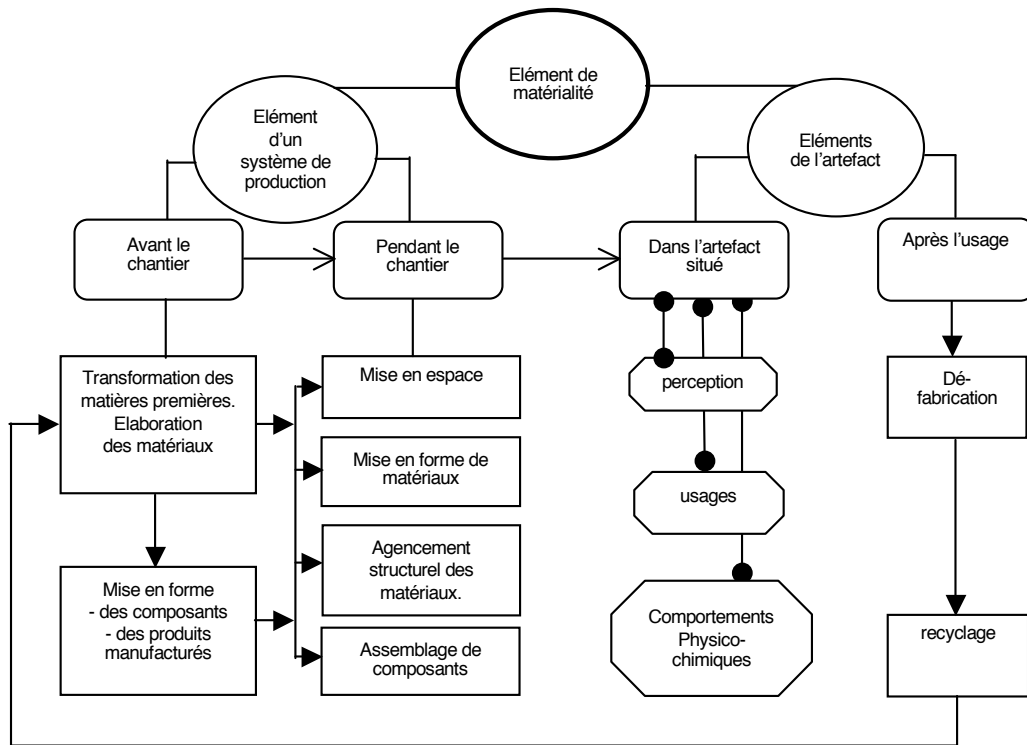


Fig.17. Etats successifs de l'élément de matérialité dans le cycle de vie de production d'un édifice.

Les flèches \longleftrightarrow représentent l'enchaînement des étapes du processus.

Les flèches \rightarrow représentent l'enchaînement des modes opératoires.

Les flèches $\bullet\longleftrightarrow\bullet$ représentent des liaisons « actions-réactions », entre les éléments de matérialité et leur environnement, physique et humain.

3.1.1.1 Éléments , partie de l'édifice construit.

La finalité de la fabrication de l'architecture est l'œuvre achevée, appropriable et consommable, au sens donné à l'habitat par Leroi Gourhan (Leroi Gourhan,1973) . Cet objectif d'utilisation détermine l'ensemble des caractéristiques de l'édifice bâti, et de ses éléments, en lui octroyant les raisons de son existence. La conception architecturale ayant pour mission de faire exister l'édifice en l'imaginant, on comprend que l'étude de la matérialité en situation d'utilisation soit fondamentale pour l'architecte. Le projet construit les représentations mentales qui précèdent la réalité. Élément constituant d'une œuvre en projet, destinée à être utilisée, il est considéré comme objet de perception d'une part et comme objet d'usage d'autre part. Il doit répondre à un certain nombre d'attentes et de besoins humains auxquels l'architecture fera écho. Par ailleurs, la situation de l'élément de matérialité en utilisation, le place en relation avec un environnement physique qui tend à le modifier. Il s'agit de préserver ses caractéristiques initiales, en anticipant le comportement de chacun des éléments vis-à-vis des agressions auxquels ils peuvent être soumis.

3.1.1.2 L'élément en contexte

Critères architecturaux

Lorsque l'élément de matérialité est envisagé comme partie de l'établissement humain, il est caractérisé par des critères établis en regard de leurs capacités à être appropriés ou perçus, comme par exemple :

- rendre possible une activité, telle la dimension de la charpente d'une halle de marché ou d'un gymnase (satisfaire à l'abri).
- Offrir du confort, tel l'apport de lumière, la protection de nuisances sonores (améliorer l'abri).
- Susciter des émotions en référence à des valeurs esthétiques (critères culturels)
- Provoquer l'adhésion ou la reconnaissance en référence à des symboles (témoignage de civilisation)...

Ces critères s'apprécient en référence à deux champs de connaissances. Du point de vue des sciences exactes, ce sont des critères quantifiables avec des unités de mesure : le mètre mesure la portée d'un franchissement, le lux mesure le niveau d'éclairage d'un espace intérieur, le décibel mesure le niveau sonore... .

Parallèlement, l'architecte apprécie la matérialité avec des critères qualitatifs qui font intervenir des postures artistiques, empruntant aux univers plastiques ou littéraires, destinées à introduire du sens. Sensibilité, voire sensualité mais aussi spiritualité sont convoquées parallèlement aux raisonnements. Ainsi, la dimension s'enrichit de proportions harmoniques, le flux lumineux devient brillant, tamisé ou mystérieux. La valeur culturelle s'introduit dans l'édifice, celle par laquelle l'émotion arrive, celle qui témoigne d'une civilisation, celle qui produit l'architecture et pas simplement la construction.

Critères liés aux comportements des matériaux

Lorsque l'élément est envisagé en réaction à l'environnement physique, son comportement en œuvre figure dans les préoccupations conceptuelles de l'architecte, avec un double objectif :

- celui de concevoir une architecture capable d'assurer de façon durable les fonctions et services qui lui ont été attribués,
- mais aussi celui de répondre aux exigences réglementaires.

Placé en situation d'utilisation, le matériau ou le dispositif technique confère à l'ouvrage des performances qui se traduisent par des phénomènes physiques, appréciables par l'expérimentation et les calculs. La somme de ces performances, établie dans le cadre du projet architectural, définit les caractéristiques de l'édifice à venir. Par exemple, tel plancher résiste à telle charge pour telle utilisation, tel système d'aération assure tel renouvellement

d'air pour telle occupation, telle menuiserie résiste à telle force de vent pour telle région, etc... . Chaque élément de matérialité du projet est ainsi conçu pour des usages et pour un contexte imposé par l'opération. De ce fait, la description des caractéristiques du matériau s'effectue par rapport **aux attributs de l'ouvrage fini (simulé)**.

Le comportement des matériaux doit aussi être apprécié en fonction des modifications de l'environnement afin que les ouvrages soient garantis de pérennité quelles que soient les circonstances, en particulier les risques encourus. A cette réalité technique du maintien des caractéristiques de l'ouvrage, s'ajoute une réalité juridique de garantie contractuelle des ouvrages. L'architecte engage sa responsabilité personnelle vis-à-vis de la pérennité de l'édifice par l'intermédiaire de son assurance professionnelle. En conséquence, le mode d'établissement des contrats et les garanties demandées jouent un rôle important dans la conception de la matérialité du projet. Pour satisfaire aux demandes de garanties, le projet doit être conforme aux prescriptions réglementaires et normatives qui régissent la construction d'un bâtiment. Cette demande de conformité est centrale pour les choix techniques expérimentaux.

En résumé, les représentations mentales de l'élément de matérialité en tant que partie de l'édifice simulé dans son achèvement, sont utiles à la formulation des attributs des éléments conçus, quelle que soit leur échelle. La définition de ces **attributs** permet d'établir les **performances** attendues.

3.1.1.3 Eléments, parties d'un système de fabrication.

Pour se représenter l'élément de matérialité en tant qu'entité du système de fabrication, l'architecte fait référence à deux champs de connaissances :

- l'un théorique constitué par les connaissances qu'il a acquises au cours de sa formation, réactualisées au gré de ses besoins et de son attirance personnelle.
- L'autre, constitué de connaissances appliquées, acquises par l'expérience professionnelle au cours des projets auxquels il a participé.

Lorsqu'il se réfère au deuxième champ de connaissances, il entre en dialogue avec les savoirs de l'entreprise qui fabrique. Mais la complexité de la construction contemporaine produit une dispersion des opérations de fabrication auprès de métiers qui se modifient (voir chapitre 1). Il s'agit donc de s'adresser à des entreprises de caractère très divers, tant par leurs capacités de production que par leur mode d'organisation.

Dans le développement de notre recherche, nous allons mettre à jour les méthodes employées par les architectes pour expérimenter avec les matériaux et leur mise en œuvre. Nous pourrions constater que cette opération s'effectue avec tous les acteurs présents dans

la fabrication de l'édifice, tantôt avec ceux qui sont présents sur le chantier, tantôt avec ceux qui fabriquent en amont. Ces variations s'effectuent au gré des besoins de la conception.

Pour préciser l'intervention de l'architecte auprès des entreprises, détaillons le circuit du matériau entre les acteurs en présence.

Du point de vue de l'intervention des acteurs dans le processus, la conception de la construction qui prend origine dans la conception architecturale est en relation avec les industriels fabricants de matériaux et les entreprises de chantier, par l'action de conception de la mise en œuvre d'une part et de prescription des matériaux d'autre part. (fig.18)

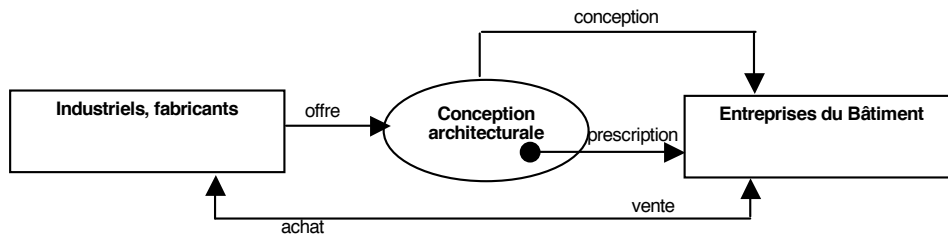


Fig. 18. Processus de conception-fabrication de l'architecture : circuit du matériau

Ainsi, le circuit du matériau dans le processus :

- prend son origine dans l'offre effectuée par l'industriel vers l'architecte. Elle est formulée par la définition des caractéristiques du matériau, de son comportement, de sa capacité à satisfaire aux règlements en vigueur et de son coût.
- Il est prescrit par l'architecte qui opère un choix en fonction de critères qui lui sont spécifiques.
- Sa mise en œuvre dans l'espace (conception de la mise en œuvre) est définie par le projet architectural, préalable indispensable à l'exécution des ouvrages par les entreprises de chantier.
- En phase de réalisation, il est acheté par l'entreprise de chantier aux industriels fabricants.

En cas d'expérimentation sur les matériaux, les relations entre les acteurs sont modifiées (fig.19).

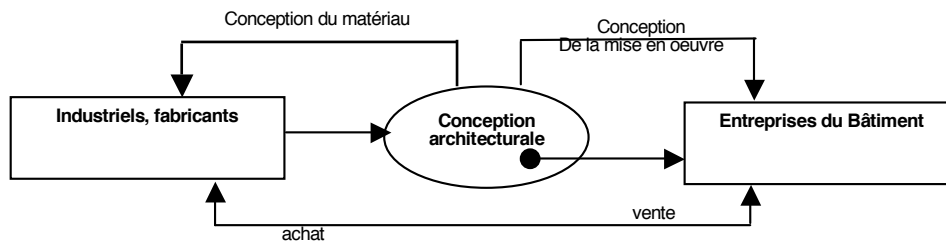


Fig. 19. Processus de conception-fabrication de l'architecture : intervention de l'expérimentation sur le matériau.

Plutôt que de prescrire un matériau, l'architecte s'associe à l'industriel pour le concevoir. L'offre de l'industriel s'enrichit de cette conception nouvelle, créatrice d'innovation.

Le chapitre suivant examine les conditions d'apparition de ce type d'expérimentation – innovation, au sein du processus de conception architecturale.

3.2 concevoir la matérialisation

La conception de la matérialisation tend à réduire l'écart entre le concept élaboré du point de vue de la matérialité et les solutions que les acteurs de la matérialisation sont capables de fabriquer. Elle s'effectue en confrontant le désir de matérialité aux potentiels fournis par la production.

Dans le cas précis du travail conceptuel sur le matériau, objet de cette recherche, on peut considérer que l'architecte interroge l'univers matériel selon deux approches. Pour spécifier le matériau, il peut adopter les modes d'action suivants :

- l'un vise à **concevoir avec le matériau** de nouvelles mises en œuvre, en s'appuyant sur ses caractéristiques. Le matériau est induit.
- l'autre a pour objectif de **concevoir un ensemble constructif**. Celui-ci peut être une structure, une enveloppe, un dispositif de contrôle des ambiances... . Le matériau est déduit. Ces deux modes d'action sont détaillés au chapitre 2 (2.4).

Ces deux approches sont constamment liées. Le choix du matériau est destiné à s'intégrer à un ensemble constructif, et l'ensemble constructif acquiert son existence physique avec les matériaux qui entrent dans sa fabrication. Bien que ces deux aspects de la conception soient en interaction constante, leur importance varie selon les approches des architectes et selon les projets.

3.2.1 *Bottom up or Top down*

Dans un cas, le processus cognitif est **ascendant** : le raisonnement s'élabore à partir des connaissances du matériau. Dans l'autre cas, il s'agit d'un processus **descendant**. La matérialisation se concrétise par une étape intermédiaire qui consiste à concevoir le principe constructif de l'ouvrage. Cette étape est une construction mentale qui commande le choix ultérieur du matériau destiné à répondre aux caractéristiques de la construction.

Examinons avec deux témoignages de conception différente comment ces méthodes s'appliquent en réalité.

3.2.1.1 *Concevoir à partir des caractéristiques de la matière.*

Lorsque l'étude du matériau, choisi pour son aptitude à satisfaire au concept de la matérialité préalablement défini, est déterminante dans la conception de la matérialisation, la

démarche de l'architecte peut aller vers une exploration approfondie des potentialités d'une technologie. C'est le cas de Jean de Giacinto avec les matériaux composites.

Personnellement, le matériau composite a suscité une curiosité que j'ai expérimenté dans la réalisation de nombreux ouvrages, et l'intérêt de celui-ci fut aussi de le développer, de l'associer, de le mettre en œuvre avec d'autres matières et vers d'autres domaines : le mobilier urbain par exemple. Il y a encore une dizaine d'années, très peu de projets utilisaient le matériau composite en œuvre. Aujourd'hui, il se manifeste davantage dans notre quotidien et se développe de plus en plus. [...] Ces nouveaux matériaux permettent de répondre, au-delà de l'esthétique qu'ils peuvent apporter, à des exigences de durabilité et de résistance. (Jean De Giacinto).

Pour Jean De Giacinto, l'intégration des matériaux composites dans certains de ses projets a ouvert des horizons dans sa démarche conceptuelle, renouvelant les capacités d'expression des enveloppes ou de revêtements intérieurs, rendant tangibles les métaphores qu'il se plaît à formuler dans l'énoncé du concept. Cette démarche procède d'une longue recherche dans laquelle ses connaissances sur le matériau et ses capacités à réaliser des ouvrages d'architecture progressent régulièrement. Cette curiosité de l'architecte à l'égard de ces matériaux nouveaux, initiée par une attirance esthétique forte, l'a conduit, à chaque fois que le projet le permettait, à explorer de nouveaux potentiels expressifs autorisés par la mise en œuvre de la matière.

3.2.1.2 La construction précède le matériau.

Dans d'autres cas, la conception de l'ensemble constructif précède le choix du matériau qui n'existe dans un premier temps que par une somme de caractéristiques et non par une identité.

C'est bien dans la mise en œuvre qu'on obtient des variations sur ce qu'offre le matériau. Je pense que nous avons un processus de conception qui commence par l'établissement du projet, avec une esquisse etc... La réflexion sur le matériau vient ensuite, en réponse aux idées formulées auparavant. On précisera une volonté de matériaux réfléchissants ou mats, plutôt des masses, plutôt des opacités ou bien au contraire plutôt des choses vitrées, très vitrées. Et nous réfléchissons aussi au choix des matériaux en fonction de leur pérennité. C'est un des points essentiels. (Michel Delplace. ANMA)

En évoquant les modes de conception de l'agence Nicolas Michelin, Michel Delplace montre comment les modes de composition se mettent en place, privilégiant les transformations sur

la matière, obtenues par la mise en œuvre des éléments lors de la construction, en réponse aux premières formalisations architecturales qui apparaissent dans l'esquisse du projet. Les matériaux sont décrits en termes performantiels, comme une capacité de la matière à répondre aux impératifs du projet. La réflexion sur la matérialisation reste abstraite, détachée du matériau dont le choix est reporté à une étape ultérieure de la conception.

Dans l'approche ascendante, l'architecte focalise la démarche conceptuelle sur le matériau dont le potentiel est exploré dans sa capacité à réaliser l'ouvrage. Dans l'approche descendante, l'architecte privilégie la conception de la construction, celle qui planifie l'agencement et l'assemblage des parties d'ouvrage entre elles. Potentiel expressif versus rationalité constructive : l'élaboration du mode d'expression de l'architecte n'est-il pas à l'ombre de cette option ? Fermons la parenthèse de cette considération qui déborde de cette recherche.

Ces deux grandes familles d'approche de la conception de la matérialisation prennent ancrage dans le processus conceptuel, avec les différents acteurs de l'univers matériel, tels que nous les avons définis précédemment. Dans un cas la matérialisation s'opère à partir des connaissances des métiers du chantier, plus proches des principes de la construction. Dans l'autre cas, il s'agit de concevoir à partir des modes de transformation proposés par les fabricants ou les pré-fabricants.

Nous détaillons ces deux types de démarches.

3.2.2 Concevoir la matérialisation en fonction des opérations effectuées sur le chantier

D'une manière générale et traditionnelle, l'architecte envisage la concrétisation de la solution architecturale avec la conception du projet constructif. C'est en définissant le projet constructif que l'architecte informe les entreprises chargées du chantier des caractéristiques des ouvrages à construire. Cette conception fait interagir plusieurs aspects de la conception qui correspondent à des champs de connaissances différents.

Dans un premier temps, la conception porte sur la caractérisation de chaque organe de la construction et la façon dont ils sont assemblés entre eux. Ainsi, la structure est pré-dimensionnée en fonction des caractéristiques des matériaux, qu'ils soient ou non choisis, les enveloppes sont définies dans leurs performances thermiques et leur résistance mécanique etc... . L'essentiel des caractéristiques physiques de l'édifice est déterminé par la façon dont les matériaux sont assemblés ou mis en forme, qui pour constituer une structure, qui pour assurer une étanchéité, etc... . Parallèlement à ces définitions qui sont établies en

conformité aux règles de l'art de bâtir, la référence à la matérialité à l'état de concept (que nous avons définie comme une méta-représentation) agit comme un catalyseur qui incite à rechercher la solution technique qui permettra de s'en rapprocher au mieux. L'architecte est ainsi constamment en négociation mentale, entre les attendus définis par le concept et la réponse correcte au contexte physique, technique et réglementaire.

Dans un deuxième temps, la conception des ouvrages est confrontée aux modes opératoires des entreprises et à leurs capacités de fabrication.

3.2.2.1 Assemblage des éléments.

Lorsqu'il conçoit la fabrication d'un ouvrage, l'architecte active plusieurs registres de connaissances, visant à mettre en relation la bonne mise en œuvre avec le bon matériau. Christian Hauvette explique, avec l'exemple de la conception de la paroi intérieure située dans le hall de l'immeuble de la Caisse des Dépôts à Paris, comment s'effectue ce dialogue entre le choix du matériau juste et le mode de composition adopté pour que l'ouvrage soit révélateur du concept.

A la Caisse des Dépôts par exemple, il y a une façade intérieure en chêne. Nous dessinons le panneau. On sait que la menuiserie en chêne est chère mais que finalement avec l'augmentation du coût des bois exotiques, cela devient accessible. On sait aussi que le placage est différent du massif, parce que le bois est déroulé et que les veines apparaissent à l'envers. On réfléchit à composer différemment avec les parties massives et plaquées, parce qu'on ne peut pas éviter le plaqué ou le déroulé pour tout ce qui est plan. Il suffit qu'il y ait des montants, jusqu'à une certaine section. Pour cela, on fait venir des chênes par camion entier, qu'on a choisi au préalable, sur échantillons dans l'entreprise. On pouvait disposer de très bons chênes de la forêt de Tronçais, mais ils sont très chers ; ils sont utilisés en tonnellerie. Mais on trouve de très bons chênes qui viennent d'Europe de l'Est. On choisit les bois parce qu'on sait que les petits chênes maigrelets qu'on coupe maintenant n'ont pas les mêmes qualités, ni les mêmes caractéristiques de couleur. Ensuite, on dessine le panneau avec sa partie en placage, le raccord à l'aise ; les points singuliers. Il s'agit de bien faire comprendre ce qu'est l'aise et que le placage n'est que du placage. Cela évite la confusion et l'erreur sur la vérité des matériaux. (Christian Hauvette)

Le choix du matériau est l'opération par laquelle la somme des paramètres exigés est mise en regard des caractéristiques des matériaux disponibles. Parmi les paramètres étudiés figure la capacité du matériau à être façonné, c'est-à-dire à subir les transformations de forme qui le conduiront à s'intégrer dans l'ouvrage doté des performances définies par le

projet. Dans le cas présenté par Christian Hauvette, les opérations de conception (choix de matériau, conception structurelle pour la mise en espace des éléments, composition plastique, dessin des détails d'assemblage) puisent dans les modes opératoires connus et traditionnels. Cela sous-entend que la connaissance de la conception de la fabrication des ouvrages soit intégrée aux connaissances préexistantes de l'architecte (dans ce cas, la connaissance de la menuiserie) et qu'il soit à même de rechercher les informations qui lui permettront de répondre avec exactitude aux problèmes qui lui sont posés, comme le choix du bon bois par exemple. La façade intérieure de l'immeuble de la Caisse des Dépôts est un objet unique, créé de toutes pièces pour cette opération, mais sa fabrication s'est opérée avec des matières et des modes opératoires aux caractéristiques éprouvées et identifiées. L'expérimentation n'a pas été nécessaire pour finaliser l'ouvrage.

Dans la plupart des cas, l'architecte parvient à exprimer ses intentions en travaillant la disposition des éléments les uns par rapport aux autres. Jacques Ferrier démontre comment il est parvenu à créer la spécificité architecturale des bureaux de l'INRIA en portant ses efforts notamment sur la conception des planchers sans poutres.

Pour les bureaux de l'INRIA à Sophia Antipolis, le point de vue consistait à ne placer aucun poteau dans les bureaux. Les poteaux sont donc à l'extérieur des pièces. De ce fait la dalle se prolonge à l'extérieur avec les poteaux et nous créons un vocabulaire un peu méditerranéen, un vocabulaire de creux.[...] A l'intérieur, on a construit sans poutres. Cela permet d'avoir des surfaces lisses sans faux-plafonds dans les loggias et dans les circulations. La hauteur sous plafond est plus grande. L'air chaud est donc stocké en hauteur et les pièces sont plus fraîches. Pour les chercheurs, c'est plus sincère. C'est ce que j'aime bien. Ce ne sont pas de grandes démonstrations d'espace. Ce n'est jamais qu'un couloir élargi, des pièces rectangulaires etc... [...] Ne pas mettre de faux-plafond, dimensionner le couloir à 4m50 au lieu d'1m50 de large, correspond bien à l'idée de ne pas faire des choses extraordinaires, mais de réaliser des choses qui dépendent beaucoup de la façon dont l'architecture est construite.(Jacques Ferrier)

Cette évocation n'est pas sans rappeler les espaces de Ludwig Mies Van der Rohe, faits de plans francs qui prennent appui sur le minimum de poteaux. « Dieu est dans les détails ». Par cette affirmation, Mies ne signifie-t-il pas que le caractère fondamental de l'œuvre se manifeste aussi par le mode de réalisation de chaque partie de l'édifice, celle-ci étant témoin du tout, comme nous l'avons vu précédemment. La maîtrise du détail qui consiste dans le cas présent à mettre en œuvre une dalle de plancher suffisamment résistante pour assurer le franchissement voulu et à agencer le système de poutres pour éviter qu'elles

n'apparaissent dans aucun des espaces de vie, signifie que la conception de la fabrication de la structure est parfaitement contrôlée par l'architecte.

Dans ces exemples, les architectes témoignent d'une bonne connaissance de la construction, du mode d'assemblage des éléments en fonction de leurs caractéristiques mécaniques notamment, faisant référence aux métiers concernés. Cette connaissance leur permet d'atteindre les objectifs conceptuels du projet. Les représentations mentales fondatrices du projet trouvent une solution matérielle, grâce à la conception de la solution concrète portant sur l'agencement et l'assemblage des éléments, en fonction de leurs propriétés et des techniques employées pour les mettre en œuvre.

Dans certains cas, la seule connaissance du comportement des matériaux lors de la mise en œuvre et des techniques employées pour la réaliser ne suffit pas. Il est aussi nécessaire de connaître les modes opératoires que la réalité du chantier autorise (compétences des compagnons, ordonnancement des tâches...).

L'étude des modes opératoires des entreprises est moins habituelle chez les architectes. Elle peut parfois être déterminante.

3.2.2.2 Modes opératoires du chantier.

Ensuite, il y a tout le rôle de la mise en œuvre. Il faut pouvoir déplacer, manipuler, attacher les éléments. La question est de parvenir à s'affranchir de ces limites. (Emmanuel Combarel)

Le résultat final est parfois tributaire de la façon dont les matériaux sont travaillés, lequel travail dépend des conditions de chantier et des outils effectivement utilisés. Pour une opération de logements dans laquelle ils souhaitaient réaliser un revêtement avec une peinture habituellement utilisée en carrosserie automobile, E. Combarel et D. Marrec ont étudié avec l'entreprise qui a réalisé l'ouvrage sur le chantier les différentes modes d'application.

Le problème, c'est que c'est très joli sur un échantillon comme cela (elle montre un petit carré sur la table) ; mais en grande surface c'est différent. La première passe de rouleau, tout va bien, on fait la deuxième et on voit la trace. Cela signifie qu'il faut impérativement passer ces peintures au pistolet, avec deux passes, trois passes. C'est comme cela qu'on arrive à des finis qui s'approchent de ceux de la carrosserie. On travaille beaucoup sur les méthodes de réalisation, avec des gens qui sont motivés pour chercher avec nous. Cela nous conduit à travailler sur les plannings, les méthodologies de pose, de réalisation. (Dominique Marrec)

Dans ce cas, la conception de la matérialisation (application d'une peinture irisée) s'accomplit simultanément à la conception des modalités de réalisation (projection au pistolet avec plusieurs passes successives). Les techniques de construction sont tributaires des exigences de faisabilité, propres au fonctionnement de l'entreprise et de son contexte économique.

3.2.2.3 Les deux espaces de connaissances du projet constructif.

En résumé le projet constructif s'élabore en faisant interagir deux aspects de la conception, l'un destiné à définir la nature des ouvrages et leurs modes d'assemblage, l'autre qui a pour but de préciser les modes opératoires à mettre en œuvre. (fig. 20).

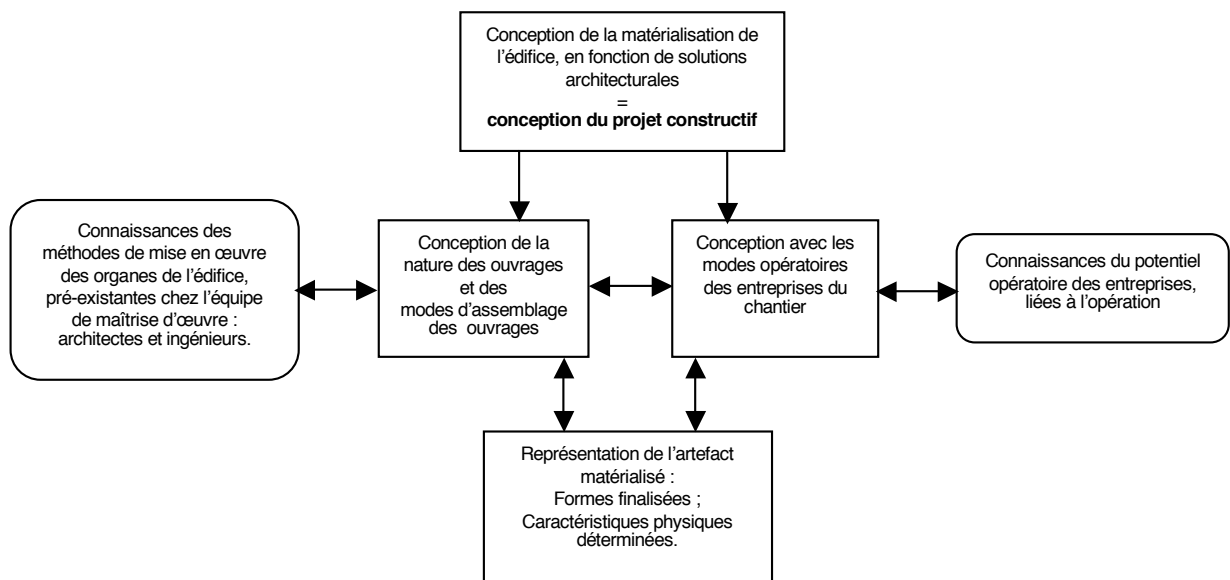


Figure 20 : Conception du projet constructif

Ces deux aspects de la conception sont développés en faisant référence à deux espaces de connaissances différents :

- la définition de la nature des ouvrages et de leurs modes d'assemblages s'appuient sur les connaissances techniques de la maîtrise d'œuvre : architectes et ingénieurs (connaissances préexistantes)
- La définition des modes opératoires et leur organisation sur le chantier dépend des savoirs et savoir-faire des entreprises chargées de l'opération (connaissances conjoncturelles).

La conception est formalisée par la représentation de l'artefact qui en définit avec précision ses aspects « morpho-physiques » (Le Masson & al, 2006) .

Robert Prost (Prost, 1992), précise cette dualité en définissant la conception de la matérialisation selon deux ordres pour tenir compte des deux registres de connaissances auxquels elle se réfère. L'ordre substantif décrit la nature l'ouvrage, ses attributs et ses performances. L'ouvrage y acquiert sa pertinence. Il prouve sa capacité à concrétiser la solution architecturale élaborée à l'étape précédente. L'ordre procédural décrit les moyens à mettre en œuvre pour fabriquer. L'ouvrage y acquiert son efficacité. En décrivant les procédures, on démontre comment la fabrication peut efficacement se réaliser en fonction d'une économie de moyens donnés. La conception à cet endroit associe à la fois l'ordre substantif et l'ordre procédural (fig.21).

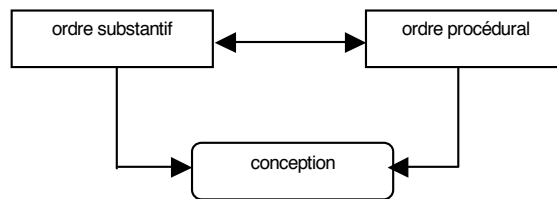


Fig.21. d'après R. Prost (Prost, 1992).

On peut observer que si la solution fait uniquement référence aux concepts constructifs, (fig.22) cette solution bien qu'appropriée au questionnement architectural et s'y rapportant avec exactitude, risque de se situer en décalage face aux modalités de fabrication. On peut aboutir alors à une contre-performance : l'efficacité est absente du processus. L'étape du chantier peut en effet révéler des distorsions entre la solution conçue et la qualification des ouvriers ou l'outillage disponible dans l'entreprise. Les écarts les plus importants se traduisent souvent par des coûts de revient incompatibles avec le budget de l'opération.

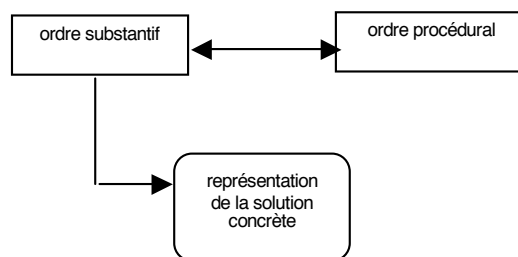


Fig. 22. : ordre substantif dominant

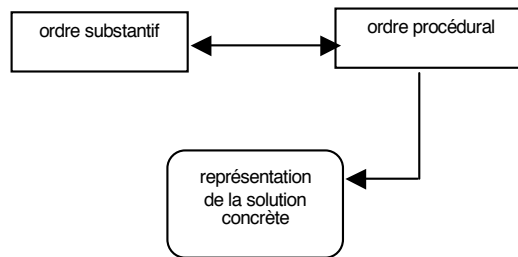


Fig. 23. Ordre procédural dominant

A l'inverse, si la solution concrète est élaborée uniquement en référence à l'ordre procédural (fig.23), ne répondant qu'aux critères de l'entreprise qui met en œuvre, il y a risque de perte de pertinence par rapport au problème architectural initial. La complexité inhérente au projet se délite au profit d'un point de vue unique, celui de l'entreprise et de ses impératifs économiques, aujourd'hui dominants. On dit fréquemment que le projet d'architecture est « déshabillé ». Il y perd de sa substance, voire SA substance.

3.2.3 Concevoir la matérialisation avec les fabricants (ou les pré-fabricants).

Lors de la conception de la matérialisation, l'architecte est conduit de plus en plus souvent à faire porter ses études sur les parties d'ouvrage dont l'essentiel de la fabrication s'opère en amont du chantier chez les industriels fabricants de matériaux ou les pré-fabricants de composants. Ce déplacement de la conception correspond aux modifications du système de production du bâtiment (voir chapitre 1).

Cet aspect du processus conceptuel se réalise en deux étapes.

La première consiste à rechercher le matériau ou le composant capable de satisfaire à la matérialisation du concept. Cette étape est suivie par la prescription. Mais dans les cas où l'offre industrielle ne répond pas aux attributs du concept, l'architecte recherche les moyens de la correspondance en adaptant un produit standard ou en faisant appel à d'autres technologies.

En préalable à l'examen de ces pratiques en appui des propos d'architectes, remarquons que le mode de raisonnement d'exploration que l'architecte utilise avec aisance l'oblige souvent à rechercher des matériaux et composants différents de l'offre courante. Les propos qui suivent en témoignent et préfigurent l'émergence du besoin d'expérimenter.

3.2.3.1 La découverte des matériaux.

L'étude d'un matériau ou d'un composant ne peut advenir que lorsque que l'architecte en a connaissance. Mais l'univers matériel est si vaste que l'accès à l'information sur les matériaux est une tâche en soi. La découverte du matériau capable de satisfaire aux performances recherchées n'est pas toujours manifeste, d'autant que l'offre qui émane des industries spécialisées dans les matériaux de construction reste souvent cantonnée à des matières traditionnelles, qui ont fait leurs preuves. Les architectes à l'affût de nouvelles utilisations de matériaux vont souvent chercher dans d'autres domaines d'application. Quel que soit le parcours de découverte, l'architecte doit souvent compter sur le hasard heureux qui lui permettra de rencontrer le produit recherché. Pascal Rollet décrit cette quête.

On peut se demander comment on découvre un matériau. Le plus souvent, c'est le fait du hasard, un hasard orienté! Je vais beaucoup dans des salons qui ne concernent pas les architectes, comme par exemple des salons pour l'aviation qui montrent des systèmes de construction amateurs, qui sont un peu de l'ordre du bricolage. Cela peut aussi être l'entreprise qui vient nous présenter un nouveau matériau, ou bien au travers d'une discussion. Cette quête est à la fois empirique et têtue. On recherche toujours à peu près dans les mêmes directions. Il y a aussi les phénomènes de mode avec des matériaux qui apparaissent au goût du jour, qui font parler d'eux. On les regarde pour voir s'ils peuvent entrer dans notre système de valeurs.[...] Nous n'avons pas les moyens de faire des recherches systématiques. On est un peu funambules, obligés de développer une forme de regard à l'affût, pour dénicher ce qui pourrait devenir intéressant. On est toujours à cette limite particulière entre bricolage, dévoilement, recyclage, déplacement. [...] En fait, ce n'est pas du tout un processus scientifique qui consisterait à vérifier tous les comportements de tel ou tel matériau. A un moment donné, nous avons une intuition très forte et tout s'agrège. Ensuite, nous regardons avec les fabricants quels sont les tests à réaliser pour pouvoir faire le transfert. En général, ce sont des transferts qui viennent de champs assez proches, pour faire franchir un pas à un matériau qui est à côté de nous. (Pascal Rollet)

La quête du matériau « ad hoc » aboutit à la découverte grâce à un éveil permanent, une curiosité qui fait office de **veille technologique**, effectuée de façon empirique par l'architecte et son équipe. Cette recherche peut conduire à la connaissance de matériaux inconnus des applications dans le Bâtiment, ce qui nécessite de procéder à une adaptation du matériau pour sa nouvelle application. Nous verrons comment, dans certains cas, cela peut devenir un champ d'expérimentation.

3.2.3.2 Transformer les produits standards.

Bon nombre de matériaux sont aujourd'hui façonnés au sein d'industries spécialisées, en ouvrages prêts à être posés sur le chantier. La majorité des produits d'enveloppe par exemple, procèdent de ce mode de fabrication. Il est ainsi de plus en plus fréquent que la conception de cette séquence constructive s'opère avec les industriels. Pour matérialiser son concept, l'architecte est souvent confronté à la nécessité d'entreprendre des adaptations sur les produits disponibles, actes fréquents dans la conception architecturale. Plusieurs attitudes sont possibles, révélatrices de l'écart entre le concept et le produit disponible. Parfois, un simple ajustement suffit, comme le montre Jacques Ferrier. Parfois les modifications sont plus lourdes et requièrent des stratégies d'études particulières pouvant conduire à l'expérimentation.

La démarche de Jacques Ferrier est attentive aux process de production, ce qui le conduit à repérer les bons composants, à comprendre comment ils sont fabriqués pour procéder à des transformations capables de rendre le produit conforme à son attente, tout en étant assez mineures, comme pour le panneau de façade du Musée Tabarly, revêtu de piles photovoltaïques.

Dans ce cas, il s'agit d'un panneau standard, dont je change le fond qui sera transparent, alors qu'il est normalement blanc. C'est du faux standard. Avec le fond transparent ; on doit perdre 4 ou 5 % de rendement, mais par contre cela me permet de le poser en brise-soleil avec un filtrage de la lumière. C'est une réflexion très caractéristique de l'agence. Nous fabriquons du « faux disponible » grâce à une petite amélioration, un petit changement qui adapte le produit à ce que nous recherchions pour le projet. (Jacques Ferrier).

Pour mener cette réflexion sur le produit standard, l'architecte a dû s'appropriier les connaissances de l'industriel afin que sa proposition soit fondée sur un degré de réalité admissible. Cela s'accompagne d'une capacité à évaluer les incidences de sa proposition. Dans le cas du panneau photovoltaïque du musée Tabarly, Jacques Ferrier avait la connaissance antérieure de la mise en œuvre des piles sur un fond transparent. Il connaissait l'effet, tant du point de vue de la perception que du rendement énergétique. Fort de cette connaissance antérieure, il a pu proposer cette nouvelle fabrication « faux standard », en étant assuré des incidences de la transformation. Pour la fabrication du volet à poser sur la façade d'un collègue, il a agi selon la même méthode.

Cela m'intéresse de comprendre comment c'est fabriqué. Ce volet, par exemple. C'est un système standard, adapté pour un collègue. La seule différence est dans le

cadre. Le fabricant proposait des sections de 5cmx5cm. Je lui ai demandé s'il n'était pas possible de le réaliser avec un centimètre de moins. C'est donc juste un peu plus fin que le standard. Et c'est devenu un standard. Ils produisaient tous leurs panneaux avec les mêmes profils. On leur a fait remarquer que lorsque les panneaux sont de taille raisonnable, les profils peuvent être moins épais. Ils s'étaient un peu endormis. C'est juste un petit détail de cet ordre.

Dans ces deux exemples, Jacques Ferrier montre comment il est possible d'adapter un élément standard au concept architectural, en ne modifiant qu'un paramètre du produit. Le résultat modifie les caractéristiques du produit dans un écart qui reste admissible du point de vue des techniques de fabrication et de la réglementation. La mise en transparence du panneau photovoltaïque fait perdre 4 à 5% de rendement énergétique mais donne la vue sur la mer. Dans le cas du volet, la diminution de la section du cadre procède d'une réflexion sur la tenue mécanique de l'ouvrage dont l'industriel avait surdimensionné certaines sections pour standardiser les profils. Ici, la recherche de finesse souhaitée par l'architecte correspond à la résistance mécanique de l'ouvrage. La modification oblige l'industriel à revoir l'ordonnancement de sa production, mais il enrichit sa gamme. Ce type d'innovation, minime, provient du seul apport conceptuel de l'architecte qui peut être mis en œuvre sans nouvelles acquisitions opératoires de l'outil de production.

3.2.3.3 Chercher la solution avec une technique différente.

Dans certains cas, le concept initial ne trouve pas d'application dans les techniques habituelles, obligeant l'architecte à rechercher d'autres solutions. Lorsqu'ils ont réalisé un bâtiment de bureaux à Dunkerque, les architectes d'Architecture Studio avaient l'idée d'une façade en briques géantes destinées à jouer sur l'échelle du lieu.

Notre idée était d'avoir des briques à échelle 10, donc des briques 10 fois plus grandes. Ce n'était évidemment pas possible en terre cuite. C'étaient des briques de 60 cm de haut, en caissons, placées dans un mur-rideau. La façade était moitié verre, moitié brique. C'était en fait une transposition de la brique et nous l'avons réalisée en béton de fibres. Nous avons beaucoup travaillé dans ce système de béton de fibres, mais nous le faisons aussi pour d'autres matériaux. C'est assez classique de travailler avec l'usine pour mettre au point un matériau. (Martin Robain)

Dans cet exemple, Martin Robain évoque un concept de brique incompatible avec les process de fabrication de la terre cuite, du fait de sa démesure. La réponse technique a été

recherchée avec d'autres matériaux, capables de satisfaire les attendus architecturaux. Dans ce cas, la réponse a été trouvée dans la préfabrication en béton de fibres, activité intermédiaire entre l'industrie et le chantier. Le pré-fabricant produit des éléments spéciaux dont les caractéristiques sont définies pour un chantier, sans chercher à être transposables pour un autre chantier. La mise au point des éléments a été intégrée à l'activité de chantier. Les architectes ont trouvé la matérialisation de leur concept en s'appuyant sur un métier existant. La fabrication des moules à la dimension et le mélange des constituants pour la préparation du béton sont deux modes opératoires « ouverts » qui ont la faculté de dépendre de paramètres variables. Cette capacité d'adaptation, inscrite dans le process de fabrication, ne requiert aucun ajout de connaissance technique. Seul le concept est déterminant dans la création du nouveau composant.

On peut noter aussi que Martin Robain souligne le fait que ce genre de mise au point avec l'usine de préfabrication fait partie des habitudes de travail de l'agence. Ce mode de dialogue avec le fabricant requiert une forme de conception qui n'est pas toujours familière des agences d'architecture. Il est nécessaire de s'approprier la technique du fabricant pour concevoir avec elle, démarche conceptuelle qui requiert la mise en place d'un processus particulier.

En résumé, lorsqu'il choisit un composant dans le cadre d'un projet, l'architecte puise dans l'offre industrielle à la recherche de l'élément capable de répondre à ses attentes conceptuelles. Du fait de l'identité de la démarche architecturale, les prescriptions sont souvent renouvelées puisque dépendantes du concept global du projet, original pour chaque réalisation. Le renouvellement dans la production industrielle s'opère rarement selon les mêmes paramètres. L'écart entre l'attente de l'architecte et l'offre de l'industriel est souvent constaté. Pour réduire cet écart, et avant d'envisager l'expérimentation, l'architecte active des champs de connaissances extérieurs aux productions habituelles et met en œuvre des raisonnements d'adaptation. On peut schématiser ce processus de la façon suivante (fig.24)

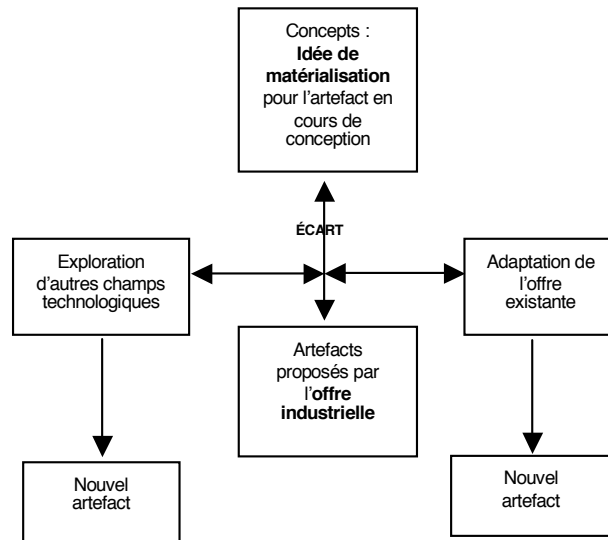


Figure 24 : réduction de l'écart entre l'idée de matérialisation et l'artefact de l'offre industrielle

La réduction de l'écart entre les attributs de l'artefact en cours de conception et les caractéristiques de l'artefact proposé par l'offre industrielle conduit parfois l'architecte à des modes conceptuels qui s'approchent de l'expérimentation parce qu'ils produisent de nouvelles connaissances :

- soit par l'adaptation d'une production existante
- soit en puisant dans des offres de technologies voisines.

Ces « pas de côté » introduisent l'inhabituel dans la routine mais se font dans le maintien des caractéristiques des procédés de fabrication. En ce sens il ne requièrent pas l'expérimentation.

3.3 De la matérialisation à l'expérimentation

La conception de la matérialisation dans la démarche architecturale conduit le concepteur à composer avec les éléments de matérialité et les modes opératoires pour atteindre l'objectif conceptuel. Nous avons vu comment il compose avec les métiers du chantier d'une part et comment il peut adapter l'offre de fabrication en restant dans des pratiques courantes. Rester dans des pratiques courantes signifie que l'architecte a une bonne connaissance des techniques constructives pour parvenir à produire l'ouvrage original, ou qu'il sait instaurer un dialogue ouvert capable de convoquer à bon escient les champs de connaissances susceptibles de répondre au problème posé. Mais parfois, l'écart entre le concept et le champ des possibles constructifs est trop important, révélant une contradiction entre l'objectif du concepteur et les moyens à disposition. Dans ces cas, un processus expérimental doit être mis en place pour créer les nouveaux artefacts qui permettront de satisfaire au concept. Parlant du matériau, Martin Robain évoque cette nécessité en ces termes :

Nous cherchons, à partir de ces principes et de ces idées sur la matière, comment arriver à ce que nous voulons. Parfois, le matériau n'existe pas. Nous sommes est obligés de le faire fabriquer, et donc d'expérimenter. (Martin Robain).

Le processus d'innovation mis en place à l'occasion d'un projet d'architecture s'inscrit dans des stratégies qui dépendent de paramètres liés à la nature de l'opération ou de l'ouvrage étudié, ainsi qu'à la personnalité de l'architecte. Pour simplifier et rester dans le cadre de notre démonstration, nous classerons les types d'expérimentation en fonction des modes de transformation de l'élément de matérialité, tel qu'il a été décrit an introduction de ce chapitre. Nous examinerons successivement la façon dont les architectes expérimentent :

- avec les acteurs présents sur le chantier, métiers traditionnels et nouveaux métiers
- avec les pré-fabricants
- avec les entreprises industrielles manufacturières.

3.3.1 expérimenter avec les métiers du chantier.

3.3.1.1 les métiers traditionnels.

Pour concevoir la construction en bois imaginée pour le musée du cristal à Saint Louis, Pascal Rollet a choisi d'évaluer l'artefact avec une expérimentation grandeur au cours de laquelle il a pu anticiper les principes constructifs et les mettre au point. L'identité de ce projet se loge dans le façonnage des assemblages de la structure en bois, et dans leur capacité à transmettre l'idée de bois brut. L'image technique de référence est celle des

assemblages de la charpenterie traditionnelle japonaise, savants assemblages qui dissimulent la complexité de leur connexion particulièrement efficace. La transposition de ce savoir étant impossible dans le cadre de cette opération, pas plus que celle qui consistait à réaliser des assemblages par commande numérique, Pascal Rollet a choisi d'innover dans la mise en œuvre en expérimentant lui-même.

Mais cette idée, même séduisante, devait être testée en vraie grandeur pour convaincre le staff d'Hermès. Ils sont très proches de la matière, des matériaux, que ce soit du crocodile, du poulain, du tissu, de la soie. Ils ont le réflexe prototype, expérimentation. On a donc construit aux Grands Ateliers un morceau de l'étagère pour pouvoir faire la démonstration. (Pascal Rollet).

Fort de sa connaissance du métier de charpentier, il a pu, grâce au dispositif offert par les Grands Ateliers de l'Île d'Abeau⁽⁵⁾, étudier les principes de mise en œuvre destinés à être transmis à l'entreprise de réalisation. Cette expérimentation qui demande des temps de mise au point, des allers et retours entre la conception architecturale et les capacités techniques de travail du bois, n'était pas envisageable dans le cadre du chantier. Pascal Rollet a pu l'effectuer en disposant de l'équipement d'un laboratoire d'architecture. Cette expérience est exemplaire et montre qu'il est possible de réaliser des innovations constructives qu'aucune entreprise n'a la possibilité économique de fournir dans le cadre d'une opération.

D'un point de vue général, la conception architecturale inclut la conception technique de la mise en œuvre des ouvrages sur le chantier. En concevant la fabrication des ouvrages sur le chantier, l'architecte assure une continuité conceptuelle du projet. Traditionnellement, cette conception se fonde sur les modes opératoires répertoriés dans les métiers du Bâtiment.

Si le concept du projet ne peut se matérialiser avec les savoirs traditionnels, communément partagés par tous, on constate qu'il est de plus en plus difficile aujourd'hui de rechercher des innovations dans le cadre de l'opération.

En effet, l'évolution des métiers du Bâtiment est fortement contrainte par les nécessités économiques qui visent à réduire les coûts. Ces métiers fabriquent leur valeur ajoutée essentiellement avec de la main d'œuvre : aucun élément du chantier n'échappe aux mains des ouvriers. La mécanisation des tâches y est impossible.⁽⁶⁾ Lorsque l'entreprise recherche

⁵ les Grands Ateliers de l'Île d'Abeau proposent de vastes halles équipées d'outillage permettant la réalisation de morceaux d'architecture dans le cadre de la recherche ou de la formation des élèves architectes, ingénieurs et artistes.

⁶ Elle peut exister dans le cas de tâches très répétitives, disposant d'une aire de réalisation aux caractéristiques constantes. La pose des vitrages de la grande Bibliothèque à Paris a été réalisée avec un robot.

une réduction des coûts, elle ne peut que réduire les temps de main-d'œuvre. Or pour expérimenter, il faut envisager des périodes de mise au point, d'apprentissage, de découverte. Ces tâches sont devenues incompatibles avec l'économie des chantiers courants. De ce fait, l'expérimentation technique peut difficilement prendre appui sur les métiers du chantier, si ce n'est dans la gestion et l'ordonnancement des tâches. Pourtant chaque chantier représente une mise en œuvre originale, unique. Cette originalité se met en place par modifications et par ajustements de modes opératoires connus, qui résultent de la conception de la maîtrise d'œuvre. Les facultés d'adaptation font partie des savoir-faire du chantier mais dans un registre d'opérations éprouvées. Pour les modifier, il est nécessaire de les tester en expérimentant.

3.3.1.2 Les nouveaux métiers du chantier

Le processus est différent lorsque l'expérimentation porte sur un composant dont la fabrication engage des éléments répétitifs, porteurs d'une valeur ajoutée produite avant le chantier. Sont ainsi apparus des métiers du chantier, situés entre l'industriel et l'entreprise de pose. Pour la réalisation de certains ouvrages comme les menuiseries extérieures ou les enveloppes à structure métallique, la démonstration est évidente. Ces entreprises qu'on appelle « gammiste » ou « façadier » ont vocation à produire des ouvrages à partir de certains types de profils produits industriellement qui génèrent des ouvrages dotés de caractéristiques bien identifiées. Ce mode de production permet de profiter des avantages de la production industrielle (production en atelier, standardisation, contrôle qualité par exemple), mais confère aux ouvrages une souplesse de réalisation. Toutefois, les propositions des entreprises sont encore parfois trop restrictives et nécessitent des études complémentaires qui s'apparentent à de l'expérimentation. Le cas du châssis coulissant ouvrant sur l'angle imaginé par Nicolas Michelin en est un exemple.

Nous avons mis au point des châssis d'angle coulissants, à partir de profilés de menuiserie standard. Nous avons adapté un châssis coulissant classique, à deux vantaux, en modifiant quelques pièces. (...) Avec cet exemple, nous avons créé une petite plus value technique. (...) Mais pour réussir à faire cette mise au point, nous avons consulté plusieurs « gammistes » de profilés de menuiserie comme Technal, Schuco, etc. Seuls RC System a été intéressé à étudier cette mise en œuvre nouvelle avec nous. Nous avons réussi à développer quelque chose de sérieux avec eux. Technal était intéressé, mais leurs gammes ne permettent pas d'avoir des poids de vitrage aussi importants. (Michel Delplace. ANMA)

L'étude de cette mise en œuvre originale destinée à réaliser une menuiserie qui a pour effet de dégager totalement la vue sur un des angles des logements de cette opération de Nantes, en renouvelant la perception de la menuiserie, fait progresser la conception du châssis coulissant qui devient un organe capable de rendre totalement perméable la relation entre l'intérieur et l'extérieur sur deux orientations. (Photo. N°14)



Photo N°14 : Logement à Nantes : détail de la fenêtre coulissante dégagée du montant sur l'angle. ANMA, architectes (document fourni par l'architecte).

On comprend que plusieurs gammistes aient été intéressés à développer cette nouveauté. On constate toutefois avec cet exemple que Technal, pourtant séduit par le projet, n'était pas prêt à étudier un nouveau profil capable de supporter le poids du vitrage de cette configuration. Les adaptations admissibles par l'entreprise sont mineures. Elles relèvent d'agencements judicieux de profils existants destinés à assurer l'étanchéité dans des conditions particulières et d'adaptation de quincaillerie. Elles ne remettent pas en cause la fabrication industrielle qui produit l'essentiel de la valeur ajoutée des gammes, dans ce cas les filières de production de profils réalisés avec des alliages métalliques éprouvés.

Le mode d'intervention est assez semblable avec les industriels de la préfabrication, entreprises traditionnellement identifiées dans les métiers du béton, mais aussi présentes dans d'autres filières comme le bois avec les fabricants de lamellé collé par exemple, ou avec des matériaux qui proviennent d'autres secteurs d'application comme les composites

utilisés dans l'architecture navale avant de l'être dans le Bâtiment. Dans ces configurations de production, l'entreprise propose des procédés de fabrication qui ne déterminent pas la forme finale de l'ouvrage. Celle-ci est définie par la conception architecturale. Cette faculté d'adapter la réalisation des ouvrages à la conception architecturale nécessite parfois la mise en place de processus d'expérimentation destinés à évaluer des mises en œuvre encore peu éprouvées. Les cas qui suivent le démontrent dans deux technologies différentes, le béton et les polymères (composites).

3.3.2 Expérimenter avec les préfabricants

3.3.2.1 Les nouveaux bétons

Lorsque Emmanuel Combarel et Dominique Marrec conçoivent la fabrication de l'enveloppe du bâtiment de la RATP à Thiais, ils pensent que le béton préfabriqué leur permettra de réaliser la continuité entre le sol du parking et la peau du bâtiment, recherchée pour matérialiser le concept défini au préalable. Précisant leur investigation dans le choix des matériaux, ils s'orientent vers les nouveaux bétons à hautes performances qui autorisent la réalisation d'ouvrages aux épaisseurs beaucoup plus fines que les bétons traditionnels.

C'est une coque en béton, réalisée dans des moules injectés. La particularité c'est que le Ductal® sera utilisé pour la première fois pour faire une façade étanche. Ce n'est pas du parement. Ce sont des complexes d'étanchéité qui suggèrent des contraintes techniques très différentes de celles d'un habillage. (Emmanuel Combarel). (Photo. N°15°

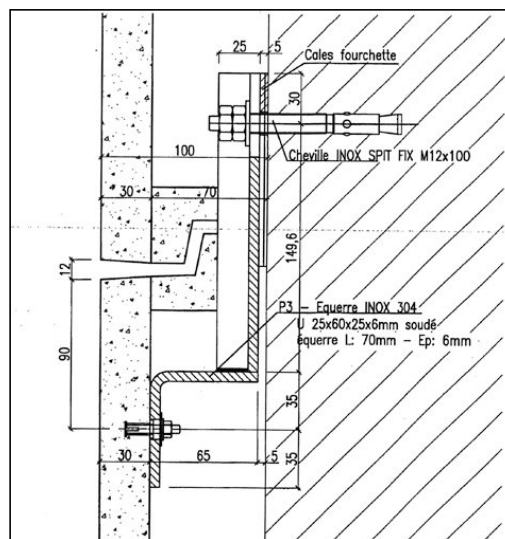


Photo N°15 : Détail de l'accrochage de panneaux en Ductal® qui montre la réalisation de l'étanchéité (éviter les remontées capillaires dans le joint ouvert). E. Combarel et D. Marrec, architectes. (document fourni par l'architecte)

Le choix du Ductal®, le béton à hautes performances de la société Lafarge, est soumis à une utilisation nouvelle. Les éléments préfabriqués rapportés sur le gros-œuvre assureront l'étanchéité de l'enveloppe. Cette exigence qui apporte une réponse à la fabrication de la continuité de la peau du bâtiment, induit la nécessité de réaliser l'étanchéité entre les éléments en béton moulé et les autres organes de l'enveloppe qui sont essentiellement les ouvertures et l'étanchéité de couverture. La précision des ouvrages moulés en Ductal encourage les architectes à étudier des détails d'assemblage inscrits dans la forme du moule, minimisant l'ajout de pièces de recouvrement qui altèrent la lecture de la continuité recherchée. Ce mode de mise en œuvre n'est pas référencé dans les ouvrages traditionnels de la préfabrication en béton. Il nécessite des recherches spécifiques qui sont réalisées par l'ensemble des partenaires intéressés à la conception et à la fabrication de cette séquence constructive.



Photo N°16 : Coulage du Ductal® dans les ateliers du pré-fabricant Betsinor (document fourni par Lafarge)

Du point de vue de la conception, Emmanuel Combarel situe ces recherches comme un dépassement des limites qu'imposent les capacités physiques des matériaux connus.

La matière a ses limites qui viennent cadrer des principes possibles. Nous en connaissons certaines par expérience. Nous essayons d'envisager ce qu'il est possible de faire ou pas. Nos projets se travaillent beaucoup à partir de la peau, de l'enveloppe ; d'un habillage souple et continu qui peut s'adapter à toutes formes d'exigences. Cela représente des inquiétudes. Nous faisons des recherches sur ce que pourrait être cette peau et comment elle pourrait répondre aux contingences techniques et physiques, de comportement. Il faut en garantir la pérennité. Les plus gros problèmes pour l'enveloppe sont dans la dilatation du ou des matériaux. On doit redécouper pour que l'ouvrage ne soit pas rigide. C'est la contrainte essentielle. Nos recherches se heurtent aux limites physiques.(E.Combarel)

E. Combarel montre comment, à l'occasion de la conception du bâtiment de Thiais, ils ont élaboré un nouveau système d'enveloppe qui exploite les performances d'un matériau récemment élaboré par les industriels du béton mais encore peu exploité dans des utilisations spécifiques.

L'innovation constructive procède d'une conception architecturale très aboutie dans ses détails parce qu'elle s'appuie sur les connaissances et les savoir-faire existants des entreprises de fabrication avec lesquels les architectes ont composés. Toutefois, les savoirs industriels convoqués sur cette opération n'ont pas nécessité de nouvelle recherche : le Ductal existait chez Lafarge ainsi que la technique de moulage par injection du béton chez Betsinor. (Photo. N°16) La production de nouvelles connaissances se place essentiellement chez l'architecte, avec l'étude de tous les détails et le calepinage des éléments.

3.3.2.2 Les composites

La réalisation de la façade Sud d'un des laboratoires de l'Ecole d'Architecture et du Paysage de Bordeaux fait appel à un processus similaire bien que la technologie soit différente. Pour créer l'enveloppe originale de ce bâtiment Jean de Giacinto a travaillé avec un façonnier en composites, assisté d'un bureau d'études spécialisé pour la conception des détails de fabrication. Le concept de la façade consistait à produire une matière capable de laisser passer la lumière tout en reproduisant l'alignement de peupliers qui borde le bâtiment. Déjà rompu aux techniques d'inclusion de végétaux dans le gel coat des parois réalisés en matériaux composites, Jean de Giacinto a imaginé pour ce projet une nouvelle façon de « contenir » un morceau de nature dans un panneau de façade.

Une façade en composite, constituée de panneaux plans toute hauteur, posés en écaille, simule la rangée de peupliers tel un miroir. (Photo N°17) Cette façade Sud était contraignante pour des raisons thermiques et acoustiques (proximité de la rocade). Pour cela, une double enveloppe a été conçue pour protéger les espaces de travail. Derrière la cimaise composite les coursives d'accès au bâtiment, vitrées et non chauffées créent un espace tampon. Mais comment imaginer une peau sensible à la lumière qui réponde à un cahier des charges que nous avons établi et qui consistait à créer une nouvelle allée de peupliers virtuels ?



Photo N°17. A gauche, la façade en panneaux composites qui reproduit l'image de la rangée de peupliers. Ecole d'architecture et du paysage de Bordeaux. Jean de Giacinto, architecte. (document fourni par l'architecte).

Pour y parvenir, nous avons fait appel aux technologies photographiques et d'impression numérique sur textiles. Nous avons mis au point ces composants avec une entreprise spécialisée "ARC INDUSTRIE" et CTA (Conception Techniques Avancées) un bureau d'études..(Jean De Giacinto)

L'étude de la fabrication de l'image a représenté une part importante de la mise au point du produit. Elle s'est poursuivie par l'étude de l'ensemble du composant capable de former des panneaux toute hauteur posés à léger recouvrement. La tenue mécanique des éléments et leur mode de fixation ont représenté les deux points de définition que les architectes ont explorés avec leurs partenaires.

Le cas que décrit Luc Boulais révèle une dimension particulière de la conception technique porteuse d'innovation en architecture. Spécialiste de la mise en œuvre des matériaux composites à base de polymères, Luc Boulais (7) a plusieurs fois été appelé en tant que concepteur de matière et de technique sur diverses opérations. Il expose l'une des circonstances qui l'a conduit à intervenir sur un projet.

Au départ, je pense que le problème est celui de la forme. Quand les architectes abordent la double courbure, ils prennent conscience qu'il faut chercher des réponses vers les bateaux ou les voitures, les avions. Se pose alors le problème du « comment fait-t-on ? » pour fabriquer et trouver la bonne matière qui permettra de fabriquer ce que l'on veut. C'est à ce moment que j'interviens.[...] Pour la crèche Jean Jaurès, l'architecte avait conçu des coques en résine, suspendues à la façade (Photos. N°17 et 18). Ils avaient commencé à définir quelque chose

⁷ Luc Boulais est architecte. Il s'est formé à la technique des composites en travaillant dans des entreprises spécialisées. Il a ainsi intégré une partie de leur savoir, notamment les connaissances utiles à la conception.

autour de cela, mais ils étaient incapables d'aller plus loin. Ils avaient gagné le concours avec ce projet de bulles suspendues aux balcons, comme des cabanes pour les enfants et avaient défini un budget très faible, sans trop se rendre compte du coût réel. Quand le projet s'est précisé, avec sa forme complexe, ils ont réalisé que cela demandait un matériau complexe et de ce fait un peu de budget. A partir de là, ils ne savaient plus comment faire. Ils ont voulu enlever les cabanes. Mais la maîtrise d'ouvrage s'y est opposée. Ils m'ont demandé de les aider par l'intermédiaire de l'entreprise avec laquelle j'avais déjà travaillé. (Luc Boulais)

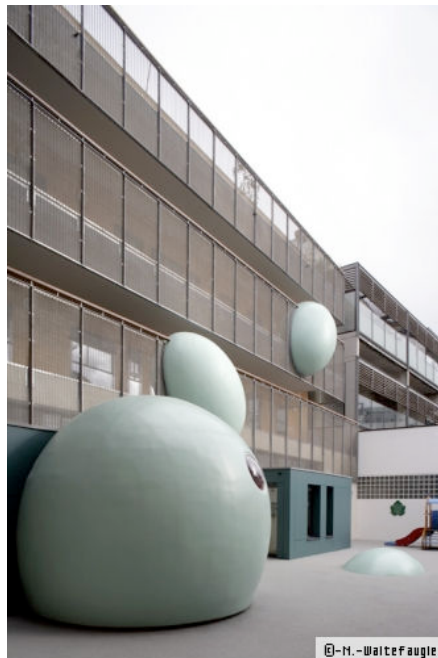


Photo N°17 et 18 Crèche
Jean Jaurès : des cabanes
suspendues aux façades.
P.J.A.A., architectes. Luc
Boulais, conseillé sur la
mise en œuvre des
composites. (Document
fourni par l'architecte)



Cette expérience montre que le transfert d'une technique de fabrication d'objets, éprouvée pour certaines applications étrangères au Bâtiment, nécessite une conception expérimentale dont les tenants et aboutissants sont méconnus de la plupart des architectes. Les

architectes de la crèche Jean Jaurès ont imaginé des habitacles, légers, capables d'être fixés en porte-à-faux sur le balcon filant. En spécifiant cette conception, ils ont dessiné des formes complexes, correspondant aux représentations mentales qu'ils avaient des objets en matériaux composites. Mais la création de cette image s'est effectuée en méconnaissance des process de fabrication et de leur économie. Pensant s'appuyer sur le savoir de l'entreprise de réalisation pour mettre au point la conception matérielle de ces habitacles, les architectes ont découvert que la maîtrise de l'économie d'une telle production passe par la conception judicieuse des moules et de leur fabrication qui nécessite des études très spécialisées. (Photo. N°19)



Photo N° 19 : Réalisation du moule d'une des « cabanes » de la crèche Jean Jaurès. Luc Boulais, conseillé pour la mise en œuvre des matériaux composites. (document fourni par l'architecte).

Luc Boulais, qui s'est approprié le savoir des entreprises au cours d'expériences antérieures a pu effectuer cette conception, à la demande de l'entreprise qui n'en avait pas la capacité financière. Il agit comme un vecteur d'expérimentation, capable de transposer des savoirs constitués et éprouvés dans la fabrication navale vers la réalisation d'architecture. Ces savoirs sortent du champ des connaissances implicites des architectes. On s'aperçoit que pour être opérantes, ces connaissances requièrent des adaptations qui constituent un savoir spécifique.

Les expérimentations effectuées avec les préfabricants, quelque soit la technologie concernée, consiste à activer les différentes connaissances des acteurs de la production pour mettre en œuvre un produit original. Chacun des exemples a montré que l'expérimentation doit son aboutissement et son unicité à l'importance de la conception d'architecture et d'ingénierie, démarche assez semblable à ce qui pourrait se produire avec les acteurs traditionnels de la construction. La différence provient du fait que la fabrication de ces objets demande un outillage spécifique qui n'a pas les caractéristiques foraines et mobiles des outillages du chantier. Les objets sont produits à la demande, mais dans le cadre d'ateliers équipés de technicités qui les rapprochent de la production industrielle.

3.3.3 Expérimenter avec les industriels

Faire fabriquer un matériau ou un composant dans le cadre d'un projet nécessite de trouver un juste équilibre entre le temps de réalisation de l'opération, les possibilités d'investissement de l'industriel, et les capacités de conception innovante de l'architecte. Si le déclenchement du processus d'expérimentation provient du constat d'un manque : « quand un matériau n'existe pas, on le fait fabriquer » dit Martin Robain, sa mise en œuvre répond à certaines conditions.

La fabrication des matériaux de construction engage une succession d'opérations qui varie selon les produits ou les circonstances. Nous en avons répertorié deux types. Le premier consiste à créer un nouveau produit en utilisant les techniques de fabrication de l'industriel de façon particulière. Le deuxième montre comment le besoin d'expérimenter, exprimé à l'occasion de projets d'architecture, peut aboutir à une innovation industrielle, créatrice de nouveaux produits.

3.3.3.1 Utiliser le process industriel

Dans le cadre de la réalisation du Parlement européen de Strasbourg, Architecture Studio avait prévu de poser une moquette reproduisant la photographie d'une prairie au printemps.

Nous voulions une moquette à fleurs (Photo N°20) ; c'était la décision, et nous ne savions pas comment faire. Avec cette réalisation, nous avons appris beaucoup de choses. Nous avons rencontré beaucoup de fabricants, Sommer, des Anglais, et d'autres. Certains avaient des machines extraordinaires. Nous avons découvert toutes sortes de procédés industriels qui permettaient de faire cette moquette, soit par des jets d'encre, soit par de la laine, directement. [...] Finalement, c'est Sommer qui l'a réalisée avec une machine très particulière.. (Martin Robain)



Photo N° 20 : Moquette à fleurs du Parlement Européen. Architecte : : ARCHITECTURE-STUDIO :
Photo : ROTHAN

La fabrication de cette moquette aux fleurs singulières ne résulte pas du choix d'un produit dans une gamme de produits, aussi étendue soit-elle, mais de l'utilisation spécifique d'un outil présent chez un fabricant. Pour parvenir à ce résultat, les architectes d'Architecture Studio ont procédé à une recherche de capacité de production, et non de produits.

La conception a abouti ici à la prescription d'un process de fabrication destiné à obtenir le parement souhaité. On approche dans cet exemple des modes de fabrication industrielle à la demande, grâce à la numérisation des commandes des machines. Martin Robain constate que « les industriels deviennent artisanaux », appréciant cette ouverture des modes opératoires qui bouleverse les traditions des métiers. Nous verrons au chapitre suivant ce que signifient ces bouleversements dans la mise en place des processus.

Pour les panneaux d'enveloppe de l'église qu'ils ont réalisée à Paris, Architecture Studio a utilisé un procédé industriel existant mais en modifiant quelques paramètres du produit.

Pour l'église Notre Dame de l'Arche de l'Alliance, la peau a été réalisée avec ces matériaux qui sont du papier recollé. Nous voulions un brun. Le concept était un cube en bois, ou d'apparence en bois, un bois qui ne change pas d'aspect. Or le bois naturel qui tient à la lumière et à l'eau, cela n'existe pas vraiment, quoi qu'aujourd'hui on saurait peut-être le faire ; mais à l'époque on ne savait pas. Nous avons donc trouvé des matériaux qui n'existaient pas dans le Bâtiment et nous avons expérimenté. Ces matériaux étaient utilisés pour faire des sols de camions industriels. Nous trouvons cela assez beau. En travaillant avec le fabricant, nous

avons réussi à insérer des sérigraphies. Nous avons travaillé sur le matériau, avec l'usine, en Hollande. Nous avons modifié le matériau, mais pas le procédé de fabrication. Nous nous sommes servis du processus de fabrication pour y intégrer de nouvelles fonctions qui étaient possibles mais qui n'existaient pas auparavant.



(Martin Robain)

Photo. N°21 : Vue de l'église Notre Dame de l'Arche de l'Alliance, Paris 15ème.

"Architecte :ARCHITECTURE STUDIO":"Photo : GASTON"

L'expérimentation est double dans cet exemple. Elle commence par un transfert d'application d'un panneau destiné aux véhicules de transport vers le Bâtiment, ce qui a nécessité de vérifier qu'il pourrait résister à une mise en œuvre en façade extérieure. Cette étude concerne le comportement du matériau à diverses sollicitations et sa capacité à être fixé en paroi verticale. L'adaptation du produit a été l'occasion de l'enrichir d'une fonction sémantique spécifique à l'opération. Grâce à la sérigraphie, les architectes ont fait imprimer une prière sur la surface de chacun des panneaux. Cette inscription, lisible quand on est proche de la paroi, prend la forme d'une vibration qui donne vie au matériau initial un peu inerte, quand on voit l'église dans son ensemble. Les architectes ont pu utiliser un procédé industriel existant pour satisfaire à leur recherche grâce à une curiosité à l'affût et ouverte, et à l'adaptation d'une technique de mise en œuvre.

Le choix de produits industriels peut aussi conduire à expérimenter sur les outils de production, qui a pour effet d'installer l'innovation dans l'entreprise.

3.3.3.2 Innover pour l'industrie

Le processus enclenché par l'atelier Renzo Piano pour la mise au point de la brique de parement posé à sec est à l'origine d'une transformation importante de l'industrie de terre cuite Guiraud, devenue Terreal. On peut remarquer en préalable que cette agence d'architecture insiste avec une attention particulière sur la conception de la fabrication des mises en œuvre dans leurs moindres détails. Cela représente la culture de l'agence, basée sur la maîtrise de la matière. Plusieurs ateliers de maquette sont installés au sein même de l'agence, avec des ébénistes professionnels capables de transformer en objet les dessins des architectes. C'est par ce moyen d'étude que les architectes sont capables d'évaluer leur conception pour la proposer aux industriels. Paul Vincent décrit ci-après les quelques principaux points qu'il est nécessaire de fédérer pour qu'une telle innovation puisse exister.

Il faut être assez sûrs du point de vue de la conception. Les industriels eux-mêmes, quand il y a innovation, ne sont pas complètement sûrs de savoir s'ils vont parvenir à produire l'objet prévu. Dans le cas de Lyon, nous sommes directement passés du prototype factice à la chaîne de fabrication. Il n'y a pas eu de prototype intermédiaire fait par un artisan. Nous sommes passés de l'idée de Renzo, à une maquette factice à échelle 1. Nous avons cherché un industriel pour vérifier si cela était faisable en travaillant avec lui. Nous avons donc inventé le système avec lui pour arriver à fixer la brique et nous avons lancé la fabrication. C'est allé très vite car nous étions très pressés. Tout cela dépend aussi du planning de l'opération. C'est un paramètre à prendre en compte. (Paul Vincent. RPBW).



Photo N°22. Vue partielle de la Cité Internationale. Source : *Renzo Piano Building workshop, Œuvres complètes, Volume 3*. Buchanan (1997). Phaidon, Londres

L'opération citée dans cet exemple est la Cité Internationale de Lyon, (Photo. N°22) réalisation très importante regroupant de nombreux programmes qui se finalisent sur une dizaine d'années, avec plusieurs tranches.

Le choix de la brique de parement en façade procède d'un concept initial établi dans le « Decalog » (cf ch.2) par Renzo Piano dès l'origine du projet. Paul Vincent parle d'une vibration de matière qui ne pouvait pas être réalisée avec du béton. Le procédé consiste à accrocher un élément de terre cuite sur une ossature métallique. Cette peau a pour vocation, en plus du parement, d'assurer l'isolation thermique des murs par l'extérieur. La mise au point du composant qui a résulté de cette étude a transformé radicalement la conception des parements de façade chez l'industriel qui a créé à cette occasion une nouvelle usine. (voir chapitre 7). La brique n'est plus moulée mais extrudée « à cru », fabrication rendue possible grâce aux innovations techniques de l'industriel qui jouent sur le double registre de la maîtrise des matières premières et des phases de transformation.

Dans ce cas on comprend de façon évidente que l'expérimentation effectuée à l'occasion de l'opération d'architecture a conduit à une innovation importante chez l'industriel.

3.4 Conclusion : l'expérimentation dans le processus de conception architectural.

Le besoin d'expérimenter s'exprime dans le processus de conception architectural à l'issue du déroulement de la presque totalité des opérations de conception. L'expérimentation est une résultante du processus, mais nous formulons l'hypothèse que cette forme particulière de conception se détache du processus global pour adopter une logique de développement spécifique, étudiée dans les chapitres qui suivent.

Nous avons pu constater que l'expérimentation avec les matériaux est le plus souvent factuelle dans le processus de conception architectural. Nous avons vu par ailleurs qu'elle peut être de différents types. L'identité des types expérimentaux dépend essentiellement des acteurs de la matérialité avec qui l'expérimentation s'effectue : les entreprises de chantier pour l'assemblage des éléments de construction, les entreprises pré-fabricantes pour la fabrication de composants spécifiques et les entreprises industrielles pour la réalisation de produits manufacturés originaux.

Nous avons pu remarquer en analysant ces différents types, que le processus de conception reste identique. En effet, les variations nécessitées pour l'accomplissement de chaque type sont introduites par les différents champs de connaissances correspondant aux savoirs et savoir-faire des entreprises interlocutrices.

Ces constatations nous encouragent à proposer une modélisation de la conception de la matérialisation, processus générique dont l'expérimentation est une forme particulière.

3.4.1 Modélisation du processus de conception de la matérialisation

Reprenons l'hypothèse formulée dans le chapitre introductif (figure 7) pour la confronter aux observations effectuées à partir des pratiques des architectes.

Une première observation s'impose.

Pour représenter la complexité du processus, il convient de faire état de quatre espaces d'activités cognitives. La formalisation « d'espaces d'activités », plutôt que d'activités élémentaires qui se succèdent et s'enchaînent rend compte d'une façon plus efficace des interactions entre les activités qui interviennent parfois de façon aléatoire et non linéaire. Cette formulation est empruntée aux travaux des chercheurs du laboratoire de l'École des Mines (Le Masson & al, 2006) qui décrivent le processus de conception avec deux espaces :

- C : l'espace des concepts
- K : l'espace des connaissances.

Nous avons observé que le processus de conception architectural se réalise avec d'autres formes d'activités cognitives auxquelles il nous semble nécessaire de conférer le statut d'espace.

A propos des problèmes.

Nous avons pu constater que la progression du processus de conception architectural se réalise par l'énonciation de problèmes complexes et d'origines variées effectuée de façon aléatoire : ils peuvent être formulés à différentes étapes du processus, et non linéaire : ils ne sont pas énoncés de façon logique et selon un ordre établi. Il nous paraît de ce fait nécessaire de considérer l'entité « problèmes » comme un espace et non comme un élément initiateur du processus. En effet, la complexité des problèmes à résoudre oblige à les hiérarchiser, à les formuler de façon différente et par ordre de priorité pour les traiter progressivement. Nous avons vu qu'ils sont de nature différente selon qu'ils proviennent des données de l'opération ou des questions que se pose l'architecte dans le cours de la conception en interrogeant différents champs de connaissances.

A propos des représentations.

Le champ des représentations n'a pas été développé au cours des analyses précédentes mais nous connaissons par expérience la place qu'il occupe dans la conception architecturale.

Les représentations, en tant qu'opérateurs heuristiques (Conan, 1999) fournissent un moyen de faire progresser la définition des concepts. Ainsi l'espace des concepts est mis en relation avec les représentations, les uns se formalisant avec les autres et inversement.

De plus, certains concepts ne sont concevables que par le recours à certains modes de représentation (on pense aux architectures non-standard et aux nouveaux outils de modélisation) qui acquièrent ainsi une certaine autonomie.

Du fait de ces deux caractéristiques fondamentales des représentations :

- opérateurs heuristiques qui progressent avec les concepts
- opérateurs spécifiques qui se développent de façon indépendante,

nous pensons qu'elles doivent avoir le statut d'espace, réalité aux limites non déterminées.

En résumé, nous ajoutons deux espaces d'activités cognitives :

- C : l'espace des problèmes
- K : l'espace des représentations.

que nous mettons en relation dans le modèle représenté figure 25.

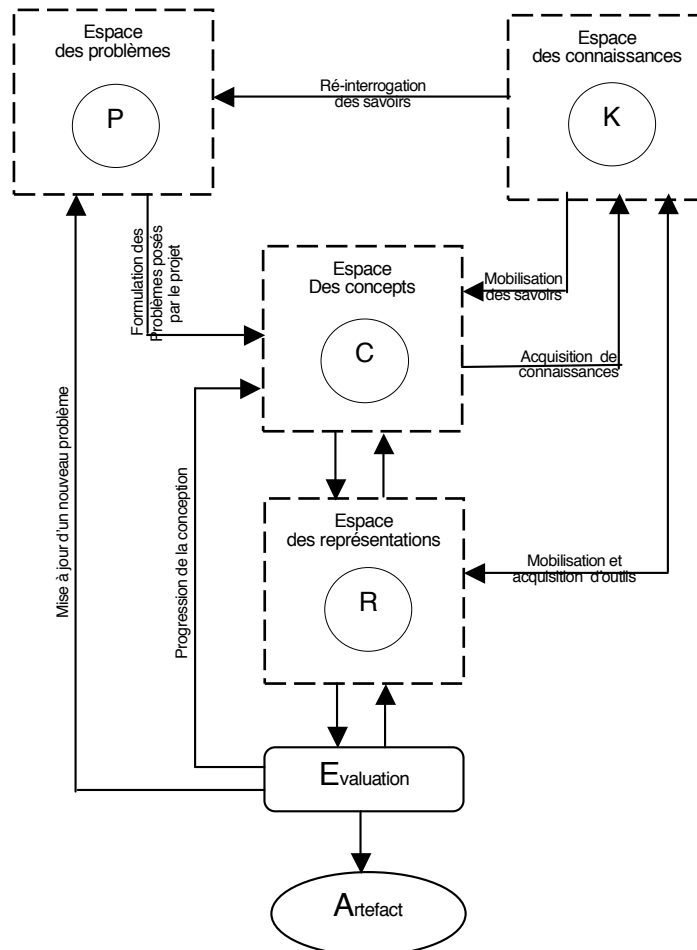


Figure 25 : Les espaces d'activités cognitives de la conception architecturale de la matérialisation : « Cap Crea »

Le processus conceptuel met en relation les quatre activités cognitives selon un cheminement type qui se reproduit autant de fois que nécessaire, jusqu'à ce que l'objectif de la conception soit atteint.

L'objectif de la conception de la matérialisation consiste à réduire le plus possible l'écart entre la représentation du concept et l'artefact que les acteurs de la matérialité sont capables de fabriquer. L'appréciation de cet écart minimum résulte d'un accord entre les acteurs en présence, qui s'obtient à l'issue du processus lorsque la dernière représentation répond aux critères de chacun des acteurs.

Cheminement conceptuel de base.

Au centre du dispositif, figure l'espace des concepts. Les premiers concepts sont formulés en réponse à un ou plusieurs problèmes choisis dans l'espace des problèmes. Ce choix détermine un ordre et des priorités dans la conception. Il révèle les valeurs soutenues par les architectes dans le cadre de leur projet. Ce déroulement a été détaillé dans les paragraphes traitant de l'émergence de la matérialité.

Le concept, idée fondatrice, a pour vocation à se doter d'attributs et à se développer avec la mobilisation de connaissances. Dans le cas de la conception de la matérialisation, la majorité des connaissances provient des acteurs de la matérialité. C'est en relation à leur savoirs et savoir-faire que se définissent les contenus de la matérialisation et le développement de l'expérimentation. Parallèlement, les architectes et les acteurs de la maîtrise d'œuvre mobilisent leurs connaissances préexistantes.

Ce cheminement conceptuel se reproduit en boucles, à partir de l'évaluation d'un certain état du concept figuré par une représentation. Un nouveau problème peut être interrogé si nécessaire. Les connaissances sont mobilisées en réponse aux nouveaux problèmes qui se posent, pour développer les attributs morpho-physiques du concept, jusqu'à avoir atteint l'objectif attendu. La fin du processus advient avec la fabrication de l'artefact.

Pour préciser cette modélisation, nous détaillons les opérations qui font intervenir la matérialité, la matérialisation et l'expérimentation dans le processus de conception architecturale. (fig.26)

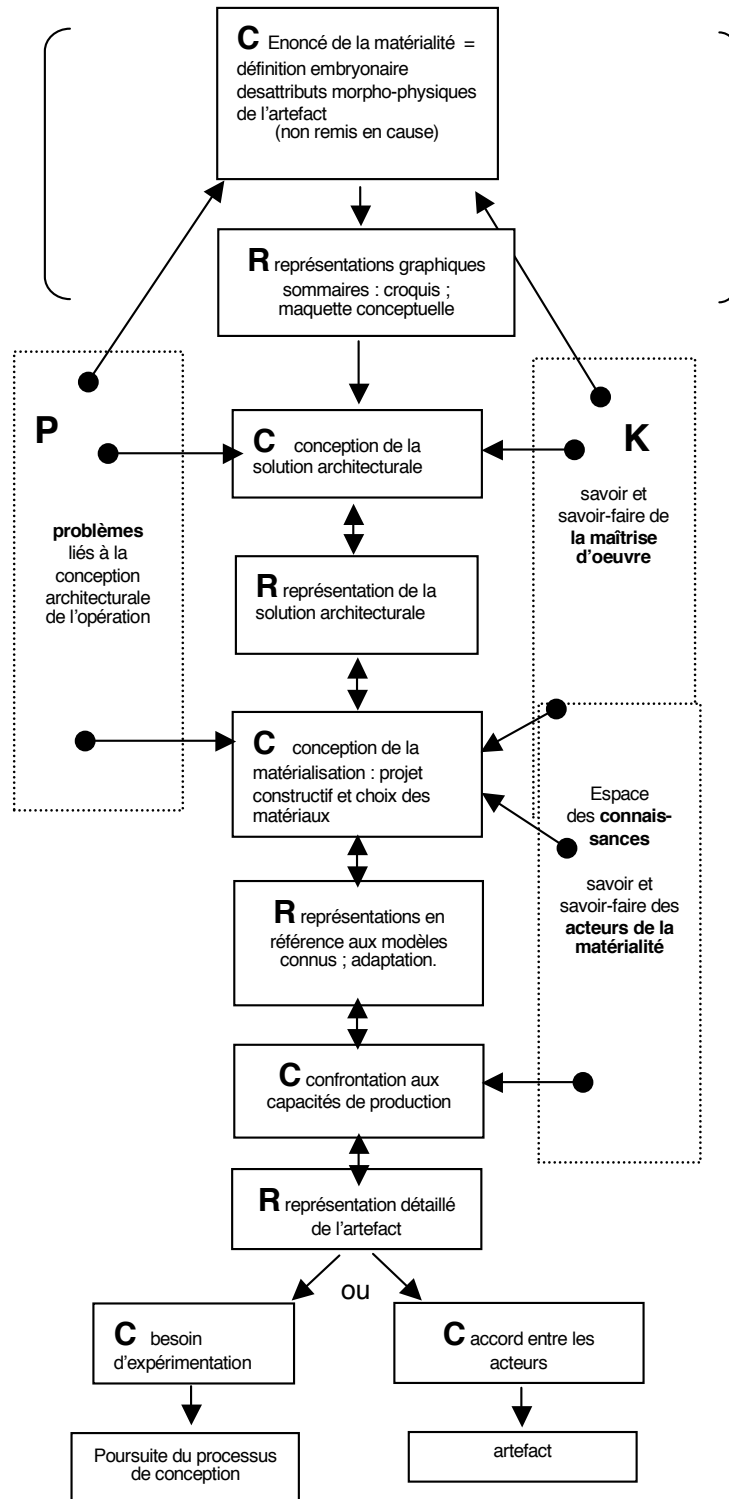


Figure 26. Matérialité, matérialisation et expérimentation en rapport aux activités cognitives du processus de conception.

La partie du schéma placée entre parenthèses correspond à une action « optionnelle » qui n'est pas partagée (ou avouée) par tous les architectes. C'est la formalisation intuitive du concept initial dont on n'explique pas la genèse mais qui s'impose avec évidence et qui n'est pas remise en question. Certains y introduisent des attributs liés à la matérialité.(cf ch.2)

Les quatre espaces sont interrogés tout au long du processus, selon le principe du bouclage précédemment décrit.

Pour détailler le processus, le schéma fait apparaître quelques étapes de conception majeures et les représentations qui y correspondent :

- **Les concepts** montrent les définitions progressives des solutions en caractérisant de façon de plus en plus détaillée les attributs de l'artefact , puis les techniques employées pour le fabriquer. La formalisation des concepts est effectuée sous forme de représentations qui assistent le raisonnement de l'architecte, communiquent les informations produites lors de la conception, et permettent la validation des choix.
- **L'espace des représentations** est constitué par toutes les figures réalisées par les concepteurs tout au long du processus. Elles sont de diverse nature et utilisent des supports différents : dessins, écrits, maquettes physiques. La numérisation des informations a élargi le registre des figurations possibles et autorise l'observation de phénomènes inaccessibles avant leur acquisition.

L'espace des problèmes est interrogé progressivement, certaines étapes de résolution se prêtant plus efficacement à la résolution de certains types de problèmes. Par exemple, la question du problème urbain posé par l'opération fait partie des premières à être résolues. La question du maintien de l'édifice en état de solidité le temps d'évacuer les occupants en cas de séisme est résolu en phase de matérialisation. Ces variations dépendent de l'échelle à laquelle l'artefact est abordé, pour reprendre cette notion formulée par Philippe Boudon (Boudon, 2004), générant des points de vue variés auxquels sont attachés des problèmes spécifiques. On peut supposer que l'espace des problèmes est un espace fini, le dernier problème étant résolu avec la fin du processus.

L'espace des connaissances est essentiellement caractérisé par les acteurs qui interviennent avec leurs savoirs et savoir-faire préexistants. Il est important de préciser que l'espace des connaissances inclut les savoir-faire, particulièrement opérants pour les activités de production matérielle. Par ailleurs, l'introduction des nouvelles technologies dans la conception fait aussi appel à de nouveaux savoir-faire en développement constant. L'acquisition voire le développement de ces outils spécifie désormais toute pratique de conception architecturale.

Le besoin d'expérimentation.

La conclusion du modèle de la figure 26 aboutit à deux solutions possibles :

- réalisation de l'artefact avec les techniques de production disponibles et éprouvées
- ou besoin d'expérimenter.

Détaillons les raisons de cette alternative.(fig. 27)

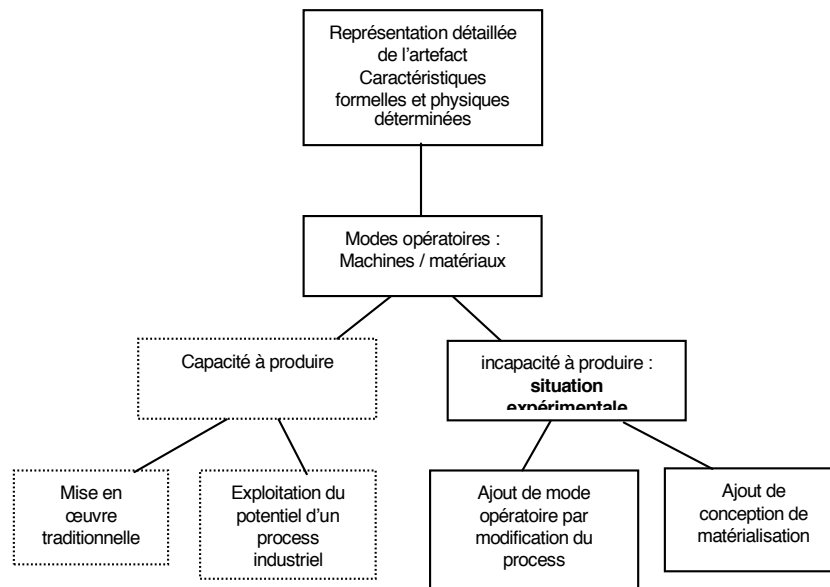


Fig. 27. Emergence de la situation expérimentale

Pour satisfaire au besoin d'expérimenter, il convient de mettre en place des mesures d'adaptation du processus . Deux alternatives sont alors possibles :

- l'une vise à détailler la conception de la matérialisation pour que les impératifs de production puissent satisfaire les exigences du concept. C'est un raisonnement ascendant qui aboutit à des acquisitions essentiellement conceptuelles de la maîtrise d'œuvre. Cela correspond au développement des applications de produits nouveaux insuffisamment connus (cas Ductal-Combarel/Marrec ; cas des composites avec Luc Boulais).
- L'autre consiste à modifier le processus de production industrielle, de façon radicale ou par addition de technologie. C'est un raisonnement descendant qui requiert une conception partagée de la part de la maîtrise d'œuvre et du fabricant. C'est le cas de la terre cuite Guiraud/Piano ou des peux composites Giacinto/Arc Industrie.

Remarquons toutefois que les modes opératoires utilisés pour la fabrication de l'édifice sont par tradition, adaptés aux variations conceptuelles constantes. Les pratiques de l'artisan en témoignent. C'est une « personnalité de base » de la culture constructive, de l'art de bâtir. Certains processus industriels ont adopté cette culture en proposant des outils dotés d'un potentiel à fabriquer, capables de faire varier un grand nombre de paramètres au cours d'une production (cas de la moquette fleurie / Architecture Studio).

3.4.2 Autoriser l'expérimentation avec le processus de production.

On peut considérer qu'un fabricant possède un outil de production potentiellement expérimental lorsque que son offre est capable de répondre à des concepts originaux, ou aux attributs différents d'une fabrication à une autre.

Du point de vue théorique, si nous nous référons au modèle du processus de conception, cela signifie que des propositions soient potentiellement présentes dans l'espace des connaissances techniques et constructives pour répondre à l'expansion de l'espace des concepts.

Dans cette hypothèse, le processus de production met en œuvre des fabrications, conformément aux plans établis pour chaque nouvelle opération. La logique d'assemblage d'éléments de l'outil industriel, qu'ils soient matériaux, matières ou composants doit pouvoir y satisfaire. Du point de vue de la fabrication industrielle, cette forme de production est antinomique de la standardisation, modèle dominant des valeurs industrielles.

Toutefois, la production à la demande, la seule qui soit véritablement compatible avec les critères architecturaux est de plus en plus développée. On peut en effet constater qu'une partie des entreprises concernées par la production du Bâtiment, est capable de matérialiser le concept architectural en exploitant ses connaissances techniques existantes (savoirs et savoir-faire). Certains processus de production sont en effet organisés pour accepter **les paramètres variables** de la conception.

3.4.2.1 Paramètres variables

La conception de l'objet technique que représente un édifice architectural répond à des spécifications constituées par l'ensemble des règles de l'art. Lorsqu'il conçoit la matérialisation de l'édifice, l'architecte utilise ces règles pour produire un objet, toujours différent. La création de la différence se réalise en activant certains paramètres qui président à l'élaboration des grands constituants de l'objet : sa forme et sa matière (conception morpho-physique).

Par ailleurs, la technique constructive étant pour l'essentiel fondée sur l'assemblage d'éléments hétérogènes, la conception a aussi pour effet de définir d'une part les modes d'assemblages des éléments entre eux, et d'autre part la mise en relation d'éléments dans un dispositif pour créer une fonction particulière (paroi absorbante, complexe d'isolation, système de rafraîchissement de l'air...). (fig.28)

3.4.2.2 Assemblage des éléments

La production d'un objet toujours nouveau est permise par l'organisation des modes de production capables de faire varier de nombreux paramètres. Les métiers du chantier sont traditionnellement structurés pour ce type de production, limitée toutefois par la capacité des outils et les compétences des compagnons. Les expériences des architectes nous ont montré comment ils interviennent sur ces paramètres pour les faire évoluer (expérimentation de Pascal Rollet ; témoignage de Dominique Marrec sur les mises en peinture au pistolet, par exemple).

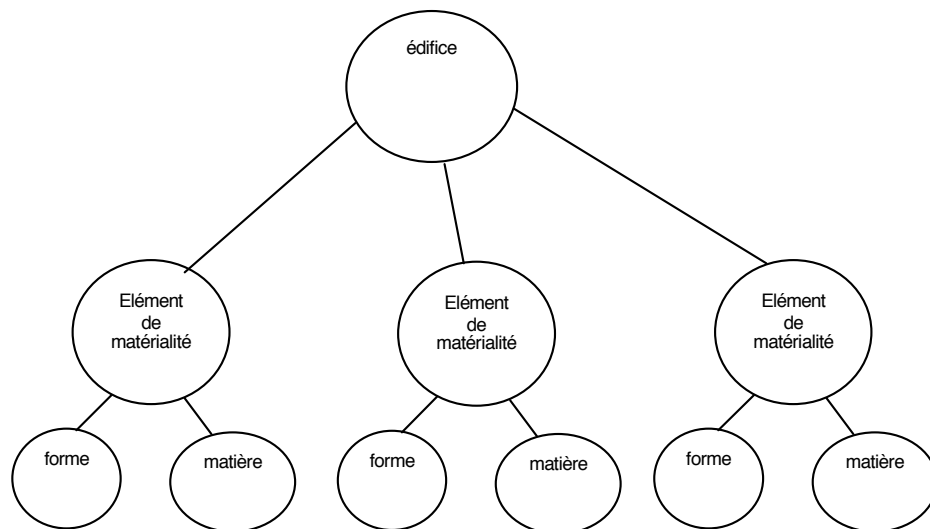


Fig.28. La constitution de l'édifice est réalisée par l'assemblage d'éléments de matérialité (cf ch.2) spécifiés par leur forme et leur matière

3.4.2.3 Fabriquer la forme

Dans une technologie donnée (béton, acier, bois, composite...), l'architecte en concevant la forme de l'ouvrage détermine une silhouette (shape, gestalt) qui procède de, ou détermine une géométrie volumétrique. (fig.29) Il définit aussi des dimensions, définition porteuse de valeurs importantes chez l'architecte, telles que les proportions et la notion d'échelle. Ces paramètres, en fonction du matériau préalablement identifié qui détermine les caractéristiques physico-chimiques de l'ouvrage, sont associés à la conception structurelle

de l'ouvrage. Du point de vue de la production, les paramètres qui sont activés dans la fabrication de la forme consistent d'une part à contrôler la géométrie et d'autre part à moduler les dimensions.

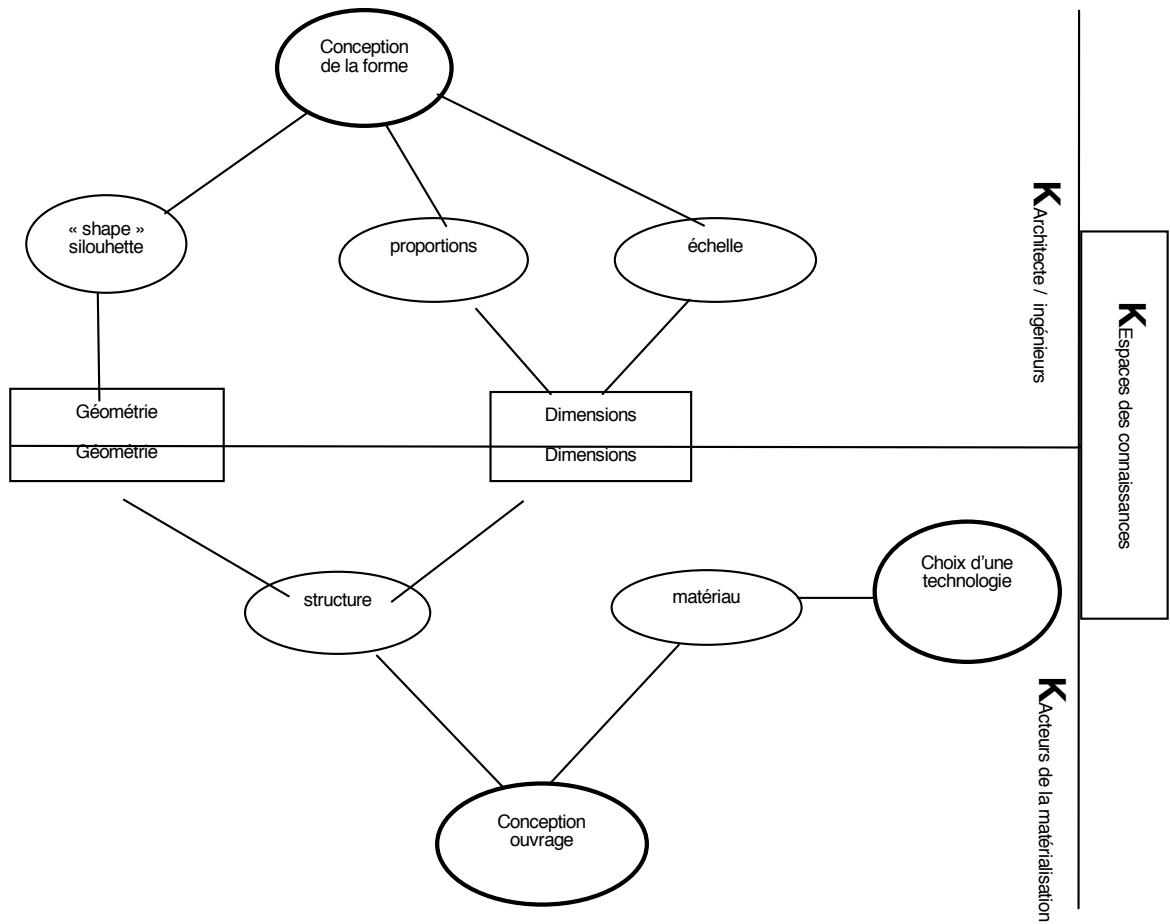


Fig.29. Correspondances entre le point de vue de l'architecte et celui du fabricant. L'un est le reflet de l'autre.

Si ces paramètres ne sont pas variables sur une chaîne de production industrielle de produits standards (ou dans des limites très faibles), en revanche les processus de production des pré-fabricants et des entreprises de chantier sont dotés de latitude suffisante pour en assurer la variation. Cette latitude est définie par les possibilités de la technologie. L'exemple de la brique géante d'Architecture Studio en est une démonstration.

3.4.2.4 *Fabriquer la matière*

La deuxième famille de paramètres avec lesquels l'architecte compose, concerne les matériaux. Un désir de matière, de matérialité est spécifié par des attributs.

Une partie des critères valorisés par l'architecte est définie par des paramètres de l'ordre de la perception, qui convoquent les sensations. Ainsi les critères liés à la texture, à la transparence, à la couleur sont déterminants pour le choix d'un matériau. (fig.30)

Du point de vue de la fabrication les caractéristiques des matériaux sont obtenues avec des opérations de transformation qui offrent une latitude importante pour la réalisation du matériau final. Par exemple, la couleur peut être obtenue par une application d'une autre matière (peinture, lasure, film polymère), par un traitement physique (le bois brûlé) ou chimique (l'oxydation d'un métal). La couleur résulte aussi de la masse de la matière, déterminée par sa nature et la composition de ses constituants. Dans de nombreux cas, l'entreprise de chantier ou le pré-fabricant est capable de faire varier ces paramètres avec une latitude imposée par les contraintes de fabrication ou de comportement du matériau.

En conclusion, les industriels dont la production est organisée pour des séries n'ont, a priori, pas la possibilité de faire varier les paramètres de la production en dehors des quantités requises par l'amortissement de la mise en place de l'outillage. La situation se modifie avec l'automatisation des tâches et leur commande numérique qui associent les paramètres variables de la conception à ceux de l'outil de production. Cette nouvelle réalité de production fait dire à Martin Robain « que les industriels deviennent artisanaux ».

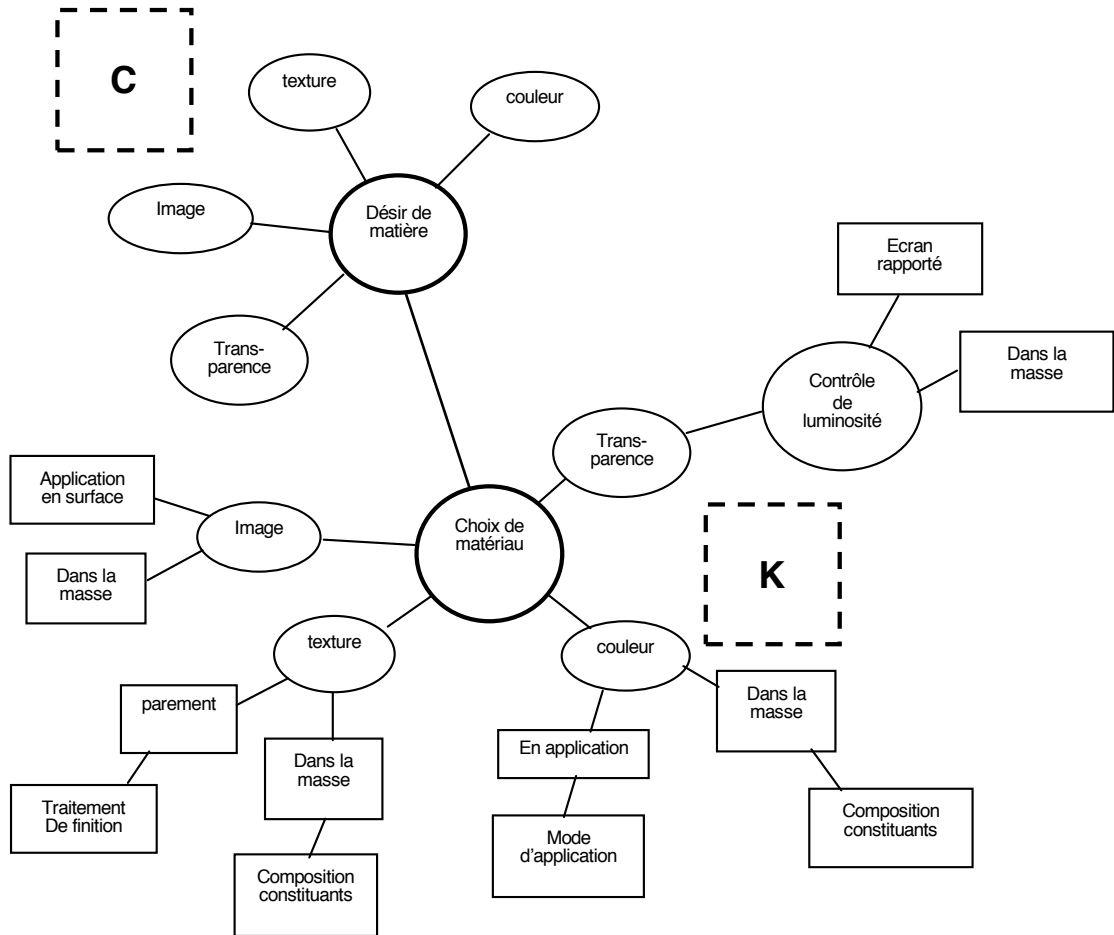


Fig. 30. Le concept de matérialité du point de vue des attributs de la matière imaginés dans le champ perceptif. (caractéristiques d'aspect)

Le désir de matière correspond à l'énoncé de la matérialité à l'état de concept, avec une description de ses attributs portant sur des caractères majeurs : couleur, texture.... Au désir de matière, correspond un choix de matériau doté de caractéristiques capables de correspondre aux attributs du concept, grâce à la variation des modes de production disponibles mobilisés dans l'espace des connaissances des acteurs de la matérialité.

La création de l'originalité ou de la nouveauté qui caractérise la conception dans la démarche architecturale peut trouver dans les processus de production, la réponse technique qui satisfait à sa concrétisation. Remarquons que nous faisons état ici des seules **caractéristiques d'aspect**. La définition des attributs d'un ouvrage ne concerne pas seulement ces caractéristiques. Celles-ci s'ajoutent aux paramètres d'ordre technique, réglementaire, économique... .

Notre démonstration avait pour but de montrer les correspondances qui existent entre les concepts de l'architecte et les savoirs de la production. Nous avons conscience que c'est une démonstration partielle. Cette remarque nous conduit à préciser que la caractérisation d'un ouvrage est complexe, qui nécessite parfois le recours à l'expérimentation dont les termes du processus sont développés dans les chapitres qui suivent.

4. Processus collectif et protocole

4.1. L'architecte expérimente malgré lui

Les trois chapitres précédents ont montré comment la conception architecturale, abordée du point de vue de la matérialisation, peut conduire à des expérimentations sur les éléments de matérialité. Nous avons vu que la nature de ces expérimentations varie selon les acteurs de la matérialité auxquels s'adresse l'architecte pour les réaliser. Quelle que soit sa nature, on constate que c'est **un processus collectif** qui met en œuvre des modes opératoires et abordent des champs de connaissances différents. Il convient de s'interroger sur les caractéristiques de ce processus, son fonctionnement, ses règles (s'il en a), ses modes de contrôle. En matière d'expérimentation scientifique, le processus devient protocole, destiné à définir les composantes et le déroulement des expériences selon une approche contrôlable et reproductible. Peut-on considérer que le processus expérimental mis en place au cours du projet s'apparente à ce type de protocole ? Si oui, comment fonctionne-t-il ; sinon, selon quelle démarche l'expérimentation est-elle développée ?

Rappelons que l'expérimentation apparaît dans la démarche de conception architecturale lorsque les réponses que peuvent apporter les acteurs de la matérialisation ne répondent pas aux attentes de l'architecte. En effet, la motivation de l'architecte ne correspond pas à l'expression d'un désir (ou une nécessité) d'expérimenter. S'il expérimente, c'est un peu contraint et forcé, pour satisfaire aux exigences du projet architectural. L'objectif de l'architecte est de concevoir une architecture et non pas d'expérimenter une mise en œuvre de matériau, quelles que soient les circonstances de cette mise en œuvre (chantier, atelier, usine).

En effet, les représentations mentales qui président aux premières définitions de la matérialité dans la démarche de conception architecturale, ne s'élaborent que très exceptionnellement en fonction d'un élément de matérialité précis et identifié. Par exemple, dans le cas de l'église Notre Dame de l'arche de l'Alliance le concept initial des architectes ne concerne pas un nouveau système de façade en bois. Ce n'est que lorsque se posera la question de la conception de la concrétisation de la façade de l'église que les architectes seront conduits à expérimenter, explorant les performances d'un matériau existant dans un

autre domaine d'application. Cette expérimentation, qui n'est qu'un transfert de technique, a une capacité à se transformer en innovation industrielle dès l'instant que l'industriel producteur s'empare de l'expérimentation effectuée à l'occasion du chantier de l'église. Il a la possibilité de développer une nouvelle application de son procédé de fabrication de faux bois, selon le modèle d'innovation « radical-incrémental », c'est-à-dire que le procédé de fabrication n'est pas fondamentalement modifié mais l'innovation procède d'une incrémentation de nouvelles caractéristiques de production, définies à l'occasion de la conception architecturale (Le Masson & al, 2006).

Nous avons vu que l'organisation de la production du Bâtiment s'identifie par une prédisposition à adapter ses modes de fabrication à chaque nouvelle réalisation, grâce à une capacité à faire varier des paramètres, compatible avec la conception de l'architecte. Cette capacité d'adaptation intrinsèque autorise, dans la plupart des cas, **la concrétisation de l'originalité** requise par le projet architectural qui élabore un objet caractérisé par son unicité (voir chapitre 3). Lorsque l'adaptation est impossible à réaliser, l'architecte est contraint d'expérimenter. L'expérimentation, aspect particulier de la conception, tout en restant incluse dans le projet architectural global, se développe selon un processus spécifique qu'il convient d'analyser pour mettre à jour sa prédisposition éventuelle à se transformer en un processus d'innovation industrielle.

4.2. La question du protocole.

A aucun instant de leur témoignage, les architectes n'ont fait état de la mise en place d'un protocole, procédure réglée destinée à guider les étapes de la conception expérimentale. Cette méthode de travail, familière des chercheurs ou des équipes de recherche-développement, n'appartient pas à la tradition architecturale. Situé à l'intérieur du projet architectural, le processus expérimental dépend de l'organisation du projet et notamment de sa structure contractuelle qui fixe les échanges entre les acteurs. L'enchaînement des études s'apparente à celui du projet, avec des arrangements spécifiques inventés au gré des situations, destinés à répondre aux particularismes de l'expérimentation. Essayons de comprendre pourquoi le modèle du protocole classique ne peut pas s'appliquer à la démarche architecturale.

4.2.1. *Le protocole d'expérimentation scientifique.*

L'expérimentation, dans les domaines scientifiques de nombreuses disciplines, se fonde sur l'isolement d'éléments afin de les soumettre à des phénomènes élémentaires. Cette dissociation des éléments du réel a pour vertu de réduire les interactions à observer afin de

pouvoir mieux les apprécier et les maîtriser. Les modes opératoires propres à l'expérimentation s'enchaînent classiquement selon le protocole suivant :

- formalisation d'hypothèse à la suite d'observations préalables
- réalisation d'expériences (manipulations + résultats)
- analyse des résultats/ confrontation à l'hypothèse
- interprétation et prédiction.

Le premier décalage provient de la nature même de l'expérimentation. Dans le projet architectural, « la procédure expérimentale vient confirmer le concept initial, à l'inverse de certaines démarches de recherche dans lesquelles, l'expérimentation est basée sur l'observation expérimentale qui constitue le concept du point de vue théorique » (Boudon, Deshayes, rapport non daté). À l'inverse de la recherche scientifique qui utilise l'expérimentation pour fournir la preuve de l'exactitude d'une hypothèse en vue de formuler une théorie, la conception architecturale agit avec l'expérimentation dans le but de rendre opérationnels les objectifs définis par une hypothèse de départ. En effet, l'expérimentation n'a pas à démontrer la validité d'une hypothèse, mais sert plutôt à en explorer la faisabilité. La nécessité d'expérimenter n'a pas pour but de révéler des phénomènes encore inexpliqués mais consiste à résoudre la contradiction qui s'exprime entre un objectif (le concept architectural) et les moyens à disposition pour le matérialiser. La fin se place avant les moyens. Il s'agit d'un mode de raisonnement différent dans lequel la fin guide la recherche.

La deuxième différence fondamentale s'explique par la nature de l'objet, support de l'expérimentation. La réalisation définitive concerne un ouvrage unique, qui a vocation à n'être mis en œuvre qu'une seule fois. La reproductibilité des expériences, inhérente aux protocoles scientifiques, n'a ici pas d'utilité car le contexte est toujours différent, et la notion de prédiction y est vaine.

Enfin, la troisième différence importante concerne les acteurs impliqués par l'expérimentation. L'interprétation des phénomènes observables au cours de l'action expérimentale doit être effectuée par plusieurs catégories d'acteurs aux langages différents sinon divergents, ce qui condamne une organisation fermée et trop réglée.

Toutefois, l'expérimentation ne peut advenir sans organisation préalable, même si elle ne répond pas à un protocole prédéfini. Considérons que la démarche conceptuelle adopte pour l'occasion une **posture de recherche**, et examinons-en les incidences. A partir des concepts qui s'érigent en hypothèses, les architectes interrogent les champs de

connaissances capables de nourrir les études qui pourront donner corps à l'hypothèse, tout en respectant les règles de l'art et la réglementation. L'organisation est tributaire de « l'organisation-mère » qui est définie par le projet d'architecture, son système relationnel entre les acteurs, son économie, ses temporalités, ses savoirs et savoir-faire, ses outils.

De ce fait, l'expérimentation en architecture peut se caractériser avec plus de pertinence, en référence à un processus conceptuel continu destiné à définir un ouvrage dont la technique de mise en œuvre n'est pas encore connue. Les éléments qui le caractérisent sont essentiellement :

- des acteurs (leurs fonctions, leurs rôles, leurs savoirs)
- des concepts développés par des connaissances pour résoudre des problèmes
- des modes de représentations.

Pour saisir ce fonctionnement particulier, regardons vers la « recherche-action », type de recherche définie par des ethnologues dans les années quarante (Georges Lapassade 1991-1993), dont le principe est basé sur un processus continu d'acquisition de connaissances, utiles à la progression de l'action. Examinée selon cette approche, on peut admettre que l'expérimentation en architecture produit des connaissances en convoquant des savoirs de différente nature qui participent à l'action en cours : l'édification architecturale. Dans la recherche-action, le processus de recherche est défini par « un protocole de travail [...], destiné à veiller aux conditions d'efficacité dans l'échange entre les acteurs, la prise de décision, la production de l'information et des connaissances » (ibidem). Pour analyser la procédure expérimentale à l'œuvre dans la conception architecturale, il semble que l'adoption du modèle de protocole de travail issu des principes de la recherche-action soit plus efficace à expliquer son fonctionnement que le modèle issu de la recherche scientifique fondé sur la formulation d'hypothèses validées par des expériences reproductibles. Nous détaillerons ainsi:

- l'échange entre les acteurs
- les modes de décision
- la production des connaissances

L'examen de ces termes de l'action expérimentale nous paraît pouvoir rendre compte des réalités de ce processus complexe basé sur l'intervention de nombreux acteurs de culture différente.

4.3. L'échange entre les acteurs.

La première étape de la mise en place du protocole de travail consiste à établir les termes de la coordination de l'expérimentation.

Une organisation se met en place, destinée à rendre l'expérimentation possible :

C'est assez simple, mais cela demande de la coordination. [...] C'est une question de synthèse et de volonté pour fédérer les énergies qui permettront que cela puisse se faire. L'intelligence nécessaire est bien souvent en dehors de l'agence, dès l'instant qu'on a mis en place les conditions pour que cela soit possible. [...] Cela se passe au moment des pièces écrites, avec les détails. C'est la stratégie qu'on met en place au départ. (Emmanuel Combarel)

La coordination décrite par Emmanuel Combarel et Dominique Marrec, à l'occasion de l'expérimentation de l'enveloppe en Ductal®, atteste d'une démarche conceptuelle collective, mise en place volontairement par les architectes qui s'affirment comme pilotes des apports de chacun des métiers, dans l'agence mais aussi à l'extérieur de l'agence. Il est fait référence à deux catégories d'acteurs. Les uns, internes ou familiers de l'agence. Il s'agit de l'équipe de maîtrise d'œuvre constituée des architectes et des ingénieurs. Les autres, « en dehors de l'agence », qui représentent les savoirs des métiers de la matérialité, en l'occurrence l'ingénieur de chez Lafarge et le bureau d'études de Betsinor qui fabrique les moules. Ce partenariat est essentiel du point de vue de la conception pour assurer la continuité des études, pour que les définitions conceptuelles trouvent une réponse juste lors du passage à la concrétisation.

En écho à ces deux formes de conception, celle de la maîtrise d'œuvre interne à l'agence et celle des métiers de la matérialisation, s'affirment deux processus économiques. Lorsque Paul Vincent évoque la conception du composant de façade en terre cuite, il met en parallèle deux processus aux intérêts indépendants.

Pour innover et pour développer des matériaux qui vont se vendre par la suite, comme la terre cuite de Guiraud qui a été un vrai succès commercial, il faut un client qui veut bien mettre un peu d'argent, un architecte qui veut bien passer du temps, donc il faut des honoraires décents. Et puis des industriels qui vont ensuite tirer profit de cela. Il y a toute une mécanique. (Paul Vincent, RPBW).

Le client « qui veut bien mettre un peu d'argent » représente le maître d'ouvrage de l'opération architecturale qui encourage l'architecte à s'engager dans une expérimentation. Son intérêt se manifeste par la confiance qu'il accorde à l'architecte le créditant de pouvoir

créer, par ce biais, une valeur supplémentaire pour l'opération. Dans ce cas précis, cela correspond à de la valeur financière : sur le chantier, les temps de montage sont réduits du fait de l'accrochage à sec ; en maintenance, les coûts énergétiques sont réduits du fait du système d'isolation par l'extérieur. Cela correspond aussi à une valeur de notoriété apportée par la qualité esthétique du composant. Parallèlement, Paul Vincent évoque l'engagement de l'industriel qui pourra tirer profit de cette conception en la transformant en une conception de produit gérée par le service de recherche et développement de l'entreprise.

Le témoignage de Paul Vincent souligne l'existence de deux processus économiques qui se développent en parallèle pour la même conception expérimentale, celui qui concerne la réalisation architecturale et celui qui concerne le développement de produit industriel. Chacun de ces processus est caractérisé par une organisation, un mode de financement, une temporalité et des acteurs qui sont étrangers les uns aux autres, parfois incompatibles entre eux (on pense ici aux temporalités de l'opération architecturale bien différentes de celles qui consistent à créer une chaîne de production pour un nouveau produit). Malgré ces différences, certains cas ont montré que l'incompatibilité apparente des deux processus peut être surmontée. On comprend que les handicaps sont élevés et que l'expérimentation ne peut aboutir que dans une synergie positive dans laquelle chacun des acteurs se mobilise. L'architecte en tant que concepteur, fédère les apports de connaissances des différents acteurs de ces deux processus. Ce rôle lui sera d'autant plus facilement consenti par chacun s'il a déjà fait la preuve de ses capacités à conduire des projets complexes. La notoriété de l'architecte est déterminante à cet endroit.

Remarquons par ailleurs que les handicaps générés par la présence simultanée de deux processus aux intérêts divergents créent une situation déstabilisante qui peut être créatrice d'innovation. Dès l'instant que l'ensemble des acteurs partage les objectifs de l'expérimentation, on peut imaginer que l'urgence et le défi apportés par la nécessité de réaliser l'opération architecturale avec la logique de fonctionnement qui lui est propre, peut créer une force d'émulation auprès des acteurs de la matérialité, gommant les comportements routiniers au profit de comportements plus créatifs. ⁽⁸⁾

Nous constatons que l'expérimentation se met en place dans le processus de conception architecturale avec l'intervention de nombreux acteurs parfois étrangers les uns aux autres. L'organisation des échanges entre les membres de ce partenariat occasionnel peut être

⁸ L'impact des « Grands projets » réalisés à Paris sous la présidence de François Mitterand est une démonstration éclatante de ce que peut représenter l'émulation d'une réalisation architecturale prestigieuse. Bon nombre d'opérations se sont accompagnées d'innovations techniques et constructives : le verre transparent du Louvre ; l'enveloppe des serres de la Villette...

considéré comme l'initiation du protocole de travail. Du point de vue de la conception architecturale, ces échanges sont animés et pilotés par l'architecte ou l'équipe de maîtrise d'œuvre qui coordonne les études et valide les résultats.

L'échange entre les acteurs s'accompagne de la mise en place de circuits de décision qui lui garantissent sa légitimité. Les modes de décision sont pluriels, à l'image de la complexité du processus.

4.4. Les modes de décision

4.4.1. L'initiative de l'architecte

Le processus décisionnel commence par une initiative, relayée par la volonté de faire.

L'initiative de l'expérimentation fait partie intégrante du concept élaboré à l'occasion de l'opération architecturale, même si le désir premier n'est pas orienté vers l'expérimentation. Elle appartient à l'architecte.

L'architecte étant à l'origine du projet d'expérimentation, il lui convient d'en assurer le bon accomplissement. Dans un premier temps, il doit convaincre le maître d'ouvrage de son intérêt. En effet, l'intervention du maître d'ouvrage de l'opération globale est déterminante, le développement de l'expérimentation technique comportant certains risques dus au fait que les solutions qui en résultent n'ont pas encore été éprouvées. De plus, son rôle dans l'opération est caractérisé par son pouvoir de décision.

4.4.2. Le rôle du maître d'ouvrage

L'intervention du maître d'ouvrage dans la démarche expérimentale est à l'image de ce qu'il effectue dans l'opération globale. Dans un premier temps, la confiance qu'il accorde à l'initiative de l'architecte est fondamentale. Cela correspond au désir et à la volonté de conduire l'opération aux côtés de l'architecte, au-delà des solutions éprouvées en affirmant le bien-fondé de l'expérimentation. Paul Vincent décrit cet engagement du point de vue économique :

Il faut aussi mentionner un autre paramètre, celui du client réceptif, intéressé par l'innovation, qui en comprend les différents aspects, le risque mais aussi l'avantage marketing. Il faut un client qui sache tirer profit de l'innovation et qui y participe.
(Paul Vincent. RPBW)

Pour le maître d'ouvrage, l'expérimentation se présente comme une démarche conceptuelle particulière, qui exige des études supplémentaires. Elle s'affirme comme un processus qui

s'ajoute à la conception globale. Cet ajout induit de prévoir des temps d'études supplémentaires, et un budget spécifique qui sont rarement introduits dans le budget initial.

La question posée en filigrane est bien celle de la **commande de l'expérimentation**, avec tout ce qu'elle sous-entend : volonté d'agir et prévision budgétaire. Le fait que l'expérimentation puisse se présenter comme une sorte d'accident de parcours de la conception architecturale, inquiète certains concepteurs qui souhaiteraient pouvoir développer des projets expérimentaux avec les moyens que cela sous-entend. Ils soulignent, comme Luc Boulais, la nécessité d'intégrer l'expérimentation dans l'appel d'offres de l'opération architecturale. En effet, dans la majorité des cas, le coût supplémentaire de l'étude nécessitée pour expérimenter est pris en charge par les architectes, dans le cadre de leur mission de conception, ce qui limite les possibilités d'action :

Il faudrait qu'il y ait plus de maîtres d'ouvrage qui aient envie d'expérimenter dans le cadre de leurs opérations. Pour les deux crèches auxquelles j'ai participé, ce sont les architectes qui ont financé l'étude. L'idéal serait que l'appel d'offres prévoit une recherche sur l'utilisation de matériaux pour optimiser les formes complexes par exemple. Cela signifie qu'il y ait des maîtres d'ouvrage qui acceptent d'aller jusque-là, vers un peu d'innovation. (Luc Boulais)

Pour le maître d'ouvrage, anticiper l'expérimentation dans la formulation du programme a une double incidence financière puisqu'il s'agit d'envisager un budget spécifique pour les études supplémentaires et de prévoir le coût des procédures de test. En effet, au coût de l'étude s'ajoute celui de la procédure de validation, réalisée en France grâce à l'Avis Technique Expérimental qui assure que la mise en œuvre prévue pour une opération, réponde bien aux critères des règles de l'art. Le coût de cette procédure étant rarement prévu dans le budget initial, Michel Delplace, associé de l'agence N.Michelin, décrit comment ils surmontent le handicap que cela représente si l'expérimentation s'avère nécessaire. Dans ces cas-là, ils anticipent la procédure d'évaluation dans les pièces écrites :

Nous stipulons dans le cahier des charges qu'il y aura une procédure d'ATEX à réaliser, parce que la mise en œuvre envisagée n'est pas conforme aux DTU. L'entreprise calcule son offre en conséquence, et elle a pour mission d'obtenir cet avis technique expérimental. (Michel Delplace. ANMA)

Michel Delplace souligne par ailleurs que selon les projets, ils adaptent les formes d'expérimentation au budget de l'opération, utilisant les différentes formules disponibles pour garantir les ouvrages : avis de chantier, adaptation d'un avis technique existant... .

Face au risque potentiel que représente la mise en œuvre originale de l'expérimentation, la position du maître d'ouvrage est donc déterminante. Bien qu'elle soit validée par une procédure qui garantit l'ouvrage, certains d'entre eux sont défavorables à l'expérimentation, le précisant dans le cahier des charges de l'opération comme l'indique Nicolas Michelin :

Parfois, le maître d'ouvrage stipule qu'il ne veut pas d'ATEX. (Nicolas Michelin)

ou préférant exclure cette procédure de leurs réalisations :

Les maîtres d'ouvrage ont horreur des avis techniques [...]. Ce sont les maîtres d'ouvrage qui nous limitent. (Christian Hauvette).

Christian Hauvette parle des limites apportées par le refus des maîtres d'ouvrage qui ont des difficultés à intégrer les procédures d'ATEX dans le déroulement de leurs opérations, indiquant par là que le maître d'ouvrage peut empêcher l'expérimentation. Il représente de fait l'autorité décisionnelle qui fait blocage lorsqu'elle est négative. A l'inverse lorsque cette autorité est positive, elle donne l'élan, dynamique indispensable au bon déroulement de l'opération qui nécessite de surmonter les blocages qui peuvent apparaître notamment dans la recherche des solutions. En effet, la démarche engage de nombreux acteurs, certains qui peuvent préférer se réfugier dans des raisonnements éprouvés, restreignant la conception avec des routines mentales incompatibles avec l'expérimentation :

En fait, ils ont un directeur remarquable (le directeur du Terminal Bus de la RATP), qui veut le projet. On a un maître d'ouvrage qui suit le projet, ce qui fait que tout cela a pu se faire. (Emmanuel Combarel)

En résumé, on comprend que le maître d'ouvrage est porteur de l'expérimentation technique, même s'il n'intervient pas directement dans le processus de conception. Son rôle est essentiellement « politique », par l'activation de deux leviers : le financement et le contrôle réglementaire. Ces deux contraintes agissent comme des curseurs dans le développement de l'action d'expérimentation, actionnés par le maître d'ouvrage. D'une part, la mise en place du budget de l'opération a pouvoir à la favoriser ou à en brider le développement. D'autre part, le contrôle réglementaire peut être opposé comme un facteur rédhibitoire, tout comme il est possible d'organiser la prise de risque en l'évaluant avec les compagnies d'assurance selon des critères plus adaptés.

Il est important de faire aussi état du rôle de l'entreprise leader dans la mise au point de l'expérimentation technique même si les architectes ne mentionnent que rarement cet aspect du processus décisionnel. Nous verrons au chapitre suivant, avec les témoignages des industriels, comment leur pouvoir décisionnaire s'intègre au processus d'expérimentation. Paul Vincent précise, à propos de la conception de la façade en terre cuite, que « Guiraud, était une petite entreprise très dynamique ». Derrière ce dynamisme se cache une volonté de produire de l'innovation. Sans l'initiative industrielle à vouloir développer une expérimentation, ni son autorité à imposer cette mission particulière aux équipes avec qui travaille l'entrepreneur, l'expérimentation ne débouche pas. On retrouve là les conditions habituelles de l'entreprise dans son aptitude à conduire l'innovation dans le service de recherche-développement. On peut considérer dans ces cas-là que la conception de l'expérimentation qui s'effectue dans le cadre de l'opération d'architecture représente le point de départ de l'innovation industrielle :

La terre cuite de chez Guiraud en est un exemple. Elle est vendue dans le monde entier. Ils en vendent même au Japon et ils ont su développer le produit de façon extraordinaire, chez Guiraud, puis chez Terreal, avec différentes façons de le monter. Ils ont continué à le développer. Initialement, il faisait 8 cm d'épaisseur ; il est passé à 4. Il est plus léger. On a même fait des essais en très grande dimension qu'on a montés sur la salle 3000 à Lyon. Il y a donc des gens qui savent faire. C'est vrai que Terreal fait maintenant partie de groupes financiers importants. Mais avant, Guiraud, était une petite entreprise très dynamique. Ils ont un laboratoire de recherche. Ils investissent dans la recherche. Mais il faudrait que des entreprises, même petites, fassent cela aussi. (Paul Vincent)

Sans la détermination du chef d'entreprise de Guiraud, sa clairvoyance et son esprit d'entreprise, il est probable que cette expérience presque manifeste n'aurait pas pu exister.

En conclusion, le processus décisionnel du protocole de travail qui se met en place pour réaliser l'expérimentation dans le cadre d'une opération d'architecture se traduit par un faisceau de relations de pouvoir. La volonté d'agir, caractérisée par une **capacité à initier et une capacité à imposer**, est partagée entre les acteurs qui interviennent à des niveaux différents :

- l'initiative revient à l'architecte, ou à la maîtrise d'œuvre (architecte et ingénieurs). Ils ont le pouvoir de lancer l'idée. Cela signifie que l'ensemble des acteurs se mobilise pour mettre en œuvre l'idée d'un seul d'entre eux. Mais on a vu que pour améliorer le

processus il est souhaitable que ce pouvoir soit relayé par le maître d'ouvrage, en prévoyant l'expérimentation dans le programme de l'action.

- L'autorité par laquelle s'opèrent les choix effectifs appartient essentiellement au maître d'ouvrage. Sa position de « client », c'est-à-dire d'acteur payeur, lui confère aujourd'hui un pouvoir incontestable. Certains architectes ont fait état, au cours des entretiens, de la disparition progressive de l'autorité morale habituellement reconnue à l'architecte, supplantée par un pouvoir plus diffus, partagé et contraint par la valeur économique dominante et par l'importance croissante des procédures réglementaires.
- La décision d'entreprendre qui appartient à l'acteur de la matérialité agit comme catalyseur dans l'expérimentation pour fournir les connaissances nécessaires. C'est aussi ce pouvoir décisionnaire qui transforme l'expérimentation en innovation.

La configuration de travail que nous venons d'examiner s'inscrit dans le processus de conception architecturale. Toutefois, les architectes ont mentionné d'autres occasions d'expérimenter sur la matérialisation de l'architecture, qui procèdent alors de circuits décisionnels différents.

Dans des cas exceptionnels, le groupe d'acteurs change et l'expérimentation n'est pas de même nature. Elle procède d'une volonté de recherche initiale, plus proche des processus d'innovation habituellement rencontrés dans les entreprises.

4.4.3. Décider d'expérimenter.

4.4.3.1. La recherche-développement.

Parfois, l'industriel fabricant a l'idée d'un nouveau produit et fait appel à l'architecte pour l'aider à le concevoir. Cette initiative s'inscrit dans la politique de recherche-développement de l'entreprise qui préfère s'adresser à un architecte plutôt qu'à un designer industriel pour concevoir un produit destiné à être prescrit par les architectes. Cette habitude est exceptionnelle en France (beaucoup plus répandue en Italie où le design de produit est une activité courante de l'architecte).

L'agence Piano procède parfois de la sorte, marginalement :

C'est vraiment dans le cadre du projet que commence le développement d'un produit. Il peut y avoir des exceptions, mais c'est relativement rare. Elles sont dues à un industriel qui vient nous chercher pour développer un produit directement. Nous l'avons fait. Malheureusement je trouve qu'en France les industriels sont très

pauvres dans leur approche au niveau du design, à part quelques exceptions. Je suis assez impressionné par le manque de recherche et de créativité au niveau du design chez les industriels. (Paul Vincent)

La dernière remarque de Paul Vincent fait état du comportement des industriels français peu enclins à valoriser une production conçue selon la méthode globale du design de produit, proche de la conception architecturale. Cette attitude est révélatrice de la culture dominante des entreprises industrielles qui valorise les déterminants techniques et commerciaux de la production au détriment de déterminants variés, capables d'introduire une innovation autre que technique. Ce constat n'est-il pas susceptible d'évoluer ? Les nombreuses recherches sur le développement des entreprises étroitement liées à leurs possibilités d'innovation, ne sont-elles pas symptomatiques d'une situation destinée à se modifier. L'innovation dans l'entreprise est de plus en plus fréquemment associée à sa capacité à concevoir, plaçant le rôle du designer à une place déterminante dans le processus.

Cette activité conceptuelle initiée par l'industriel dans le cadre du développement de sa production est assurée ponctuellement par les architectes, à la faveur de contacts antérieurs. Jean de Giacinto qui travaille depuis de nombreuses années les possibilités d'expression offertes par les matériaux composites polymères a participé à créer une gamme de produits dans le cadre de la création d'une entreprise qui souhaite développer cette technologie dans les produits de revêtements.

Cette expérience entre industriel et architecte a permis d'envisager de créer une ligne "Peaux Composites" pour industrialiser la technologie et continuer à développer ces recherches d'association entre les matières. (Jean de Giacinto)

Martin Robain chez Architecture Studio signale qu'ils ont eu l'occasion d'intervenir sur ce type de conception, précisant que la production répétitive qui le caractérise, protégée par le brevet, l'éloigne de la culture de l'agence :

Nous avons déposé des brevets. Enfin nous avons laissé déposer un brevet. Nous ne sommes pas pour les brevets. Pour le moment, nous ne sommes pas prêts pour déposer un brevet, mais tout à fait pour permettre le dépôt de brevet.[...] Nous n'avons pas voulu entrer dans ce système. Notre philosophie est différente. Nous ne voulons pas fonctionner sur les royalties parce que notre métier, c'est d'inventer. Si nous commençons à avoir des brevets et des royalties alors que nous sommes architectes (nous ne sommes pas des industriels) nous ne serons plus dans notre logique intellectuelle. Chaque projet est nouveau. (Martin Robain).

Martin Robain indique la façon dont ils interviennent dans la conception d'un produit innovant, issue d'une expérimentation effectuée à l'occasion d'un projet ou d'une demande spécifique d'un industriel, dont le développement est à protéger pour en assurer la rente économique. Si l'opportunité des études avec le monde industriel les conduit à élaborer une expérimentation capable d'être brevetée, ils considèrent que l'organisation de la rente outrepassent leurs compétences, comme si la logique de profit basée sur la production de série ne pouvait être compatible avec la logique intellectuelle qui vise à produire un projet toujours nouveau.

On peut aussi insister sur le fait que Renzo Piano ne veut pas tirer profit du développement des produits. Il considère que l'industriel fait un investissement, c'est donc à lui d'en tirer profit. (Paul Vincent)

On devine dans ces propos une prise de position morale. L'éthique de l'architecte n'adhère pas à ce système économique. La création de richesse est autre, de l'ordre de la connaissance. L'expérimentation dans le domaine technique et constructif est revendiquée et désirée par l'architecte dès l'instant qu'elle reste dans l'espace de liberté garanti par la mission traditionnelle de l'architecte, représentative de sa culture. Christian Hauvette concluant sur l'expérience réalisée avec les composants structurels en acier mis au point par Cibbap s'interroge sur la nature de la relation entre l'architecte et l'industriel qui étudie un nouveau produit :

Cette expérience questionne sur le rapport entre l'architecte de création et l'industrie. Les architectes ne se positionnent-ils pas comme de faux développeurs, une espèce de faux « service nouveau produit ». (Christian Hauvette)

Cette position radicale vis-à-vis de l'industriel témoigne, à sa façon, de l'opposition entre les deux systèmes de pensée. La production industrielle est traditionnellement basée sur la répétitivité, antinomique du désir de nouveauté qui caractérise la production architecturale. Si nous approfondissons ce rapport antinomique, on pourrait s'apercevoir que la répétitivité n'est admissible dans la culture architecturale que dès l'instant qu'elle autorise la composition. L'élément répétitif devient alors module, le produit devient système. L'utilisation du produit ne doit pas imposer une solution formelle pour que la conception puisse se maintenir dans un processus ouvert, condition essentielle de la conception architecturale. Sa forme et sa matière doivent pouvoir subir des adaptations compatibles avec le dessin (dessein) de l'architecte. Fondamentalement, l'architecte procède par adaptations, détournements ou transferts. Sa conception peut difficilement s'arrêter ou se satisfaire d'une production prédéterminée.

Ces témoignages font état d'une réelle distance entre les deux acteurs dès lors qu'ils sont extérieurs au projet d'architecture. C'est bien l'opération architecturale qui peut créer un lien signifiant. On comprend que la culture partagée est absente des pratiques : l'industriel n'a pas idée à faire intervenir l'architecte dans son processus de développement d'entreprise et parallèlement, l'architecte ne se reconnaît pas dans la mission de concepteur de produit.

4.4.3.2. Le mécénat.

Pour certains architectes, l'expérimentation devient une conduite d'agence se transformant alors en projet de recherche au fonctionnement spécifique. Cela les conduit à imaginer des montages d'opération particuliers à l'exemple de ce que fait Jacques Ferrier :

Je souhaite que l'agence fonctionne maintenant comme un laboratoire de recherche. La recherche sur la tour (bioclimatique) a été initiée avec EDF pour se poursuivre avec Lafarge. La résille a été imaginée en Ductal® , le béton ultra performant de Lafarge. (Jacques Ferrier)

Dans ce cas de figure, la conception architecturale ne se déploie pas pour une opération initiée par un maître d'ouvrage mais dans le cadre de recherches destinées à approfondir des concepts en fonction d'objectifs partagés par l'architecte et ses partenaires. Le financeur de la recherche a une fonction différente du maître d'ouvrage traditionnel. Il est sponsor de recherche, comme dans le cas décrit par Jacques Ferrier. L'entreprise participe à une recherche théorique destinée à produire de la connaissance sans application immédiate. Du point de vue économique, cet engagement correspond souvent pour les industriels à une promotion de leur notoriété, destinée à valoriser l'image de leur société qui investit dans des idées sans que cela ne corresponde à un marché précisément identifié. Ce cas est très exceptionnel.

4.4.4. Un processus décisionnel complexe.

En résumé, on constate que dans la majorité des cas, la conception de l'expérimentation technique est initiée dans le cadre du projet d'architecture, engageant un processus décisionnel double.

La démarche est amorcée par une volonté de faire, première forme de la décision déterminée par la conception de l'architecte. Cette volonté, ce désir, se développe grâce à une succession d'opérations dont l'avènement est soumis à l'autorité du maître d'ouvrage. Cette autorité a le pouvoir d'empêcher l'expérimentation ou de la faciliter. L'adage de Frank Lloyd Wright est toujours d'actualité « une bonne architecture, c'est un bon client ». Parallèlement, l'entreprise concernée par la fabrication de l'objet conçu a le pouvoir de

faciliter le processus, dès l'instant qu'elle décide d'investir en recherche interne (voir ch.7). Toutefois, son engagement prend naturellement forme dans le processus puisqu'il correspond à un marché. Il peut être plus ou moins important, selon le degré d'investissement consenti à l'expérimentation.

Dans certains cas marginaux au regard de la conception architecturale, la décision d'innover vient de l'entreprise qui fabrique. La conception n'est alors pas liée au projet architectural. En ce sens, elle se détache de la pratique architecturale ; elle lui est moins familière.

Cas encore plus rare, en France au moins, l'expérimentation est le fait de l'initiative d'un architecte qui décide de porter sa réflexion sur une recherche « hors sol » qu'il tente de développer avec un mécène qu'il aura su convaincre. Ce cas s'apparente aux travaux réalisés dans des laboratoires de recherche. On peut constater que ce type de recherche expérimentale sur les matériaux et les techniques constructives, initiée par la conception architecturale, n'existe dans aucun laboratoire de recherche français. Pascal Rollet qui a participé à la création des Grands Ateliers de l'Île d'Abeau dans la région lyonnaise figure parmi les professionnels convaincus de la nécessité de promouvoir des telles recherches physiquement réalisables avec cet outil. Les Grands Ateliers offrent la possibilité de réaliser les expériences qui intéressent les architectes comme la réalisation d'ouvrages à échelle 1 ou le test de panneaux de façade en situation. Les formes de ces recherches sont encore à l'étude :

Je pense que cela peut se faire à partir d'opérations réelles, capables de drainer des financements compatibles avec l'expérimentation. Il faudrait des opérations un peu manifestes pour mobiliser à la fois les laboratoires des écoles, des étudiants, des enseignants, peut-être des industriels. Ce n'est pas sûr (que les industriels soient intéressés) car ces expérimentations sont peut-être trop basiques pour eux. Je pense plutôt à des gens de la promotion qui se posent des questions sur la production du logement par exemple, comme Prouvé l'avait fait pour l'Abbé Pierre.
(Pascal Rollet)

La recherche envisagée par Pascal Rollet est orientée essentiellement vers les techniques constructives, ce qui explique la réserve qu'il exprime vis-à-vis des industriels. Beaucoup d'architectes partagent ce point de vue, limitant les études de la matérialisation aux questions constructives, c'est-à-dire à l'assemblage des matériaux entre eux tels qu'on le pratique sur les chantiers depuis des millénaires (ou presque). Pourtant la production de la matérialité s'est profondément modifiée et le réel déplacement de valeur ajoutée du chantier

vers la production des produits ou semi-produits devrait encourager à associer des recherches avec les industriels.

4.4.4.1. A qui profite l'expérimentation ?

En conclusion, l'étude des formes de décision présentes dans le protocole de travail expérimental a révélé des modes de financement diversifiés, eux-mêmes révélateurs de formes de recherche :

- l'expérimentation est financée dans le cadre de l'opération architecturale commandée par un maître d'ouvrage. La fabrication est celle d'un objet unique, de ce fait le produit de l'expérimentation est de type prototypique. Le profit de l'expérimentation revient à l'opération d'architecture et participe à accroître les concepts architecturaux dans leurs principes constructifs et leur concrétisation. En France, cette forme est la plus courante.
- L'expérimentation s'inscrit dans le processus de recherche-développement de l'industriel et aboutit à une innovation dans le processus de production. La fabrication est en série ou du moins reproductible. Cela correspond au point de vue des industriels (étudié au chapitre 7).
- L'expérimentation s'inscrit dans un processus de recherche plus fondamentale. La production est de l'ordre de la connaissance. Cela pourrait représenter une perspective de recherche dans le cas d'une association entre les acteurs économiques et universitaires

4.5. Consultation et production de connaissances

Au cours de l'expérimentation, l'activité de conception met en place des procédures de consultation de connaissances dans un double objectif : enrichir les attributs du concept d'une part et préciser les caractéristiques de l'ouvrage en termes réalistes du point de vue de la fabrication d'autre part. Ces procédures favorisent la concrétisation des concepts sans perte de substance tout en optimisant les possibilités de mise en œuvre proposées par l'outil de production. Les deux intelligences, celle de la conception architecturale et celle des savoirs de production, s'associent en une seule et même pensée dans l'élaboration de l'objet expérimental. Mais cette union n'est pas immédiate. Elle est précédée d'une étape conceptuelle fondatrice qui correspond dans les marchés publics aux études effectuées avant l'appel d'offres.

4.5.1. *L'approfondissement technique des concepts*

Lors de la conception effectuée dans le cadre de l'expérimentation, l'architecte approfondit les caractéristiques constructives et techniques qui identifient l'originalité de l'ouvrage en cours de conception. Il transpose des propositions constructives et matérielles préalablement validées. Il détaille les moyens techniques par lesquels l'ouvrage sera réalisé, anticipant à la fois sa forme finale et les étapes de production. Pour formaliser cette étape de la conception, l'architecte produit des documents graphiques détaillés qui représentent avec le plus d'exactitude possible l'ensemble des objets techniques qui entrent dans la composition de l'ouvrage.

La démarche conceptuelle mise en œuvre à cet endroit est identique à celle de la conception de la matérialisation, à la différence près qu'il n'y a pas d'antériorité de fabrication. Le recours aux modèles constructifs comme il est habituellement pratiqué dans les projets d'architecture est inopérant. Il est nécessaire de rechercher de nouvelles réponses à la conception de mise en œuvre de l'ouvrage, en modifiant des modèles existants ou en inventant de nouveaux modèles. L'action développée pour y parvenir convoque des savoirs spécialisés capables d'élaborer les modèles de fabrication adaptés au concept.

On peut admettre qu'il y a deux étapes importantes dans la conception du projet constructif : la première consiste à développer en détail la conception architecturale du point de vue de sa concrétisation matérielle ; la deuxième consiste à développer la conception technique dans le respect des concepts architecturaux préalablement définis. Ces deux étapes dans le

déroulement du processus de l'opération sont communément séparées par la procédure d'appel d'offres.

4.5.2. Des savoirs spécialisés, avant l'appel d'offres

La méthode de conception de l'agence Piano qui a développé une pratique originale d'études des composants matériels du projet est démonstrative du type d'enrichissement réalisé à cette étape. Cela correspond à la recherche d'attributs supplémentaires au concept initial, issus de la consultation de connaissances expertes. Le choix des experts, placé sous la responsabilité de l'architecte, oriente la définition des concepts.

Il y a deux types d'études. La première se fait ici, dans l'agence, éventuellement avec des consultants qui sont associés à la recherche. C'est un travail qui se fait en amont de l'appel d'offres, pendant les études avec des consultants. Ce sont des bureaux d'études que nous choisissons et que nous animons pour alimenter le processus de création. [...] Ce sont très souvent des ingénieurs mais sur Nouméa, un ethnologue nous a beaucoup aidés à avancer sur le projet. Même s'il n'a pas participé directement au niveau du choix des matériaux, il nous a apporté son savoir sur la culture kanake dont nous avons tenu compte. Cette étape est comme une nourriture intellectuelle et sensible. (Paul Vincent)

L'apport de connaissances est destiné à enrichir les concepts avant de définir les solutions concrètes qui figent l'objet dans une forme matérielle. À cette étape, la formalisation n'est pas complètement arrêtée, susceptible de pouvoir accepter les propositions qui viendront des savoirs des métiers de fabrication, pour régler notamment les aspects procéduraux de la matérialisation (capacités réelles des modes opératoires).

Le choix des connaissances et leur application dans la démarche de conception participe à formaliser l'identité du concept et sa valeur. L'identité se manifeste par différents modes d'expression comme le potentiel expressif de l'ouvrage, ou son ingéniosité technique, ou son inventivité constructive (Lebahar, 2007).

Reprenons les exemples décrits précédemment pour observer les connaissances qui sont mobilisées pour enrichir les concepts. On peut constater que les concepts sont choisis en fonction d'une stratégie d'études qui correspond aux aspects que l'architecte souhaite valoriser.

Citons trois exemples représentatifs des trois d'expression évoqués par Jean Charles Lebahar.

4.5.2.1. Ingéniosité architecturale et technique.

Dans le cas de l'opération de Nouméa, l'expérimentation s'est portée sur la conception du système de ventilation naturelle de l'équipement, en référence à un système social. Le concept se concentre dans la création d'une forme architecturale originale qui assure la climatisation des volumes. Les connaissances convoquées croisent les pratiques et les codes traditionnels d'un groupe social (ethnologie) et la conception des dispositifs de ventilation naturelle (hygrothermique).

Il en résulte un projet marqué par sa puissance symbolique et son attention aux usages.

4.5.2.2. Inventivité constructive.

Dans le cas de l'étude de la tour bioclimatique effectuée par Jacques Ferrier, l'apport d'expertise avec la participation de l'ingénieur Jean Marc Weil a permis de concevoir une structure originale de la résille bioclimatique. La conception s'est effectuée en superposant deux caractéristiques techniques du matériau, (sa mise en œuvre en éléments de grande finesse et sa remarquable résistance à la compression), au concept architectural de résille bioclimatique. Il en est résulté une conception constructive originale dans laquelle « le brise-soleil » participe à reprendre des efforts de la structure du bâtiment. Les connaissances convoquées additionnent les compétences de l'ingénieur de structure et les connaissances préexistantes de l'architecte.

Il en résulte un projet de haute technologie constructive.

4.5.2.3. Expressivité de la façade.

Lors de la mise au point de la façade du laboratoire de l'Ecole d'Architecture de Bordeaux, Jean de Giacinto a croisé les savoirs d'ingénierie des composites, de l'art photographique et le savoir-faire de l'entreprise.

Pour concevoir la réalisation de l'ouvrage, l'architecte a mis en place une action qui lui permettait d'évaluer pas à pas la correspondance entre ce qu'autorisaient l'outil de production et son idée première. Il a choisi de procéder par essais physiques, sous forme de maquette en vrai matériau, seuls artefacts capables de rendre compte du potentiel expressif recherché.

Il en résulte un projet marqué par le pouvoir d'évocation de l'image.

Ces exemples sont représentatifs de la façon dont les architectes envisagent la matérialité dans le projet, révélateurs du développement de l'action qui conduit le concept à sa matérialisation.

4.5.3. Le signifiant technique.

Les connaissances convoquées à cette étape de définition du projet constructif qui ont pour effet d'enrichir le concept du point de vue de sa réalisation procèdent d'un cheminement conceptuel analogue à celui qui consiste à créer de la signification lors de la définition de la matérialité de l'objet architectural. Ce processus inauguré dès la formulation des premiers concepts ne fait que se poursuivre, en s'enrichissant des expertises du domaine constructif et technique. Le choix de ces expertises est de ce fait déterminant dans le déroulement de la conception puisqu'il conditionne la création du sens.

L'architecte élabore une stratégie d'acquisition des connaissances en vue de satisfaire aux transformations nécessaires à la réalisation du concept. Il peut s'agir de la résolution d'un problème technique posé par une question d'architecture, ou de l'expression d'une esthétique par la matière, ou de la transmission de valeurs traditionnelles d'un corps social dans un système constructif, pour reprendre les trois exemples précédemment décrits.

L'action consiste à inventer de nouvelles formes construites en guidant la transformation de la matière avec l'idée d'architecture, quelque soit l'origine de l'idée : création de confort, symbolique sociale, transposition de la nature dans l'artefact.

La caractéristique majeure de cette action se trouve dans la nature du processus de conception qui cherche à fusionner pensée architecturale et pensée technique en une seule et même pensée qui donne tout son sens à l'art de bâtir. Cette recherche est-elle différente de celle de l'architecte grec Callimachos, qui imagina un chapiteau comme une touffe de feuilles d'acanthé ? Le chapiteau corinthien ne résulte-t-il pas d'un état de l'art graphique en cours au Vème siècle avant JC qui a rencontré le savoir-faire des tailleurs de pierre, bâtisseurs de l'époque, enclenché par un désir de nature à inscrire dans un des organes clés de l'édifice ?

4.5.3.1. Degré de définition des études.

Cette étape de l'action conduite par les acteurs de la conception (opposés aux acteurs de la fabrication qui intégreront à leur tour des activités de conception), aboutit à une représentation de l'ouvrage en projet qui doit « constituer une anticipation du processus de production économique et non pas simplement la définition d'un objet idéal ». (Michel Conan, 1990). Cette anticipation prend forme avec le dossier d'appel d'offres qui détaille les aspects techniques de l'ouvrage en fonction d'un budget imparti, détails effectués avec plus ou moins de détermination selon l'organisation des agences.

Chez Architecture Studio, par exemple, ces documents sont établis dans le but de définir avec le plus de précision possible les attributs de l'ouvrage. Ce qu'évoque Martin Robain

pour la conduite de l'opération vaut aussi pour la définition de l'objet sur lequel porte l'expérimentation.

Au stade de la conception, nous essayons de définir au maximum l'ensemble du projet. Nous travaillons plutôt à l'anglo-saxonne. c'est-à-dire nous essayons, bien qu'on ne soit pas très bons en France, de définir le plus possible les données de l'opération avant que l'entreprise n'arrive.(Martin Robain)

4.5.3.2. Réduire l'écart entre la conception architecturale et les capacités de production

Cette étape de la conception fait l'objet de représentations techniques détaillées, destinées à être évaluées par les entreprises du point de vue de la faisabilité des ouvrages. Pour interpréter ces informations, les entreprises se réfèrent aux modèles constructifs qu'elles connaissent et aux outils de production qu'elles possèdent. Dans le cas de l'expérimentation, une interprétation s'impose, avec le risque d'une éventuelle méprise. La maîtrise d'œuvre possède un moyen de contrôle par le biais de la vérification du dossier d'exécution réalisé par les entreprises. Cette procédure de contrôle donne la possibilité aux concepteurs d'apprécier l'écart éventuel entre la proposition de l'entreprise et le projet détaillé. Est-ce suffisant ? Pour préserver l'intégrité des caractéristiques de l'objet conçu il est important que la maîtrise d'œuvre soit à même de définir les marges de la différence. Pour certains critères, notamment architecturaux, ils sont les seuls à pouvoir apprécier la valeur de l'écart entre le concept imaginé et la conception de la concrétisation. C'est un postulat de l'expérimentation. En effet, pour réduire cet écart, il convient de gérer les contraintes de l'outil de production en optimisant ses performances et ses capacités et non en réduisant les attributs du concept. L'application de ce postulat est conditionné par la mise en œuvre d'une action de conception partagée au cours de laquelle maîtrise d'œuvre et entreprise finalise la conception de l'ouvrage. Nous verrons ultérieurement que le prototype représente un véritable espace de rencontre entre les deux systèmes (architectural et de production), capable de considérablement réduire les incertitudes inhérentes à la production expérimentale.

4.5.3.3. Transmission directe des informations

On peut remarquer que dans certains cas, autorisés aujourd'hui par les nouvelles technologies de gestion des informations numérisées, cette transmission se fait directement entre l'agence de l'architecte et l'unité de production :

Au niveau d'un appel d'offres aujourd'hui ; quand on fait une façade avec des formes courbes qui paraissent un peu folles, avec l'informatique, nous pouvons

repérer toutes les pièces. À l'appel d'offres ou même à l'exécution, on est capables de fournir au fabricant les fichiers informatiques du calepinage avec toutes les dimensions. (Martin Robain)

Cette procédure évoquée par Martin Robain est encore embryonnaire dans les métiers du Bâtiment mais préfigure ce qu'il adviendra progressivement pour la réalisation de certains ouvrages. Pour que ce processus soit possible il convient que la maîtrise d'œuvre possède le savoir-faire informatique spécialisé et que l'outil de production de l'entreprise soit piloté par des commandes compatibles. Ce modèle procédural reste exceptionnel et encore bien souvent expérimental. Il est développé à l'échelle de la pratique de l'agence par F.O. Ghery aux Etats Unis. Cette expérience particulière est décrite au chapitre 6.

4.5.4. Les savoirs et savoir-faire de l'entreprise.

Le protocole de travail engage deux groupes d'acteurs qui se succèdent dans le temps, séparé par la procédure d'appels d'offres. Nous venons d'examiner la façon dont le projet organise l'apport de connaissances avant cette étape du processus.

L'introduction des acteurs de la matérialisation constitue un nouveau groupe de travail capable d'apporter des connaissances d'une autre nature, connaissances qui conduiront le projet d'expérimentation vers les détails de sa fabrication.

4.5.4.1. La question de l'appel d'offres

Ainsi, la deuxième étape du protocole de travail consiste à intégrer les savoirs de l'entreprise pour finaliser la conception de la matérialisation expérimentale. Du point de vue des procédures contractuelles, l'entreprise intervient dans le processus après avoir répondu avec succès à l'appel d'offres. Commence alors l'étape dite « de l'exécution » au cours de laquelle l'entreprise définit les modalités de fabrication de l'ouvrage, dans l'enveloppe économique fixée lors de l'appel d'offres, et dans le respect de la réglementation. On peut constater que deux facteurs majeurs apparaissent : le coût et la réglementation, qui possèdent l'un et l'autre, le pouvoir de contraindre la conception. L'anticipation de l'effet de ces deux contraintes est réalisable dans le cadre de la conception telle que l'a décrite Martin Robain « en définissant le plus de données possibles avant que l'entreprise n'arrive ». Cet objectif conceptuel consiste à hisser les savoirs de l'entreprise au niveau de la conception, stratégie particulière qu'il est possible de mettre en place. Nous examinerons ce que cela signifie en termes d'expertises à solliciter.

Remarquons que l'intégration des savoirs de l'entreprise dans la conception, est une opération quasi obligatoire dans le cadre de l'expérimentation. Cette particularité de l'action la différencie d'une opération classique car il est ici fondamental que l'entreprise puisse intervenir aussi en tant que « sujet concepteur » pour reprendre l'expression de J.Ch. Lebahar (Lebahar, 2007). Dans les cas classiques, l'entreprise applique un modèle connu, qu'il soit produit de catalogue, procédure routinière ou tâche programmée. Dans le cas de l'expérimentation il s'agit d'inventer un nouveau modèle de production, invention qui procède d'une démarche de conception conduite par l'acteur de fabrication.

La procédure d'appel d'offres est antinomique de l'intégration des savoirs de l'entreprise dans la conception et nécessite de mettre en place des actions particulières. En effet, pour mener à bien l'expérimentation, la conception doit définir les aspects substantifs et procéduraux de la fabrication à réaliser. C'est par le jeu simultané de ces deux ordres qu'il est possible de se déjouer des contraintes en définissant avec précision les coûts de fabrication en satisfaisant aux réglementations.

4.5.4.2. S'approprier les savoirs de l'entreprise

Par ailleurs, la fabrication d'un ouvrage aux propriétés nouvelles, c'est-à-dire non répertoriées dans les procédures de production, induit l'adaptation des modes opératoires. L'exemple cité par Luc Boulais, à propos de la fabrication d'une passerelle de dix mètres en matériaux composites est symptomatique de cette situation.

Des entreprises peuvent interpréter cet objet comme une coque d'avion et imaginer un moule qui va coûter le prix de la passerelle. C'est pour cette raison qu'il est important de s'approprier le savoir de l'entreprise. Maintenant j'ai acquis une autonomie de ce point de vue-là, y compris pour l'estimation. Il y a cinq, six ans j'en étais incapable. (Luc Boulais)

Si la description du mode de fabrication de cet ouvrage spécial n'avait pas été effectuée dans le détail des modes opératoires, l'entreprise pouvait l'interpréter de façon erronée et mettre sa réalisation en péril du fait d'une offre dont le montant aurait été rédhibitoire. La conception des modes opératoires de fabrication par l'architecte ne figure pas parmi ses savoirs traditionnels. Luc Boulais, intéressé à la fabrication des composites a fait une démarche personnelle d'acquisition de connaissances :

Qui m'a appris ? C'est l'expérience avec l'entreprise. Je suis allé les voir, sur place. J'ai fait des stages. J'ai utilisé de la résine, je l'ai mise en œuvre. J'ai fait de petits reportages pour comprendre. (Luc Boulais)

La démarche de Luc Boulais est exceptionnelle et n'est pas vraiment représentative de la majorité des architectes. Pour intégrer le savoir des entreprises au moment de la conception, la majorité d'entre eux prennent connaissance des technologies de fabrication en visitant les sites de production, au gré des projets.

Dans le dernier projet que nous avons réalisé pour Air France, il y a des pièces moulées en béton. J'ai visité l'usine de moulage de béton. C'est important de mieux comprendre. J'ai visité le laboratoire de Ductal®. J'ai vu des expériences intéressantes qui auraient pu être exploitées. Toutefois la tour était quasiment terminée, cela n'a donc rien apporté au projet, mais nous avons vu les gens, où cela se fabrique ; c'est intéressant. (Jacques Ferrier)

Pour conduire l'expérimentation, cette simple curiosité est insuffisante. La conception des modes opératoires de fabrication nécessite une connaissance exacte sinon approfondie des techniques mises en œuvre. Ce savoir ne se trouve pas dans l'agence d'architecture, mais certains concepteurs, architectes ou ingénieurs ont acquis l'expertise de fabrication de telle ou telle technologie. De ce fait, pour instaurer un dialogue opérationnel avec les acteurs de production, les architectes consultent « le » spécialiste de la question, capable d'élaborer la conception technique de fabrication. Cette expertise particulière se compose de deux compétences majeures :

- être capable de décoder les représentations de l'ouvrage effectuées par l'architecte, sans omettre aucun de ses attributs,
- et être capable de transformer ces attributs en éléments du processus de réalisation.

4.5.4.3. Un savoir hybride

Cette capacité intellectuelle est le fruit d'un apprentissage préalable effectué à partir des deux champs de connaissances, celui de l'architecture d'une part et celui des savoirs d'une certaine technique de production d'autre part. Toutefois l'acquisition des connaissances ne suffit pas. Il faut aussi posséder une capacité à conceptualiser en associant les deux domaines de savoirs. C'est une posture conceptuelle fondée sur l'hybridation, moyen le plus sûr pour garantir la cohérence de la conception dans sa réalisation matérielle.

Mais les concepteurs spécialisés dans un domaine technologique sont assez rares. Leur savoir, hybride, peu commun, qui tient presque de l'étrangeté, fait la différence.

Ils ont un ingénieur extraordinaire ; il est génial.(E. Combarel évoquant l'entreprise Lafarge)

On a vu alors le spécialiste de la formulation des bétons, Jean Pierre Aury, un homme génial. Il a nous tout de suite dit que chez les Romains, on utilisait de la pâte de verre. Le verre réagit avec le ciment, mais pas la pâte de verre. Il a trouvé un fabricant de pâte de verre bleue et la formulation définitive du béton a été mise au point de cette façon. (Jacques Ferrier témoignant de la mise au point du béton aux éclats bleus d'un composant de façade)

Pour ce projet, nous avons travaillé avec un ingénieur, grand spécialiste de ce matériau (...). C'était un ingénieur inspiré (...); il avait l'air du savant cosinus. Il nous avait beaucoup séduit, mais en réalité, il s'est un peu planté dans ses calculs.(Martin Robain, à propos de la mise au point d'un brise-soleil en composite)

« Ingénieur génial, homme génial, ingénieur inspiré », ces qualificatifs inhabituels pour caractériser les capacités des consultants révèlent une sorte de savoir magique, comme si la transmission efficace des informations entre les deux univers de la conception architecturale et de la fabrication relève de l'exception. Cela indique aussi le caractère inhabituel de la démarche qui consiste à concevoir un objet architectural à partir des possibilités de l'outil de production. Dans la majorité des projets d'architecture, les deux champs de connaissances ignorent les champs conceptuels réciproques. On constate que dans les cas de démarche expérimentale, la conception innovante effectuée pour approfondir le concept procède de l'échange de connaissances.

4.5.4.4. Connaissances croisées

L'espace des connaissances mobilisé dans le cas de l'expérimentation recouvre :

- les savoirs de l'architecte et leurs capacités à simuler l'objet architectural projeté,
- les savoirs de l'entreprise dans leurs capacités à anticiper les modes opératoires nécessaires à la fabrication de l'objet
- et un savoir intermédiaire, hybride qui a vocation à assurer le lien entre les deux espaces de connaissances et de concepts.

4.5.4.5. *Raisonnement logique et intuitif*

Tentons de caractériser les modes de raisonnement apportées par ce savoir hybride et la façon dont elles opèrent dans une situation expérimentale, porteuse d'innovation.

Il s'agit

- d'une part, de développer les concepts formulés par les aspirations des architectes, en référence à leurs univers mentaux.
- et d'autre part, de mettre en application les performances des matériaux mis en œuvre, les procédés d'élaboration des matières premières, les modes opératoires du processus de fabrication,

Les modes de raisonnement mis en œuvre par ces compétences hybrides sont donc simultanément « en exploration » et cadrés. Ils sont en exploration intuitive parce qu'ils ont vocation à interroger les architectes sur la nature des attributs de leur concept pour les approfondir du point de vue des techniques de production, sans les altérer. Ils sont cadrés et logiques, parce qu'ils empruntent les modes de raisonnement guidés par les procédures de l'ingénierie de production.

Prenons un exemple cité par Jean Pierre Aury lors d'une de ses conférences. Un architecte lui demandait de formuler un béton blanc. La première question de JP Aury a été de préciser avec l'architecte si ce désir de blanc correspondait à un désir de blancheur ou à un désir d'ambiance claire apportée par la réflexion de la lumière sur les parois en béton. Dans un cas, il s'agissait de réaliser du béton avec du ciment blanc, processus plus coûteux et difficile à mettre en œuvre du fait du prix des matières premières plus élevées et des précautions particulières imposées au chantier, dues à l'extrême fragilité des parements. Dans l'autre cas, il était possible d'envisager un béton avec un ciment traditionnel clair et des charges claires. Le résultat escompté était un béton clair sans surcoût et assuré d'une exécution parfaite.

Cet exemple montre les deux aspects des compétences nécessaires :

- une capacité à expliquer la caractéristique architecturale d'une façon ouverte, avec un raisonnement qui préserve les attributs du concept tout en le préparant à une transformation compatible avec la production
- et une capacité à proposer une technique de production adaptée ; ce qui suppose une connaissance élargie de son potentiel de réalisation.

L'action de transformation, au sens d'Asimow (Asimow, 1962), porte à la fois sur les attributs du concept et sur la mise en œuvre de fabrication. Nous soulignons précédemment, en nous appuyant sur le constat de Hatchuel (Hatchuel et Weil, 2002), que dans le processus conceptuel innovant, les attributs du concept sont fixes. Cela a pour conséquence que la

recherche de la correspondance entre les attendus architecturaux et l'objet fabriqué porte sur la seule adaptation de l'outil de production. On voit ici apparaître une nuance dans ce mode de raisonnement grâce à la mise en place de compétences croisées capables de conserver l'intégrité de l'idée du concept, tout en l'aménageant. L'enjeu est de parvenir à maintenir la caractéristique « d'exploration » apportée par le mode de raisonnement de l'architecte, de savoir l'interroger avec une pensée proche de la sienne, s'appuyant sur les mêmes registres de valeurs. Il faut savoir penser la technique de production en langage d'architecture.

Dans notre démonstration, « les compétences conceptuelles hybrides » sont incarnées par le spécialiste, donné en exemple par les architectes interrogés. Mais au-delà de l'intervention d'un expert, on comprend qu'il s'agit de mettre en place une démarche de conception particulière destinée à établir des liens entre la conception architecturale et la conception de la fabrication. Cette action peut s'organiser de diverses manières :

- avec l'architecte et le spécialiste,
- avec l'architecte seul s'il a intégré les savoirs de l'entreprise,
- avec l'architecte et l'entreprise.

Ce dernier cas de figure est plus problématique à mettre en place, car comme nous l'avons vu précédemment, l'entreprise n'est pas connue avant l'appel d'offres et l'objectif de cette action est l'établissement d'un cahier des charges de fabrication.

Dans ce cahier des charges, il faut essayer de décrire tous ces aspects de maintenance, de remplacement, de fabrication [...] nous l'écrivons en amont du choix de l'entreprise. (Paul Vincent)

Et la difficulté pour établir ce cahier des charges n'est pas que procédurale, elle est aussi conceptuelle. « On a eu beaucoup de mal à entrer dans le concept du matériau » signale Emmanuel Combarel à propos de la préfabrication en Ductal®, alors qu'ils mettaient au point le système d'enveloppe du bâtiment de Thiais.

En conclusion, la conception d'un ouvrage ou d'un composant expérimental s'opère, pour l'architecte, grâce à un ensemble de dispositifs (connaissances, apprentissage, expertise...) qui permet l'appropriation des contraintes de la production.

4.5.4.6. Compétences requises / compétences effectives.

Les propos de Martin Robain au sujet de la consultation d'un ingénieur spécialisé, montrent un autre aspect de l'organisation des apports de connaissances destinés à définir la fabrication de l'ouvrage : celui des compétences effectives des spécialistes consultés.

L'évaluation des personnes qui vont constituer le potentiel d'études de l'opération participe de la pertinence du choix des experts, essentielle à la qualité du résultat. Cette évaluation est placée sous la responsabilité de l'architecte, sans vraiment dépendre d'un processus établi. Cet aspect du protocole de travail éclaire sur les méthodes d'organisation de l'équipe de travail. En France, les compétences d'ingénierie sont très rarement intégrées aux agences d'architecture, à l'inverse des agences anglo-saxonnes, américaines ou britanniques, qui possèdent des départements spécialisés capables d'intervenir sur les projets en fonction des compétences requises. Les équipes françaises se constituent au gré des projets. Cette organisation informelle du travail se trouve contractualisée dans le déroulement du projet, dans le cadre des marchés de maîtrise d'œuvre. Le maître d'ouvrage s'adresse désormais aux concepteurs sous la forme de groupements de compétences, piloté par un mandataire commun. Dès l'origine du projet, l'équipe s'organise pour répondre aux impératifs d'études spécifiques, déterminés par la nature de l'opération. Cette organisation des compétences fait partie du savoir-faire de l'architecte, acquis par l'expérience. Elle ne dépend d'aucune règle ou règlement et n'est inscrite dans aucun des cursus de formation des architectes. C'est une part « du métier » de l'architecte maître d'œuvre.

4.5.4.7. Les sources d'information et évaluation.

L'organisation des compétences de conception d'un projet répond à une procédure informelle basée sur des échanges entre personnes. L'architecte les choisit à partir de sources d'informations diverses. La renommée du consultant est une des premières sources d'informations, véhiculée par la presse spécialisée qui se fait l'écho des réalisations architecturales du moment, ou par l'avis des confrères. L'information sur les personnes est aussi très souvent relayée par le réseau personnel, groupement d'affinités que chaque architecte constitue à l'occasion de rencontres entre professionnelles, réunions syndicales, vernissages d'exposition, etc. L'architecte se constitue progressivement un carnet d'adresses, véritable réservoir de compétences potentielles. Une autre source d'informations provient des entreprises qui ont déjà été en contact avec le consultant informé des particularités de leur technologie.

L'évaluation effective des compétences de l'expert s'effectue en situation et temps réels, à l'occasion du projet. Il démontre à cette occasion sa capacité à répondre avec efficacité au problème posé et à faire état des connaissances qui s'y rattachent. C'est donc par l'expérience du travail collectif que s'acquière la certitude d'une compétence adaptée.

Cette observation met l'accent sur l'absence de règles explicites dans la mise en place des équipes de conception. Elle est aussi révélatrice de la faculté de la maîtrise d'œuvre à

agréger les compétences en fonction des projets, pratique figurant parmi les atouts de la conception innovante (Perrin, 2001).

4.5.5. L'entreprise : qualifications et/ou aptitudes.

4.5.5.1. Choix de l'entreprise.

Le choix de l'entreprise à la suite de l'appel d'offres demande une capacité d'évaluation de ses compétences effectives, d'autant plus importante pour les travaux expérimentaux. Ce type d'évaluation nécessite de connaître les modes opératoires adaptés à l'ouvrage conçu et de les prendre en compte dans l'évaluation des offres. Luc Boulais, dans un exemple qui concerne la fabrication d'ouvrages en matériaux composites, souligne les risques d'un outil de fabrication inapproprié.

Parmi les deux réponses à l'appel d'offres, une des entreprises proposait de réaliser les coques en époxy parce que son atelier se situe dans un lieu urbanisé où il est impossible de mettre en œuvre du polyester. Mais ils n'ont pas de chambre d'étuvage. Il est possible de se passer d'étuvage pour des petites pièces non techniques, mais pas pour des pièces de trois mètres de diamètre. Bien qu'ils prétendent pouvoir réaliser l'ouvrage dans ces conditions, je pense que si on n'étuve pas l'époxy à une certaine température, sa résistance n'est pas satisfaisante. Comment l'entreprise peut-elle garantir un ouvrage, si elle ne le fabrique pas selon les bons modes opératoires?(Luc Boulais)

Paul Vincent évoque un deuxième aspect lié à l'appel d'offres, qui porte sur la forme de l'entreprise chargée du chantier :

La difficulté, c'est qu'il faut effectivement faire attention au cahier des charges, mais aussi faire attention à la qualité de l'industriel. Il faut être bien entouré au niveau technique et faire attention au professionnalisme des entreprises et au type de groupement d'entreprises. Dès qu'il y a innovation, je dirais que c'est assez difficile de travailler correctement avec une entreprise générale. (Paul Vincent)

L'organisation des acteurs de la production influence le déroulement du projet lors de l'exécution, période au cours de laquelle l'expérimentation doit se réaliser. Lors de la transmission des informations entre la maîtrise d'œuvre et la fabrication, la conception de l'ouvrage subit d'inévitables transformations. Nous avons vu dans les paragraphes précédents, comment il est possible d'anticiper ces modifications, grâce à la mise en

application de connaissances à l'interface des deux univers. Toutefois, même très détaillée du point de vue de la fabrication, la conception n'est pas totalement achevée. L'interprétation des acteurs chargés de la fabrication opère une nouvelle conception. Ce processus d'enrichissement de la conception fait partie intégrante de l'expérimentation mais ne peut advenir, dans un projet d'architecture que dans le temps du chantier. Cette contrainte temporelle accroît les difficultés de réalisation de l'étude, difficultés surmontables dès l'instant que l'entreprise trouve un intérêt à s'engager dans cette conception innovante. Les réserves que Paul Vincent formule à l'encontre de l'entreprise générale peuvent s'expliquer par rapport à l'intérêt de l'entreprise.

En effet, le mode d'organisation de l'entreprise générale est basé sur sa capacité à gérer les différentes opérations du chantier. L'essentiel de la mise en œuvre est sous-traitée. L'entreprise générale est organisée pour produire en conformité à ses critères de fonctionnement interne destiné à optimiser son outil de production, constitué pour l'essentiel de bureaux d'études rompus à l'exécution des chantiers (planification, ordonnancement des manutentions...). La logique dominante est le plus souvent financière. Ce système d'organisation et de valeurs est rarement compatible avec les impératifs de l'expérimentation. La situation est aggravée par la distance réelle entre l'entreprise qui fabrique et le concepteur, du fait de l'interposition de l'entreprise générale.

4.5.5.2. « AVEC » les fabricants de composants.

Cette difficulté exprimée par Paul Vincent n'est pas un phénomène nouveau. Dans les années quatre-vingt, alors que la politique technique de l'Etat, représentée par le Plan Construction, incitait les acteurs du Bâtiment à rechercher des améliorations, sinon des innovations dans les modes de production, un groupement de dix architectes « le réseau AVEC », prônait déjà la nécessité d'associer les intelligences de l'agence d'architecture et celles des fabricants industriels pour améliorer les conditions de la production architecturale. Face à l'émergence des entreprises générales organisées à partir de leur bureau d'études, l'association aux savoirs des entreprises industrielles se présentait comme une réelle alternative, d'où l'idée de faire « Avec ». Jean Prouvé était membre d'honneur de cette association dont la majorité des membres réalisaient des opérations expérimentales sous l'impulsion du Plan Construction.

Par leurs travaux, réalisations architecturales et recherches, ces architectes ont mis en évidence les conditions opérationnelles de l'expérimentation en architecture. Beaucoup d'entre eux travaillaient à exprimer l'architecture par la mise en œuvre de composants, en explorant notamment les capacités de production par montage à sec comme l'autorise la filière bois. Parallèlement à l'exploration de la technologie bois qui était balbutiante en

France à cette époque, ils ont étudié des méthodes de gestion de projet s'appuyant sur l'outil informatique, autre domaine de recherche pour utiliser les composants. En 1983, l'ordinateur personnel commençait à peine à être commercialisé. L'expérimentation ne se basait pas sur la puissance de calcul mais plutôt sur le mode de raisonnement. Raisonner la conception architecturale à partir de l'outil informatique procédait d'une pensée constructive basée sur la composition d'éléments aux caractéristiques identifiables, fabriqués avant le chantier. L'action de ce groupe a mis l'accent sur la nécessité d'envisager la conception architecturale comme une coopération entre tous les acteurs, notamment les fabricants.

MANIFESTE DU RÉSEAU AVEC

Qui produit l'architecture en France aujourd'hui ? Les architectes, ou un tissu complexe d'acteurs aux logiques concurrentes, aux pouvoirs mal distribués et mal équilibrés : les donneurs d'ordre – élus locaux, maîtres d'ouvrage, usages – les concepteurs, les metteurs en œuvre – industriels, entrepreneurs, artisans... ?

Parmi les filières de production qui se constituent sous nos yeux entre ces différents acteurs, celles qui privilégient au maximum la dimension économique de la construction n'ont-elles pas déjà fait l'impasse de l'architecture ?

Spectateurs critiques de cette évolution, parce que nous voulons aussi en être des participants actifs, nous voulons être, nous voulons faire avec.

Que faut-il pour cela ?

- pour être plus performants, il faut sortir de l'isolement de nos agences, échanger des savoir-faire, mettre en commun des outils de travail, adapter, même au stade artisanal, une attitude industrielle.
- pour être reconnus comme des acteurs économique crédibles, il faut rationaliser nos méthodes d'évaluation et de gestion, retrouver une véritable maîtrise de l'oeuvre, apporter des garanties contrôlables de qualité.
- pour développer la synergie de nos échanges et stimuler une créativité enrichie de tous leurs apports, il faut ouvrir ces échanges au milieu professionnel et industriel qui nous entoure, développer des actions d'information/formation liées à la mise en œuvre de nos recherches et de nos expériences.

C'est pourquoi nous avons créé « AVEC »

RÉSEAU DE PARTENAIRES POUR LA RECHERCHE ET LA COMMUNICATION ARCHITECTURE/INDUSTRIE.

8 mars 1983.

Christian Gimonet

Jean Pierre Grava

Denis Grèzes

Nadia Hoyet

Bernard kohn

Lucien Kroll

Pierre Lajus

Roland Schweitzer

Jean Jacques Terrin

Jean Pierre Watel

Les architectes, membres fondateurs du réseau AVEC

4.6. Éclairages théoriques.

En conclusion de ce développement sur la nature du protocole de travail, on comprend que l'essentiel de la démarche expérimentale tient à la façon dont les multiples acteurs sont en mesure d'organiser le processus collectif capable d'élaborer les concepts et de les approfondir en convoquant des champs de connaissances divers.

4.6.1. *Le sens de l'action*

On a pu constater que l'organisation des compétences dans le projet d'architecture, notamment en situation expérimentale, est fondamentalement instable. Aucune situation ne ressemble à une autre. Le système est en perpétuelle invention de son fonctionnement. Cette caractéristique correspond à la configuration de l'action d'ordre informel décrite par Karl E. Weick (Vidaillet, 2003).

Pour préciser cette comparaison, rappelons les deux définitions des systèmes d'action qu'il a identifiés : « la structuration (de l'action) procède de l'interaction entre deux configurations. La première est de l'ordre de l'informel et participe de la construction sociale ; elle consiste en des mécanismes d'interactions qui permettent le partage des interprétations et la stabilisation du sens. La seconde est plus formelle ; elle correspond au cadre des contraintes (rôles, règles, procédures, scripts et relations d'autorités) qui donnent corps aux manières de penser dominantes et qui permettent d'épargner beaucoup d'efforts d'interprétation ». (Vidaillet, 2003). I

Il précise que le système informel se met en place par le biais d'interactions entre les acteurs, à différents niveaux, individuels, interpersonnels, et organisationnels. Ces interactions acquièrent leur sens (sensemaking) en créant du lien.

4.6.1.1. *Les liens entre les acteurs.*

Examinons comment la transposition du modèle de Weick de sensemaking dont l'outil de base est le lien, renseigne sur la mise en place de l'organisation du processus expérimental dans la conception architecturale, notamment dans la mise en place des concepts et la mobilisation des connaissances. Pour cela, il est nécessaire de se référer au processus dans son entier.

Au niveau individuel, relier les informations

Au niveau individuel, l'architecte établit des relations entre les informations éparses qui constituent les données du projet auxquelles s'ajoutent celles de son expérience personnelle. En reliant des éléments qu'il a préalablement extraits de la masse des informations au sein d'une représentation, il crée un ordre et donne du sens. « Le lien est

bien l'outil de base du processus ; [...] sans liens, pas de continuité entre passé, présent et futur, pas de cohérence entre actions, croyances, motivations ». (Vidaillet, 2003). L'architecte est confronté à une masse de données inorganisées et étrangères les unes aux autres. L'enjeu de la démarche de projet est de les identifier, de les trier, et de les relier pour créer une cohérence qui se manifesterait dans la forme architecturale bâtie. Nous avons vu que l'un des subterfuges employés par l'architecte consiste à élaborer un concept (ou des concepts), que nous avons identifié comme une métareprésentation. Le concept a aussi la vertu de créer le lien qui donne du sens à l'action.

Au niveau interindividuel, relier les logiques de pensée.

Au niveau interindividuel, le lien entre les personnes permet de se mettre d'accord sur les éléments du projet. « Fondamentalement, c'est parce que la réalité est confuse et équivoque que les individus ont besoin de s'influencer réciproquement pour parvenir à une stabilité de leurs représentations suffisante pour leur permettre d'agir. Les interactions sont également le support de l'identité individuelle dans la mesure où chacun, par le biais des interactions avec d'autres et de ce qui lui est renvoyé, construit, met à l'épreuve et fait évoluer son identité. Les interactions sont donc le support même de l'élaboration du sens » nous dit Weick (id.).

On a pu observer qu'en situation expérimentale, les liens entre les acteurs de la conception architecturale et ceux de la fabrication sont indispensables à la conception de l'artefact innovant. La conception procède autant des capacités de l'outil de production que de la description formelle et performantielle proposée par les acteurs de la maîtrise d'œuvre, architectes et ingénieurs. Sans l'accord entre les deux logiques de pensée et les deux espaces de connaissances qu'ils représentent, l'expérimentation ne peut pas aboutir.

On peut remarquer que le processus est différent lors d'un projet architectural effectué sans expérimentation constructive ou technique. Dans ce cas classique, l'action est organisée dans le cadre des marchés. L'intervention des acteurs est codifiée par les procédures d'appels d'offres. Celles-ci sont définies par des documents qui établissent la totalité des caractéristiques de l'ouvrage, en référence à des modèles de production (construction et fabrication industrielle) partagés par tous, qu'ils soient acteurs de la conception ou acteurs de la production. L'entreprise exécute en référence aux diverses représentations effectuées par l'architecte et l'ingénieur et en conformité aux règles de l'art.

Dans le cas de la création d'un ouvrage expérimental, la conformité aux règles de l'art devient un objectif à atteindre et non plus un modèle à reproduire. La règle devient sujet d'interprétation sur lequel l'ensemble des acteurs doit trouver un accord. Les procédures

d'évaluation des performances de l'ouvrage en fonction des standards performantiels établis par les règles, sont actées par les ATEX ou calculées grâce aux outils de simulation. Dans ce cas, l'action se structure par les échanges interpersonnels destinés à établir la conception « partagée » qui fait sens pour chacun des acteurs dès l'instant qu'il est porteur de l'accord collectif. Les réunions régulières organisées entre les acteurs pour résoudre chacun des points destinés à préciser la fabrication de l'ouvrage sont le lieu privilégié de ces liens nécessaires à l'action.

4.6.1.2. Une organisation éphémère

Un système faiblement couplé

Au niveau de l'organisation, on peut considérer que le projet d'architecture est « un système faiblement couplé », pour reprendre le raisonnement de Weick dans lequel l'idée de couplage, donc de lien, domine. La structure de l'organisation du projet architectural est éphémère (le temps de l'opération) et fragile. Son identité se définit par la souplesse des liens entre les éléments qu'elle gère. A l'inverse d'une entité homogène et stable, elle est constituée « d'un ensemble de processus de reconstruction et déconstruction permanentes, en fonction des liens créés et détruits »(id.). Cette caractéristique lui confère une capacité d'adaptation rapide, favorable à la conception. C'est dans cette dynamique que les concepts peuvent s'enrichir grâce à l'apport de connaissances issues de champs plus ou moins déterminés et grâce aux divers modes de représentation qui sont souvent convoqués simultanément.

La nécessité d'exploration des connaissances (tout autant que des concepts) qui caractérise la conception architecturale oblige à s'extraire des cadres et s'affranchir des règles, avec d'autant plus d'évidence qu'on est en situation d'expérimentation. L'agrégation des compétences par projet fournit la possibilité de donner du sens à l'action à accomplir, partagé par tous les acteurs.

Cadre et sens.

Remarquons que l'effet de boucle que décrit Weick entre l'organisation informelle issue de la structuration sociale et le cadre des contraintes, expression d'une pensée dominante, se retrouve dans l'agencement de l'action spécifique au processus de conception architecturale. « Cadre et sens peuvent être liés par des rétroactions positives »(id.). Les divers contrats qui scandent une opération d'architecture, pour les acteurs de la conception dans un premier temps puis pour les acteurs de la fabrication dans un deuxième temps, cadrent les procédures en fixant les obligations et en instaurant les relations d'autorité.

L'action progresse grâce aux règles de fonctionnement stipulées dans les contrats. C'est par ce biais que se stabilise le système relationnel.

Du point de vue technique on peut noter que la procédure d'ATEX à laquelle toute expérimentation doit se soumettre pour être acceptée au sein du projet d'architecture opère cette fonction de cadrage. C'est un moyen de caractériser et d'identifier l'artefact expérimental dans un système de codification qui satisfait aux critères de tous les acteurs.

4.6.2. Des actions en relation : coopération entre acteurs.

Un autre éclairage du processus peut s'effectuer par la modélisation du système d'actions en référence au métamodèle établi par le laboratoire CRAI (cf. chapitre 1). La modélisation du processus d'expérimentation empruntée à ces recherches met en évidence l'étroite relation entre l'expérimentation et la conception de la matérialisation (figure 31).

Cette modélisation met en relation les activités qui détaillent les opérations de conception :

- de la matérialisation
- de l'appel d'offres
- de l'expérimentation.

avec les acteurs qui interviennent dans le processus,

les outils utilisés pour la conception

et les artefacts produits par la conception.

Cette modélisation met en évidence les particularités de ce système d'action.

Il apparaît clairement que l'introduction de l'expérimentation dans le processus de conception de la matérialisation fait intervenir des acteurs spécifiques :

- le spécialiste de la conception du matériau
- le fabricant du pré-prototype
- les centres techniques.

La présence de ces acteurs spécifiques (hormis les centres techniques) est essentiellement due au fait que la conception de l'artefact expérimental doit être réalisée en l'absence de l'entreprise. Cette situation est générée par le mode de dévolution des marchés.

Imaginons que l'entreprise soit associée au processus de conception de la matérialisation ; la conception expérimentale pourrait s'y superposer, économisant une partie du processus de conception, mais la privant peut-être de sa capacité d'innovation que lui confère son organisation faiblement couplée. L'autre particularité fait apparaître la présence du prototype, spécifique à l'opération expérimentale. Il est un moyen d'échanges entre les acteurs dans le cadre de plusieurs formes d'actions. Son importance nécessite un développement détaillé, objet du chapitre suivant.

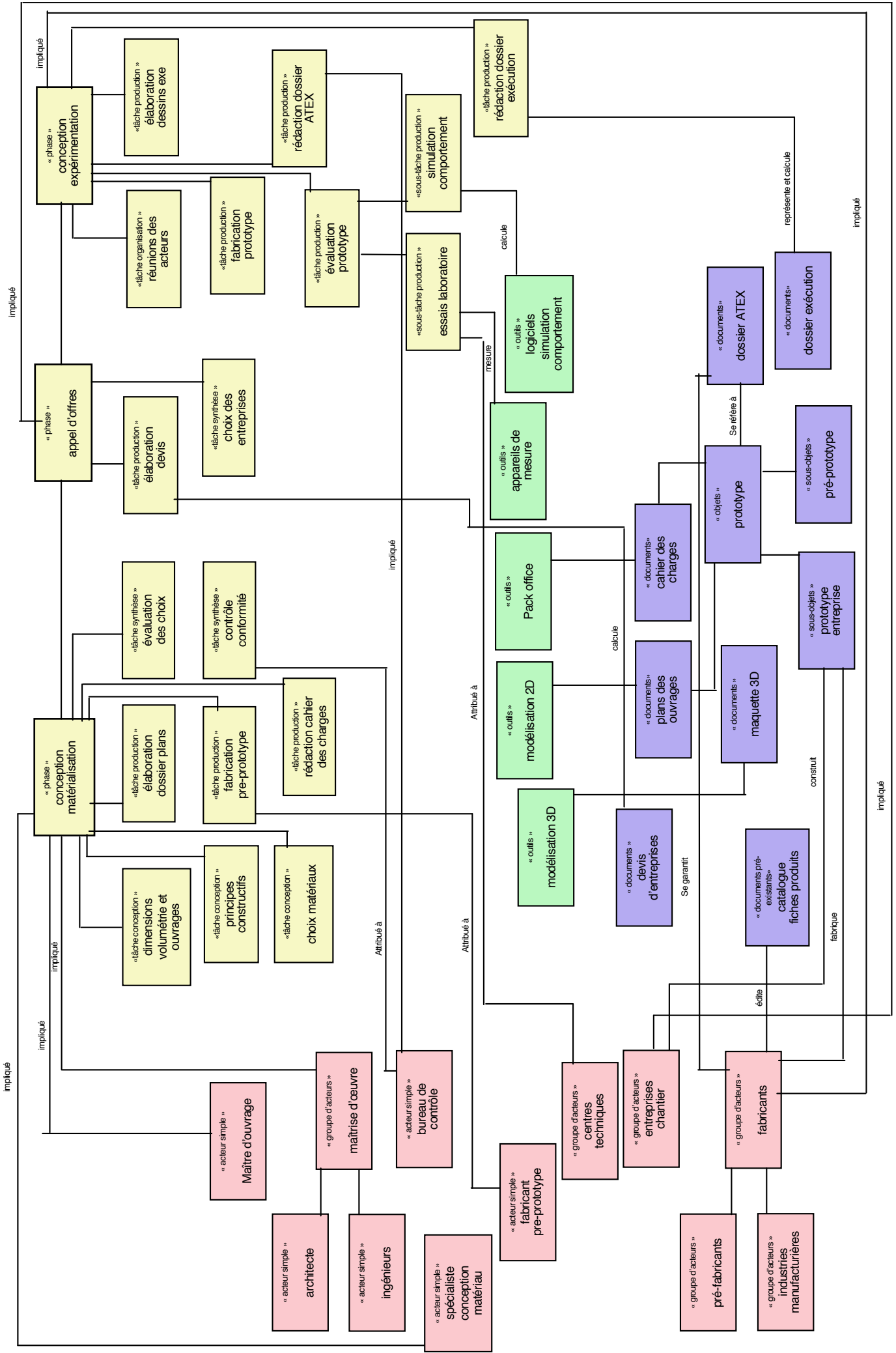


Figure 31. Modélisation des relations entre les acteurs de la conception d'une expérimentation sur les matériaux et leur mise en œuvre (d'après le métamodèle du CRAI).

5. Représenter l'expérimentation : le rôle du prototype

« Les stades de conception s'enchaînent sous la forme d'un processus qui se manifeste empiriquement par une succession d'états de représentations de l'artefact [...] A chaque stade d'élaboration et de réalisation d'une nouvelle représentation de l'artefact à concevoir, le sujet concepteur réalise ces transformations en s'appuyant sur un état de données et de connaissances disponibles, fournies par la situation actuelle » (Lebahar, 2007). Le dernier stade de la conception de l'expérimentation sur un composant ou un ouvrage privilégie la représentation physique la plus apte à simuler l'objet à fabriquer, c'est-à-dire la maquette réaliste et/ou le prototype.

5.1. Vertus de l'objet matériel

Traditionnellement, la matérialité architecturale est codifiée sous forme de dessins conventionnels. Grâce à ces conventions de représentation partagées par les différents acteurs, les informations « encodées » par l'architecte sont aisément « décodées » par les acteurs chargés de la fabrication (Lebahar, 2007).

5.1.1. Compréhension globale

Toutefois, les représentations graphiques et descriptives (les dessins et les mots) ne parviennent pas à synthétiser totalement les informations qu'il convient d'exprimer lors de l'expérimentation d'un nouvel artefact. Cet état de fait s'est accentué avec la représentation informatisée qui dématérialise la figuration, par une atomisation de l'information à l'échelle de l'écran.

L'informatique parcellise. Il est très difficile d'avoir une vue globale. Donc la compréhension est de plus en plus faible. Il y a une coupure de plus en plus forte qui motive d'autant plus la nécessité de faire comprendre, d'essayer d'expliquer, de susciter des relations. La communication qui s'instaure avec le prototype, les matériaux, avec ces choses relativement simples est importante. Quand on regarde un matériau, tout le monde comprend. (Martin Robain)

Une nécessité s'impose pour les architectes à cette étape de la conception, de fixer dans la matière les attendus conceptuels, pour les confronter directement à la perception physique, moyen plus direct de comprendre les phénomènes de transformation à mettre en œuvre pour assurer la fabrication de l'ouvrage à venir et de les communiquer.

Par ailleurs, le glissement conceptuel de la pensée abstraite vers sa concrétisation, caractéristique de cette étape de la conception, ne se suffit pas toujours de la représentation dessinée, aussi figurative soit-elle. La fabrication d'un objet physique fait intervenir une posture de raisonnement autre dans laquelle la pensée intellectuelle est accompagnée par l'intelligence du corps.

5.1.2. Outil de conception

« Ne pas penser avec ses dix doigts équivaut à manquer d'une partie de sa pensée normalement, phylogénétiquement humaine » (Leroi Gourhan, 1985). Par le biais du prototype, la conception s'engage dans un processus qui associe les représentations mentales à leur concrétisation, qui associe le geste à la pensée, selon un mode explicite qui favorise certains aspects de la compréhension du travail en cours. De plus, cette fabrication correspond à une appropriation physique des modes de transformation présents dans l'entreprise. Le concepteur se trouve de ce fait confronté en direct aux questions de la réalité d'exécution :

C'est un instrument de conception d'exécution. Tout d'un coup, tous les détails apparaissent comme si on était l'entreprise. On voit où passe le câble électrique, où se fixent les chevilles, ce que sont les sections exactes des bois, le rendu final. (...) C'est un véritable outil de conception. Du coup, nous avons fait tout un travail de modélisation à partir du prototype, qui est redescendu vers le projet, et l'a modifié. (Pascal Rollet)

L'expérience de Pascal Rollet montre comment la fabrication du prototype facilite en quelque sorte l'émergence de la pensée technique dans la démarche conceptuelle en instaurant des itérations entre l'objet réel et la représentation conventionnelle du projet. Ce va-et-vient entre la matière et le dessin, entre la main et la réflexion conforte l'architecte dans sa capacité à exprimer un propos architectural par le façonnage du matériau. Ce mode conceptuel permet aussi d'intégrer avec plus d'évidence des techniques inconnues :

Il y avait deux trois techniques différentes. Nous devons donc les évaluer. Il y avait des systèmes que nous ne connaissions pas bien, avec des accroches de façade sur le poteau. [...] Nous avons fait deux ou trois solutions avec deux ou trois

entreprises différentes. Ces solutions étaient ici et nous les avons mixées. Nous avons abouti une solution originale, différente de ce qui était proposé mais cette mise au point s'est faite en voyant les prototypes. Malgré les connaissances que nous avons, nous n'étions pas suffisamment expérimentés. Ce dispositif n'existait pas ailleurs. Les prototypes nous ont beaucoup servi pour appréhender ces techniques qui étaient difficiles. (Martin Robain)

Avec ce témoignage Martin Robain montre comment la confrontation aux prototypes en cours de fabrication possède la vertu de former le concepteur à une technique qu'il ne connaît pas. Pour le Parlement européen de Strasbourg, les architectes avaient imaginé un poteau de forme singulière destiné à accueillir la fixation de la façade avec une esthétique particulière. Le principe conceptuel les a conduits à inventer des systèmes de fixation qu'ils n'avaient encore jamais mis en œuvre. L'expérimentation par le prototype leur a donné la possibilité de surmonter leur « in-expérimentation » dans ce domaine technique particulier. L'appropriation de cette technique complexe par la confrontation aux réalités de la mise en œuvre matérielle a été l'occasion d'un apprentissage.

La question soulevée par cette situation rejoint celle de l'acquisition des savoir-faire de la fabrication par l'architecte, connaissances indispensables à l'élaboration des concepts de matérialisation des ouvrages. Christian Hauvette fait état de l'expérience acquise au fur et à mesure des projets grâce au dialogue établi avec les acteurs de la concrétisation, ouvriers et compagnons du chantier :

Le rapport aux matériaux s'éprouve par l'intermédiaire du chantier, des ouvriers, des entreprises. C'est un rapport au réel, en confrontation avec la fabrication in situ qui fait comprendre ce qu'on peut faire et ne pas faire. (Christian Hauvette)

Mais ces connaissances acquises par la confrontation au réel ne sont opérantes que pour la reproduction des modèles inscrits dans les savoir-faire des compagnons. Elles deviennent insuffisantes lorsqu'il s'agit d'inventer des procédés techniques et la confrontation au réel reste le moyen d'acquisition le plus adapté. Pour progresser dans la conception des attributs morpho-physiques de l'artefact, l'imagination a besoin de la mise en situation réelle, de quitter l'abstraction.

La fabrication de prototype permet par ailleurs de s'assurer que les moindres détails de la réalisation sont conformes au concept. Cette possibilité est accentuée par le fait que le prototype est un élément isolé, aux contours entièrement maîtrisables, comme un arrêt sur image dans le déroulement de la conception de la concrétisation.

On aborde alors une fonction différente assurée par le prototype qui est celle de l'évaluation et du test.

5.1.3. Conformité au concept architectural

Du point de vue architectural, nous avons beaucoup de travail de vérifications, de tests pour contrôler ce que cela va vraiment donner, sous la forme de maquettes, de grosses maquettes, parfois de prototypes bricolés. (Pascal Rollet)

La conception d'une mise en œuvre nouvelle est souvent une source d'interrogations ou d'inquiétudes que l'évaluation dans le réel permet de dissiper.

En tant qu'architectes, cela nous permet aussi d'évaluer le résultat au niveau plastique, de vérifier si c'est cohérent avec notre dessin. Parfois, nous avons des surprises désagréables que nous devons réajuster. (Michel Delplace)

Plus les enjeux sont importants, plus il est nécessaire d'effectuer ces vérifications qui autorisent le retour en arrière, la correction, l'ajustement, tout acte qui devient impossible lorsque l'ouvrage est exécuté sur le chantier. Pour Christian Hauvette le prototype est indispensable quand la fabrication prévoit la mise en œuvre d'une quantité importante d'éléments identiques :

On demande un prototype pour tout ce qui est répétitif (Christian Hauvette).

Cette observation de Christian Hauvette est révélatrice du comportement conceptuel spécifique qu'il adopte vis-à-vis de la matérialisation selon qu'elle est inscrite dans un processus industriel ou non. Avec l'entreprise de chantier traditionnelle, il considère que les représentations du projet se suffisent des modes de représentation conventionnels, grâce à une connaissance des modalités de fabrication acquises par l'expérience. Avec l'entreprise industrielle qui fabrique en série un élément aux caractéristiques identiques, il fait réaliser un prototype. Il emprunte alors un des modes de représentation communément rencontrée dans les bureaux d'études de l'industrie, comme si l'intégration de la production industrielle sur le chantier avait pour corollaire l'adoption de leur méthode.

Toutefois, le prototype n'est pas l'apanage de l'industrie. Sa qualité de « fabrication première » est aussi utilisée dans les processus traditionnels de chantier pour confirmer les aspects de mise en œuvre.

5.1.4. Renseigner la mise en œuvre.

Le prototype montre toujours quelque chose, même pour un ouvrage simple ou banal. Quand on n'en fait pas, on le regrette. Le prototype permet aussi aux entrepreneurs de voir comment mettre en œuvre les détails qu'on a mis au point avec eux, qu'ils ont dessinés. (Michel Delplace)

Pour l'entreprise de chantier dont parle Michel Delplace dans l'exemple ci-dessus, le prototype fournit une information immédiatement transmissible. L'anticipation qu'il autorise est directe. L'observation de son agencement renseigne sur les tâches qui ont été mises en œuvre pour le fabriquer, qui seront très semblables à celles de la réalisation définitive.

Remarquons que dans la progression de la représentation, effectuée tout au long de la conception, le flou, volontairement maintenu dans les étapes successives jusqu'à un stade avancé du projet, est porteur de possibles. Il autorise le doute grâce à sa réversibilité. La fabrication du prototype marque l'enclenchement de la fin de ce processus, en accélérant la présence des éléments physiques dans le projet qui a pour but d'aider à la prise de décision au regard des différentes réalités de l'objet :

- la concrétisation de la forme de l'objet et son comportement matériel
- les tâches à mettre en œuvre pour sa fabrication.

La réduction de l'incertitude est destinée à résoudre deux parts d'inconnu qui se situent dans les deux espaces de conceptions, de l'architecte et du fabricant. On retrouve les deux ordres de la matérialisation, substantif et procédural.

On peut remarquer que la plupart des témoignages des architectes évoquent le recours au prototype dans la pratique courante de leurs opérations. L'expérimentation n'est pas obligatoirement présente dans leurs propos et s'éloigne de ce fait de notre sujet d'études. Toutefois, il nous paraît important d'insister sur le rôle joué par le prototype dans la conception architecturale parce qu'il est révélateur du cheminement conceptuel de matérialisation qui peut conduire à l'expérimentation.

Dans l'industrie où il a été inventé, le prototype est le premier exemplaire d'un ensemble de fabrication, destiné à en expérimenter les caractéristiques en vue de sa production en série. L'expérimentation ne commence qu'à partir de l'achèvement du prototype.

Dans le processus architectural, nous avons pu constater que le prototype est apprécié en tant que processus de fabrication capable de révéler des modes opératoires et des agencements de matériaux : il n'est pas objet, il est action. De ce fait, il est au cœur de la

conception expérimentale. En tant que mode de représentation, il participe à formaliser les concepts et à agréger les connaissances de matérialité qui enrichissent les concepts.

Ainsi, le rôle joué par le prototype peut être considéré comme une activité aux caractéristiques identifiables, l'activité prototypique qui :

- fait intervenir un mode de raisonnement spécifique et efficace, par le corps et le geste, agents de transformation directs de la matière.
- réalise une forme d'apprentissage des concepteurs en plaçant physiquement les savoirs de l'entreprise au cœur de l'agence d'architecture
- assure la conformité de l'artefact aux idées. Le prototype est un réducteur d'incertitude.

5.2. Des représentations en progression.

Paul Vincent de l'agence Piano, décrit ce processus comme une évolution dont les formalisations successives permettent d'opérer les choix. Avant d'être prototype, l'objet est une maquette sommaire :

Ce qui est important, c'est la notion de typologie, c'est-à-dire, d'analyse de la forme qu'il faut faire plusieurs fois pour qu'il y ait une évolution qui permette de choisir.

Les premières vérifications établies grâce à la comparaison des caractéristiques de plusieurs objets, ont pour vocation de résoudre les problèmes formels. La progression conduit l'étude vers la réalisation de plusieurs prototypes qui gagnent progressivement en réalisme :

Nous partons donc de la maquette du projet, pour aller vers des maquettes d'un problème donné, qui se développent si possible de façon typologique, pour arriver a priori à un prototype. Le prototype n'est pas fait sur le projet, mais sur un endroit du projet. Souvent il y a des pré-prototypes, factices et ensuite on passe au prototype fait par un artisan, parfois même avant la désignation de l'entreprise qui va fabriquer la pièce en question. Et en général, c'est bien d'avoir un prototype final, fait par l'entreprise, qui doit normalement être bon à 95%.

Remarquons que la conception de l'ouvrage ou du composant s'opère à partir de la conception globale (la maquette du projet). Cela démontre, une fois de plus, que la conception d'une partie de l'édifice ne s'envisage pas sans la référence au tout.

Le premier prototype, qualifié de factice simule les matériaux et les techniques d'assemblage. Le plus souvent en bois, ces pré-prototypes renseignent précisément sur toutes les données formelles comme les proportions, les épaisseurs, d'une façon plus approximative sur les aspects de matière et assez peu sur la technique.

Le deuxième prototype réalisé avec les vrais matériaux par un artisan précise le façonnage des matériaux et les organes techniques.

Le dernier prototype réalisé par l'entreprise possède la presque totalité des propriétés du composant final. C'est avec ce prototype que les tests comportementaux sont réalisés.

5.2.1.1. Les états du prototype

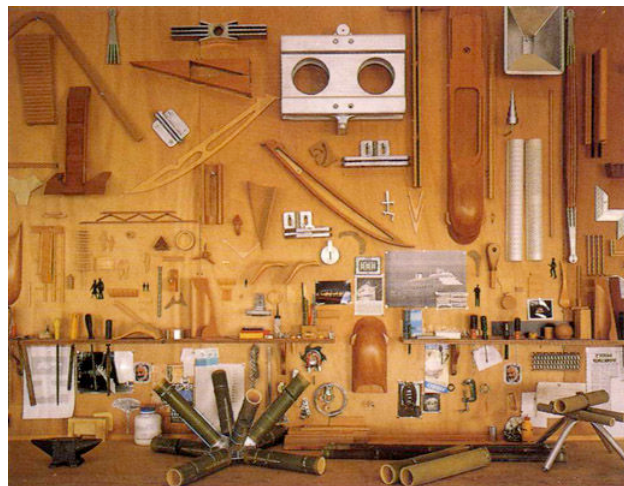


Photo N°23 : Agence Renzo Piano Building Workshop. : un mur de l'atelier de Vesima où on assemble et réalise maquettes et prototypes à taille réelle. (Buchanan, 2005).

Les opérations successives que traverse la mise en forme matérielle de l'artefact dans le processus de conception architecturale chez RPBW, correspondent à des états du prototype qui en précisent les caractéristiques et les fonctions.

Etats du prototype	Fabrication du prototype	Evaluation/ signification	Etapes de conception (selon Pahl et Beitz)	Action de conception (selon Asimow)
Maquette (esquisse)	Dans l'agence	Entre projet global et étude de détail/ évaluation de la forme	Conceptual design (Entre matérialité et matérialisation)	divergence
Prototype factice	Dans l'agence avec des conditions particulières	Evaluation esthétique. L'esthétique de la technique	Embodiment design (matérialisation)	transformation
Prototype artisanal Ou de recherche	Par un artisan spécialisé ou dans un laboratoire de recherche	Evaluation de l'usage et des phénomènes perceptifs	Détail design (matérialisation suite)	Transformation et convergence
Appel d'offres et choix de l'entreprise				
Prototype final	Par l'entreprise	Evaluation des comportements physiques	Détail design (suite) (pré-production)	convergence

Les deux premiers états dans la progression de la conception sont fabriqués dans l'agence d'architecture avec des matériaux de maquette (carton, bois). Ils sont destinés à évaluer la forme et l'influence de la technique sur la forme.

Le troisième état, objet intermédiaire entre l'agence et l'entreprise, permet d'évaluer la presque totalité des détails d'exécution de l'artefact. Il permet de régler tous les aspects d'interface entre l'objet et son utilisation ainsi que son appropriation dans toutes les acceptions de cette action (appropriation culturelle, symbolique, autant que sensorielle). C'est à cette étape de concrétisation que l'architecte et son client peuvent évaluer avec certitude la capacité de l'artefact à s'intégrer à leur système de valeurs.

La quatrième état, fabriqué par l'entreprise, représente l'étape finale au cours de laquelle toutes les vérifications sont effectuées. La première série de vérifications concerne les tests physiques dont nous détaillons le déroulement dans le paragraphe suivant. En l'absence de la troisième étape que nous venons de décrire, c'est avec ce prototype que l'architecte, l'utilisateur et le client procèdent aux vérifications qui répondent à leurs critères.

Ces états progressifs de l'activité prototypique spécifique à la conception architecturale correspondent à transposition de la succession hiérarchique des phases de la démarche de conception réglée.

L'étape de « conceptual design » est précédée de la définition du problème et des objectifs à atteindre. Cette partie de la conception se formalise pour l'essentiel avec des représentations mentales. Elle est effectuée dans le cadre du projet global.

Les premières formes données à ces principes, qui correspondent à la phase conceptuelle du projet, peuvent être recherchées avec des maquettes. Remarquons que tous les architectes ne pratiquent pas de cette façon. Certains préfèrent le dessin.

L'action accomplie, selon le modèle d'Asimow est divergente, destinée à évaluer plusieurs solutions. Elle se situe entre la matérialité et la matérialisation, si nous reprenons les étapes que nous avons identifiées aux précédents chapitres. C'est une forme mouvante destinée à l'exploration.

L'étape « d'embodiment design » précise les formes et les dimensions de l'artefact. Les premières recherches de matériaux apparaissent. Cette phase d'étude est interne à l'agence d'architecture et les représentations matérielles sont de l'ordre du bricolage, destinées à simuler une réalité soupçonnée. Les incertitudes sont encore importantes. Le faux prototype ou maquette à échelle 1 ou 1/2 est une étape vers l'appropriation des solutions techniques.

L'action accomplie est une action de « transformation ». La solution se structure à partir des recherches effectuées à l'étape précédente.

L'étape de « detail design » correspond à la définition technique de l'ouvrage, telle que l'architecte est en mesure de la réaliser. Cette étape est complétée par une étude de tous les détails d'exécution, contrôlés par l'entreprise de fabrication. Les derniers choix conceptuels sont évalués en fonction des contraintes. L'action est convergente.

Entre les deux étapes de conception de matérialisation se place la procédure d'appel d'offres par laquelle l'entreprise s'inscrit dans le processus. Cette situation signifie que, en théorie, l'essentiel de la conception est réalisée en l'absence de l'entreprise. L'architecte est confronté aux difficultés déjà énoncées au chapitre précédent ce qui le conduit à élaborer des stratagèmes pour les contourner.

5.3. En l'absence de l'entreprise.

Lorsque l'opération est importante l'architecte a les moyens de faire réaliser un prototype par une entreprise spécialisée. Il s'agit le plus souvent d'un artisan capable d'inventer des façons de mises en œuvre avec l'architecte :

C'est un artisan très compétent et polyvalent qui demande pas mal d'argent. Ce n'est pas cher en soi, parce que c'est un petit ouvrage, mais c'est cher au m². Comme nous sommes vraiment dans l'expérimentation, il faut un niveau de compétences élevé. Ce prototype sera présenté au client et éventuellement soumis à des essais. Si le prototype est satisfaisant, nous y apportons les corrections nécessaires parce qu'il y a toujours des erreurs. Sinon, avec l'enseignement du premier, nous en réalisons un second, pour nous approcher du but à atteindre. La notion de prototype est fondamentale. (Paul Vincent)

La qualité d'exécution de ce prototype est centrale. C'est un objet qui, dans son résultat, doit être en mesure d'anticiper les savoirs techniques de l'outil de production.

Dans le Bâtiment, il y a des ruptures entre les acteurs en présence, l'architecte qui conçoit, l'artisan qui réalise le prototype et l'entreprise qui produira le composant. Cela exige un renforcement des liens entre chacun pour que l'objet ait une réelle signification dans le processus conceptuel. L'artisan est un acteur clé. De son intelligence à comprendre le projet de l'architecte et à anticiper les capacités de l'outil de production, dépend la validité de la démarche prototypique.

Le rôle joué par ce prototype qui intervient juste avant les études de production est destiné à tester les usages et les phénomènes perceptifs. Les premiers destinataires sont le client et l'architecte.

Mais ce type de fabrication, très onéreuse à l'échelle de l'économie des études d'architecture, n'est pas toujours réalisable.

5.3.1. Un budget partiellement absent

Pascal Rollet, en l'absence de moyens nécessaires à la mise en œuvre du prototype avant l'appel d'offres, a résolu cette difficulté en le réalisant lui-même dans le cadre d'un laboratoire d'architecture, tel que Les Grands Ateliers.

Pour moi, cette expérience représente un pas en avant par rapport à notre méthode de travail sur l'utilisation de l'expérimentation. Cela permet de réaliser ce qui se fait sur tous les grands projets où les architectes ont les moyens de construire un morceau de la façade, un morceau du bâtiment pour montrer à quoi cela va ressembler et valider les échantillons, les couleurs et les matériaux.
(Pascal Rollet)

Emmanuel Combarel qui n'hésite pas à expérimenter dans le cadre de ses projets souligne le caractère fragile, peu établi, de la démarche expérimentale dans le processus de conception du fait du manque de procédures d'évaluations fiables. Pour y remédier ces architectes font le pari que la solution qu'ils imaginent puisse se réaliser avec l'entreprise adjudicataire. Mais, prudents et responsables, ils anticipent un échec possible en imaginant une autre solution :

C'est très difficile d'avoir un budget pour réaliser des prototypes en amont. On peut faire des prototypes sur le chantier, mais en amont, on n'a pas réussi à le faire. On essaie de cadrer suffisamment la conception pour se donner les garanties de la réussite de l'opération. Quand on est un peu exigeant, on essaie de toujours d'avoir une solution de repli qui soit réellement satisfaisante.(Emmanuel Combarel)

Ces architectes élaborent une stratégie qui assure le processus décisionnel dans une situation instable (fig. 32)

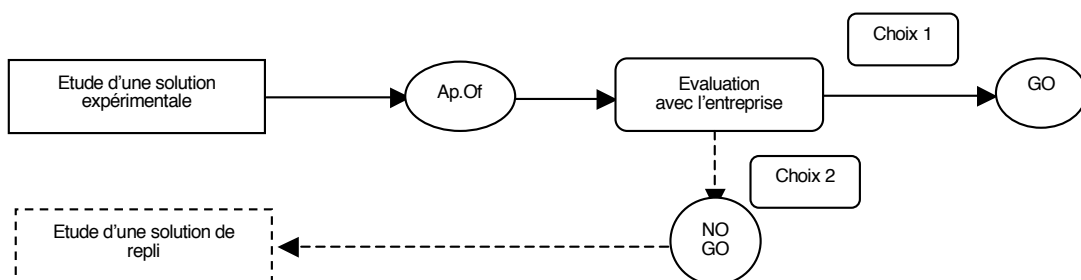


Fig. 32 choix de la solution expérimentale après évaluation : circuit décisionnel (cas Combarel)

Lors de la conception, les architectes et l'équipe de maîtrise d'œuvre, élaborent une solution constructive originale, aidé par les connaissances qu'ils possèdent de la technique. Parallèlement, ils imaginent une solution de repli dont ils maîtrisent la fabrication, capable de leur garantir un résultat connu. A la suite de l'appel d'offres, ils étudient avec l'entreprise, les détails de l'exécution et mettent en œuvre les moyens destinés à les évaluer, notamment les prototypes. La solution de repli est en réserve, en cas d'impossibilité à faire aboutir la solution expérimentale.

Ces deux pratiques, celle d'E. Combarel et celle de P.Rollet, montrent que le processus expérimental est une démarche exceptionnelle dans le déroulement de l'opération d'un projet architectural car les moyens nécessaires sont souvent inexistants. La situation est différente après l'appel d'offres, lorsque l'entreprise est opérationnelle dans le projet.

5.4. Le prototype fabriqué par l'entreprise.

La fabrication du prototype dans le cadre du marché des entreprises dépend de la volonté de l'architecte.

Par exemple, Chez Nicolas Michelin, la fabrication du prototype est toujours demandée. Cela apparaît comme une culture du projet de cette agence. Dès l'instant que l'échelle du projet l'autorise :

Nous faisons toujours faire un prototype. Pour un voile de béton ; nous demandons des échantillons de 50cmx50cm, réalisés en laboratoire qui précisent les caractéristiques de teinte, ou d'aspect quand on a des parements un peu spéciaux. Ensuite on fait un test réel en grand format de 2mètres x 2mètres. Parfois, nous demandons un morceau de garde-corps, un morceau de parquet. Quand on fait un bâtiment d'enseignement, on demande une salle de cours témoin où on voit la porte, l'interrupteur, le raccord entre la porte et les plaques de plâtre, la pose de la plinthe sur la porte, la finition de la peinture, etc. C'est toujours difficile de faire réaliser un prototype complet dans lequel plusieurs entreprises doivent intervenir. Ce n'est pas que c'est compliqué à réaliser, mais il faut obtenir le bon vouloir de tout le monde, bien que tout cela soit stipulé dans les pièces écrites.(Michel Delplace)

Le prototype dans ce cas est considéré comme un élément de l'opération, « prévu aux pièces écrites ». Mais cet objet situé entre le projet et le chantier a un statut instable : il appartient totalement au processus de conception architecturale dont il sert les intérêts conceptuels en permettant de réduire les degrés d'incertitude inhérents à la conception ;

mais par ailleurs, il appartient à la matérialité du chantier, produit par les entreprises. Cette appartenance incertaine pose question à la fin du chantier, comme en témoigne la difficulté rencontrée par les architectes pour arrêter son cycle de vie.

Et le gros problème, c'est de savoir ce qu'on en fait à la fin, parce qu'il faut les évacuer et personne ne veut s'en charger. (Michel Delplace)

Cet aspect particulier de la vie du prototype est-il un indicateur sur les limites des échanges entre les deux systèmes d'acteurs ou bien révèle-t-il que le prototype est un produit du chantier dont l'incidence de fabrication est incomplètement envisagée, notamment du point de vue de son recyclage ?

Les exemples cités par Michel Delplace ne s'inscrivent pas particulièrement dans des pratiques expérimentales. Ils sont révélateurs d'une posture conceptuelle intéressée à maîtriser le plus complètement possible la mise en matière des idées architecturales, posture qui conduit plus facilement à l'expérimentation constructive.

On comprend par là que l'apparition de la pratique expérimentale, dont le prototype est une des manifestations, n'est pas fortuite. Elle est le fait de pratiques d'architectes intéressés à développer en détail la matérialisation de leur conception. Cette pratique est développée à des degrés divers selon les agences d'architecture et procède dans tous les cas d'un cheminement conceptuel volontaire.

5.4.1. L'instrument du dialogue

En conclusion, les manipulations opérées sur un matériau ou composant d'architecture à l'occasion de la fabrication du (ou des) prototype(s) concentrent une somme d'intérêts différents. Elles procèdent de la confrontation d'objectifs étrangers les uns aux autres. Il s'agit de satisfaire d'une part aux objectifs représentatifs de deux grands domaines de savoirs, celui de la conception architecturale, et celui de la fabrication et d'autre part aux contraintes d'usage.

- Partie intégrante de la conception architecturale, l'ouvrage prototypé est évalué du point de vue de sa pertinence à répondre aux objectifs qui lui sont assignés à l'intérieur du projet global. Les critères d'évaluation appartiennent au registre architectural amplifié de sa dimension technique. C'est à cette étape que se mesure l'écart entre l'objectif conceptuel initial (élaboré simultanément au concept global) et la réalité tangible de l'objet perçu avec ses attributs physiques.

- Partie à venir de l'édifice à bâtir, l'ouvrage prototypé est évalué du point de vue de sa capacité à répondre aux modalités de la fabrication, à toutes ses étapes (avant et pendant le chantier). Matières constituantes et mises en œuvre successives sont analysées par les fabricants et les entreprises de chantier.
- Enfin, partie à venir de l'édifice bâti, le prototype, état avant le type, doit être capable de démontrer la capacité du type à conserver ses propriétés dans toutes les situations, y compris lorsqu'il est soumis à des facteurs externes et variables, tels l'eau ou l'humidité, la température ou le feu, l'air ou le vent, les vibrations ou un tremblement de terre.... L'analyse du comportement du prototype, lorsqu'il ne peut pas être prédit par des mesures antérieures ou des modèles mathématiques, est effectué par des tests en laboratoire dont le protocole est défini en fonction de l'ouvrage.

Les différents niveaux d'évaluation opérés sur le prototype par les acteurs de la conception-réalisation de l'ouvrage représentent exactement l'espace de concertation, négociation. L'innovation suscitée par une demande de solution nouvelle se matérialise dans les chaînes de production du fabricant et dans les procédés de mise en œuvre du chantier. C'est ici que s'affinent les délicats ajustements entre les attendus idéaux et l'économie de la réalité. C'est ici aussi que se stabilisent les niveaux d'exigence requis par les garanties que l'ouvrage doit assurer.

Quand on parvient au prototype final fait avec l'entreprise, se pose de nouveau le problème de l'expertise du matériau, pour évaluer sa fiabilité, sa résistance, son vieillissement. Faut-il faire faire des essais en laboratoire ? Il y a souvent des problèmes d'assurance, assez compliqués. (Paul Vincent)

5.5. Evaluations et garanties

A l'occasion de la réalisation et de l'évaluation du prototype final, placée sous la double responsabilité de l'architecte et de l'entreprise, un nouveau protocole se met en place pour programmer et réaliser les tests destinés à garantir la fiabilité de l'ouvrage expérimental.

5.5.1. Avant l'opération d'architecture.

Précisons qu'avant de commercialiser leurs produits, les entreprises garantissent leurs performances par des « avis techniques » destinés à préciser leurs conditions d'utilisation. En France, ces procédures sont effectuées par des organismes professionnels équipés d'instruments et de chambres d'essais.

Les recherches sur la « matière-matériaux » sont faites par les fabricants qui sont assez équipés, que ce soit dans le bois, l'acier ou le béton. Ils ont leurs laboratoires. Pour les systèmes constructifs, il y a le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) qui peut tester des assemblages d'éléments. (Pascal Rollet)

L'organisme de contrôle le plus important est le CSTB qui assure les tests de comportement des composants en œuvre. Les tests plus spécifiques sur des types de matériaux sont effectués par des organismes représentatifs d'une filière de matériau, tels le CTBA pour le bois, le CETIM pour la construction métallique, le CERIB pour les composants industriels en béton... .

Les procédures d'avis techniques et de normalisation des produits ont une double fonction. Elles définissent avec exactitude les caractéristiques du produit en fonction des domaines d'application et garantissent le maître d'ouvrage contre les malfaçons liées aux matériaux et aux composants. De ce point de vue, ces procédures sont étroitement liées aux contrats d'assurance, tout comme les procédures exceptionnelles effectuées dans le cadre de l'opération.

5.5.2. Pour l'opération expérimentale.

Dans le cadre de l'opération architecturale, le matériau est testé par rapport à la mise en œuvre particulière conçue à l'occasion du projet. Les tests sont effectués selon un protocole établi en regard des performances à atteindre comme le temps de résistance au feu ou

l'étanchéité à l'air ou à l'eau. Ces procédures d'évaluation sont certifiées par l'Avis Technique Expérimental (ATEX).

A ce niveau-là, en particulier, il y a le CSTB ; un organisme très intéressant qui instruit les dossiers d'Avis Techniques Expérimentaux. Là-aussi il y a un niveau de compétences incroyablement élevé. A partir du moment où nous avons eu des ATEX positifs, nous n'avons jamais eu de sinistres. En France, le problème est bien de prévoir dans le processus de création du produit, les essais qui correspondent aux ATEX et si possible aux avis techniques. Pour réaliser l'ATEX, il faut des entreprises capables, avec le contrôleur technique, de déposer des dossiers corrects. On revient à la case départ, au choix de la bonne entreprise. Mais ce qui est sécurisant avec l'ATEX, c'est qu'en cas de mauvaise définition des qualités intrinsèques, il y aura des réserves ou il sera refusé. (...) Le processus prend effectivement quelques mois, mais je trouve qu'il est très efficace. Je n'ai pas souvenir de problèmes après des ATEX positifs. (Paul Vincent)

La procédure d'ATEX est précédée d'évaluations comportementales effectuées sur le prototype réalisé par l'entreprise. A cette étape, la conception est encore ouverte. En effet, en cas d'évaluation négative d'une expérience, des réajustements sont encore possibles pour pallier aux défauts éventuels.

La réalisation de l'ouvrage innovant dans une architecture donnée intervient lorsque l'ensemble des évaluations effectuées par les différents acteurs satisfait à la fois à l'état initial du problème posé, aux modalités de sa fabrication, et aux caractéristiques comportementales correspondant à la pérennité de l'ouvrage en œuvre.

5.6. Les suites de l'expérimentation.

5.6.1. *Appropriation de l'ouvrage réalisé*

À l'instar de l'œuvre architecturale, l'ouvrage innovant possède un statut particulier. La complexité du processus de conception-réalisation, produite par la somme des connexions entre les savoirs, les modes opératoires et les cultures des acteurs du processus confèrent à l'ouvrage un statut de composant de l'œuvre (Prost, 1992), repérable et explicable avec des langages pluriels. C'est un objet polysémique qui s'inscrit dans des processus d'appropriation aussi complexes que les processus de sa conception :

- pour les architectes et les ingénieurs de la maîtrise d'œuvre, il est repérable comme un ouvrage aux caractéristiques référencées, réutilisable pour de nouvelles opérations, dès l'instant que ses attributs ne sur-déterminent pas l'architecture.
- pour le maître d'ouvrage et les utilisateurs, il est le signe d'une architecture qui a innové dans le domaine technique et constructif, plaçant l'œuvre dans l'évolution de l'art de bâtir.
- Pour le fabricant, il est le « super-prototype » d'un développement de production.

Le produit expérimental, une fois l'opération d'architecture achevée, appartient à deux univers. En tant que constituant de l'œuvre architecturale, il appartient à l'univers social et culturel. Selon la portée de la découverte, il peut même apparaître comme un témoin de civilisation. Sa destinée est liée à la capacité du corps social à le conserver, le mettre en valeur, à inscrire son devenir dans une évolution. Les architectes interrogés ont témoigné à ce propos.

En tant qu'objet technique et économique, il devient une des productions de l'entreprise qui l'inscrit dans son schéma de développement.

5.6.2. *l'avenir culturel de l'expérimentation*

Les expérimentations effectuées en association avec la puissance de la production industrielle ne sont pas nouvelles. Dès les années 20, les architectes précurseurs du Mouvement Moderne inventaient des formes de production de l'édifice cohérentes avec l'état des techniques de leur époque. Ces recherches se sont poursuivies, portées par des figures

emblématiques comme Jean Prouvé ou Charlotte Perriand qu'évoque Christian Hauvette :

Tout s'oublie. C'est ça le problème. Je visitais hier soir l'exposition qui a été réalisée sur les travaux de Charlotte Perriand au Centre Pompidou. Elle avait conçu des composants industrialisés parfaits. Ils étaient expérimentés, testés et mis en place. Pourquoi cela a-t-il été oublié ? [...] Ce qui est extrêmement frappant, c'est qu'il y a 40 ans, on savait faire des salles de bains industrialisées. On a tout oublié. On recommence timidement à en faire un peu dans l'hôtellerie. [...] Pourquoi entre 1960 et 2006, on a absolument tout oublié de l'industrialisation des composants d'équipement du Bâtiment. C'est invraisemblable, alors que par ailleurs dans la technologie domestique, tout a progressé. (Christian Hauvette)

Christian Hauvette regrette que les recherches effectuées par Charlotte Perriand sur les composants sanitaires intégrés soient tombées dans l'oubli alors qu'elles résolvaient avec élégance la question des mises en œuvre successives qui interviennent dans la fabrication d'une salle de bains. Pourquoi un tel oubli ? La réponse à cette question pourrait être le sujet d'une autre thèse car les questions sont nombreuses et hétérogènes : l'industrie était-elle prête à développer ce type de produits ? Les corps de métiers présents sur le chantier étaient-ils réceptifs à cette transformation radicale des tâches ? Les architectes reconnaissaient-ils un potentiel d'expression assez ouvert dans ce type de composant ? Les coques en résine s'intégraient-elles dans le système de valeurs des utilisateurs ? Ces interrogations convergent toutes vers la question de l'appropriation de l'invention par le corps social dans son entier. Le produit du Bâtiment s'insère dans un système constitué d'un ensemble d'acteurs disparates. Pour assurer sa réussite, il convient que tous ces acteurs soient convaincus du bien-fondé de l'invention. Ce n'est qu'à cette condition qu'elle peut s'intégrer efficacement dans les pratiques de chacun et devenir innovation constructive, technique ou industrielle.

Le désintérêt face à la recherche expérimentale, autre forme de l'oubli collectif, peut prendre des formes plus resserrées, centrées sur un objet dont il s'agit de préserver la mémoire. La question recouvre ici les aspects de la conservation des objets et de l'intérêt à les intégrer dans le patrimoine collectif. Paul Vincent rappelle à ce sujet l'exemple des pavillons réalisés par l'agence de Renzo Piano pour les jardins ouvriers de Villejuif.

C'est bien de faire de l'innovation, mais il faut aussi que l'innovation soit respectée. Il faut respecter un peu plus la recherche. Cela veut dire que si un client construit

quelque chose, il ne faut pas le jeter à la poubelle trop vite, surtout si c'est quelque chose d'innovant par ce que c'est une trace importante d'abord dans le travail qu'a fait le client lui-même, puis dans le travail de l'architecte, et enfin dans la recherche tout court. Ce sont des choses qu'on ne doit pas laisser se détériorer surtout lorsque c'est avec du vandalisme. Les abris de Villejuif fournissent un bon exemple d'un élément de recherche vraiment difficile. On a quand même réussi à sortir quelque chose pour des gens très pauvres qui en étaient très fiers. Ils disaient « qu'ils habitaient dans du Piano ! » Depuis, heureusement, il a été décidé de réhabiliter les abris de jardins de Villejuif. La raison l'a emporté. La passion aussi.
(Paul Vincent)

Cet exemple évoque une fabrication en petite série qui s'apparente à une production architecturale unique, réalisée toutefois à la suite d'un processus d'élaboration qui avait fait intervenir une démarche constructive expérimentale avec des essais structurels effectués avec différents matériaux. C'est pour cette raison que Paul Vincent l'assimile à une expérimentation constructive dont il est important de conserver la mémoire.

5.6.3. L'avenir économique de l'expérimentation

Les deux références évoquées dans le paragraphe précédent (Charlotte Perriand et les abris de jardin de R. Piano) sont typiquement révélateurs de la difficulté que rencontrent les architectes pour capitaliser leurs acquis autrement qu'en valeurs culturelles. Le champ de l'architecture a vocation à valoriser des œuvres et des connaissances. Il n'a pas vocation à valoriser une production d'objets. Cette forme de valorisation est du ressort d'autres métiers. On verra dans le chapitre suivant qui retrace des itinéraires d'expérimentations remarquables, sous quelle forme s'est effectuée la capitalisation des acquis.

Toutefois, la valorisation de l'expérimentation peut aussi être envisagée au-delà de l'opération d'architecture, au-delà de l'œuvre.

Regardée du point de vue économique, l'expérimentation architecturale peut être exploitée par l'entreprise industrielle pour son caractère innovant. En effet, les nouveaux modèles des processus d'innovation dans l'entreprise s'appuient sur des démarches de conception innovante. L'expérimentation effectuée dans le cadre de l'opération d'architecture ne peut-elle pas jouer le rôle de cette conception ? Comment l'entreprise peut-elle intégrer cet apport externe dans son développement ? Nous examinerons trois des exemples évoqués par les architectes que nous avons enquêtés. Nous les avons choisis pour l'exemplarité de leur démonstration et leur capacité à s'inscrire dans un processus d'innovation. Chacun des exemples représente une forme d'innovation originale (cf chapitre 7). Avant d'étudier cet aspect, une modélisation du processus conceptuel de l'expérimentation s'impose.

6 Modélisation du processus de conception de l'expérimentation

Le modèle à l'épreuve d'exemples remarquables

6.1 Modélisation du processus de conception de l'expérimentation.

L'étude détaillée du processus de conception de l'expérimentation effectuée dans les deux chapitrs précédents révèle des particularités conceptuelles qui répondent à des activités spécifiques par rapport à la conception de la matérialisation.

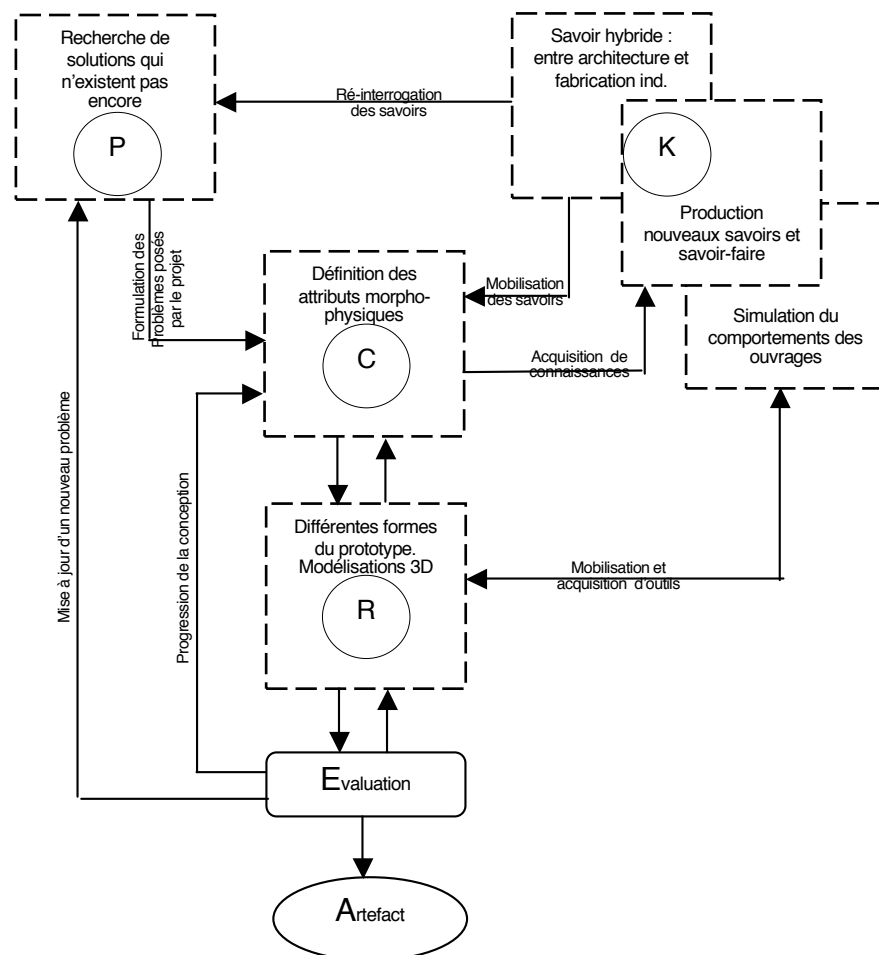


Figure 33. Représentation modélisée du processus de conception de l'expérimentation

Sa spécificité lui confère une certaine autonomie dans le processus de projet auquel elle se réfère. Toutefois, elle en est partie intégrante, autant du fait des objets qu'elle considère que des procédures qui appartiennent au projet d'architecture global.

Ce modèle (fig. 33) fait référence aux quatre « espaces cognitifs » préalablement identifiés: les problèmes, les concepts, les connaissances et les représentations. Ces espaces sont en expansion car le processus a pour vocation à les développer. La démarche prend fin avec l'évaluation qui s'effectue à partir des représentations. Lorsque l'évaluation (les tests expérimentaux) montre que l'écart entre la représentation qui fait état de tous les attributs morpho-physiques détaillés (le dernier prototype) et l'artefact que la production peut fabriquer est nul, la fabrication peut être réalisée, qui aboutit à la création de l'artefact.

Nous identifierons dans un premier temps les particularités contenues dans les quatre espaces et dans un deuxième temps, nous appliquerons le modèle à trois expériences remarquables pour en détailler les différents aspects.

6.1.1 L'espace des problèmes.

A l'origine de l'expérimentation, se place l'énoncé d'un problème de matérialisation, aspect de la conception qui correspond au « forming problem » (Perrin,2001). Pour définir cet énoncé, caractéristique de l'expérimentation sur la matérialisation, et non pas seulement résolution d'un problème du projet, l'architecte fait référence à divers champs de connaissances. Cette première formulation exprime le point de vue adopté par l'architecte qui embrasse, à cette occasion, des échelles variées. Nous en répertorions trois types.(fig.34)

6.1.1.1 Le cœur des compétences architecturales.

Le premier type concerne les compétences spécifiques à l'architecte que nous caractérisons comme une capacité à matérialiser la signification attribuée aux ouvrages, dans un domaine autre que technique. Cet aspect a été très développé dans les chapitres précédents car la majorité des architectes l'ont exprimé. Les représentations mentales convoquées pour formuler ce type de problème font référence au corpus architectural et à la culture qui lui est familière, faisant notamment appel aux réalités d'ordre perceptif. Les problèmes énoncés sont des idées de lumière, de transparence, de continuité, de profondeur ou des idées portant sur l'élaboration des formes et des aspects des ouvrages en référence aux caractéristiques de l'espace architectural. On peut noter que ce type de problème est au **cœur de l'expression de l'architecte**, à classer parmi ses « core competences » comme les nomment les cognitivistes. Ce domaine appartient à ses **connaissances pré-existantes** et s'exprime par son savoir-faire.

6.1.1.2 Les techniques de l'art de bâtir

Le deuxième type concerne **les techniques de l'art de bâtir**. Les représentations mentales qui le formulent sont des attentes de technicité ou de constructibilité, en relation directe avec le programme et sa fonctionnalité, avec la forme architecturale et avec les éléments physiques du site. Il peut s'agir d'une demande de portée, de résistance mécanique particulière, de légèreté (au sens physique), de confort lumineux, acoustique, thermique, en relation aux contraintes environnementales qui vont requérir des dispositifs particuliers, nouveaux. Ces types de problème appartiennent au projet constructif. Ils cherchent leurs réponses dans les modèles issus des savoirs et savoir-faire des acteurs de la matérialisation. Nous avons pu constater par ailleurs, que pour argumenter le questionnement, les représentations mentales s'élaborent parfois en référence à d'autres univers techniques comme la construction des véhicules de toute sorte ou à des domaines scientifiques qui autorisent certaines analogies comme les sciences du vivant par exemple.

6.1.1.3 Les questions socio-économiques

Le troisième type de problème est destiné à répondre à des attentes qui dépassent la seule construction du bâti. Ce sont des questionnements relatifs à des champs de connaissance d'**ordre socio-économique**, à une macro-échelle, qui interfèrent avec la construction. Il s'agit par exemple de recherche sur l'optimisation des ressources locales dans une économie en voie de développement, ou bien de recherches destinées à construire durablement, ou encore de recherches de standards ou de modularité pour simplifier les tâches de chantier. Ici le questionnement est de l'ordre procédural, même si les réponses sont constructives, alors que dans le type N°2, le questionnement est d'ordre substantif, destiné à satisfaire à la seule édification de l'objet architectural, tel que le programme le définit.

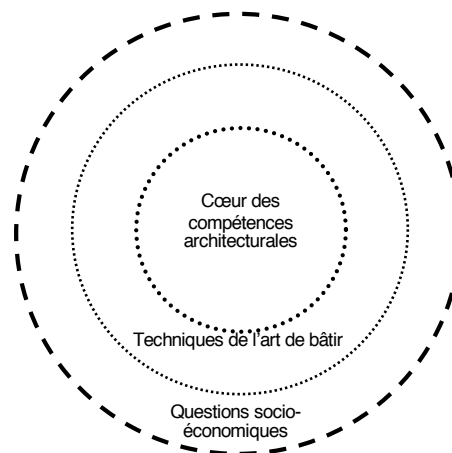


Fig. 34 Les trois domaines de connaissances avec lesquels sont formulés les problèmes posés par l'expérimentation.

L'énoncé des problèmes qui conduisent à expérimenter prend origine dans la réalité des projets. Leur complexité inhérente conduit souvent l'architecte à cumuler les points de vue.

6.1.2 L'espace des concepts.

L'espace des concepts de l'expérimentation ne diffère pas de celui de l'expérimentation. Il contient les idées formulées en réponse aux problèmes. Les modes de raisonnement varient en fonction des types d'expérimentation. La réflexion est ascendante lorsque l'expérimentation a pour but de mettre une invention technologique en application. Elle est descendante lorsqu'elle aboutit à la mise au point d'un procédé constructif ou de fabrication. Le raisonnement emprunte les logiques d'action de trois types, identifiant la progression de la démarche. L'action est « divergente » dans les périodes d'exploration des solutions possibles. C'est une action de « transformation » lorsque les caractéristiques morpho-physiques de l'artefact se précisent avec l'apport des connaissances. L'action est « convergente » lorsque le concept satisfait à tous les critères, qu'ils proviennent aussi bien de la conception architecturale que de la conception de la fabrication.

6.1.3 L'espace des représentations

6.1.3.1 Le prototype.

Les concepts sont formulés, formalisés puis communiqués par le biais des représentations. Ce cheminement conceptuel est spécifique à l'architecte qui utilise les divers moyens de représentation à sa disposition pour « conceptualiser » autant que pour donner forme aux idées. Le moyen de représentation typique de l'expérimentation est le prototype. Il est le support de plusieurs activités :

- instrument de conception. Son élaboration physique renseigne sur la matérialité de l'artefact en cours de conception. La conceptualisation s'effectue dans l'action matérielle de sa fabrication.
- Instrument de communication. Son existence concrète est un véhicule efficace de la représentation des concepts, représentés par ailleurs de façon trop abstraite avec les outils habituels. Il favorise l'appropriation des acteurs non professionnels.
- Instrument de dialogue et de négociation entre les acteurs intéressés à la conception de l'artefact, c'est-à-dire entre la maîtrise d'œuvre et les différents métiers de la production.
- Instrument de validation des hypothèses destiné à réaliser les tests comportementaux.
- C'est un objet polysémique fédérateur des intérêts multiples qui gravitent autour de l'expérimentation.

6.1.3.2 Les modélisations 3D et les logiciels de simulation.

L'espace des représentations est en expansion constante avec l'introduction des outils informatiques. Dans le cas de l'expérimentation cette assistance devient déterminante pour la modélisation des comportements physiques des matériaux et de leur mise en œuvre, moyen de substitution aux tests physiques réels. Espace des représentations et espace des connaissances sont fortement dépendants à cet endroit, aussi bien pour la mobilisation d'outils existants que pour la conception de nouveaux outils à l'occasion du projet. Il en résulte une acquisition de connaissances nouvelles.

6.1.4 L'espace des connaissances.

6.1.4.1 Des savoirs hybrides

Dans le cas de l'expérimentation, l'espace des connaissances est identifié par les deux champs de savoirs, ceux qui concernent l'opération d'architecture et ceux des fabricants et des processus industriels. Nous avons pu constater que du fait de la procédure d'appel d'offres, les entreprises n'interviennent dans le processus de conception qu'après que la conception de la matérialisation de l'artefact. Ce paradoxe conduit l'équipe de conception à convoquer des experts qui détiennent un savoir situé entre l'architecture et la technologie de fabrication envisagée. Nous l'avons qualifié d'hybride, pour caractériser sa capacité à accompagner les concepts dans les deux domaines de savoir.

6.1.4.2 Acquisition de connaissances

Dans le processus d'expérimentation, l'espace des savoirs est bien en expansion puisque l'expérimentation et les validations qu'elle entreprend conduisent à la création de nouvelles connaissances.

Cet espace s'enrichit aussi d'acquisitions dans le domaine des savoir-faire de modélisation (voir § précédent).

6.1.5 Validation du modèle.

Pour valider l'efficacité de la modélisation, nous proposons de la confronter à trois cas remarquables, choisis à des époques fondamentalement différentes. Ce subterfuge pourra autoriser la mise en évidence du degré de permanence de phénomènes présents dans ce type de conception expérimentale.

Les trois cas sont :

- au XVIème siècle, Philibert de l'Orme
- au XXème siècle, Jean Prouvé
- au XXIème siècle, Frank O Ghery.

6.2 Inventer pour répondre à des données socio-économiques :



Le cas de la charpente à bois courts de Philibert de l'Orme.

6.2.1 Un traité d'architecture

Philibert de l'Orme, architecte, a publié un traité en 1561, destiné à diffuser son invention sur un principe de fabrication de charpente avec des bois courts (De l'Orme, 1988). L'ouvrage « Inventions pour bien bastir » compte 65 pages. Il est composé de deux livrets. Le premier décrit le système de charpente. Le second propose une déclinaison du système constructif pour mettre en œuvre des poutres destinées à confectionner des planchers.

Le premier livret, le plus détaillé, introduit le précis de charpente par quelques conseils destinés au repérage des bois et à leur coupe dans la forêt. Le mode de fabrication des planches courbes et leur assemblage est décrit dans ses principes (photo 24). Suivent une série d'études sur la mise en pratique du système constructif, destinées à en montrer la polyvalence (photo 25).

La forme du traité se veut didactique. Les gravures qui ponctuent les descriptions écrites sont précises et détaillées, « illustrations qui rappellent étonnamment le dessin industriel » (Potié, 1996). On peut remarquer que chaque illustration est commentée. La minutie des explications, tant graphiques que descriptives fait comprendre que le propos est opérationnel. Ce traité a été publié pour que les lecteurs puissent s'approprier l'invention.

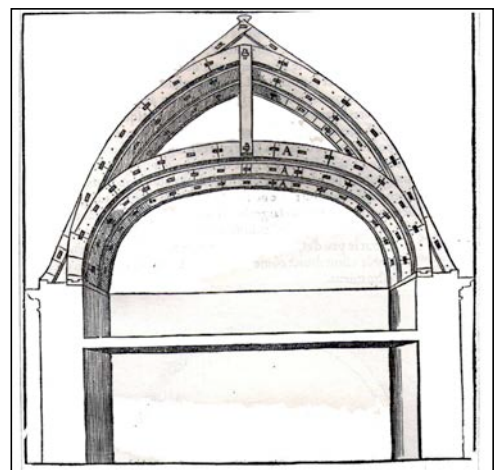
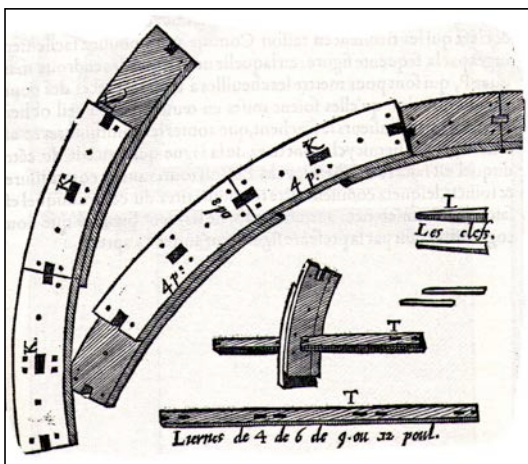


Photo N° 24 et 25. Planches extraites du traité de Philibert de l'Orme. A gauche, principe d'assemblage des planches courbes. A droite, exemple d'une charpente. (De l'Orme, 1988)

Pour plus de précisions, on pourra se reporter à la description détaillée de ce cas, placée en annexe.

6.2.2 Description de l'invention de Philibert, à partir de sa représentation modélisée.

6.2.2.1 Enoncé d'un premier problème : la disparition des bois de charpente

L'invention prend son origine dans la formulation d'un problème socio-économique aigu, celui de la déforestation massive due aux modes de vie de l'époque. Le bois est alors une ressource universelle qui sert autant de matériau de fabrications en tous genres, que d'énergie. De ce fait, l'activité du bâtiment ne trouve plus les bois longs nécessaires à la confection des charpentes et des poutraisons. Pour répondre à ce problème, Philibert, architecte très expérimenté, invente un système constructif pour fabriquer les charpentes à partir de planchettes de bois, seule ressource disponible à grande échelle en tous points du territoire.

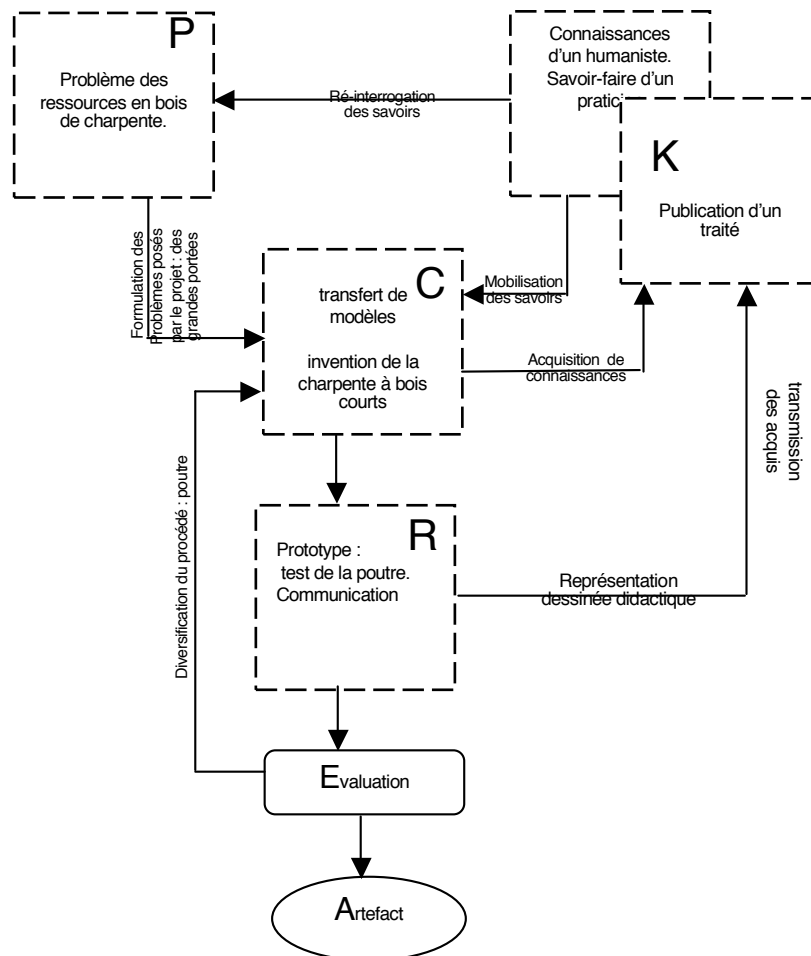


Fig. 35. La modélisation de la conception de l'invention de « Philibert »

6.2.2.2 *Concept : assembler des planches courtes pour franchir de grandes portées.*

Le premier concept vise à assembler des planches courtes pour réaliser de grandes longueurs en utilisant le principe de l'arc et les capacités du bois à travailler en compression. Le principe constructif, inspiré du fonctionnement des voûtes en pierre qu'il maîtrise parfaitement et de la construction des couples de navire pratiquée à l'époque, laisse envisager la construction de grandes portées. Le savant humaniste qu'est Philibert élabore les attributs constructifs du système de charpente grâce à ses connaissances préexistantes.

6.2.2.3 *Nouvel énoncé de problème : franchir de vastes espaces.*

Un nouveau problème est énoncé qui vise à assurer la couverture d'édifices que la demande sociale requiert de plus en plus vastes. Pour résoudre ce problème, Philibert conçoit des charpentes d'édifices monumentaux qui apportent la preuve de la capacité du système à répondre à des besoins nouveaux. « Les deux célèbres projets de basilique royale et de dortoir pour les religieuses de Montmartre augmentent considérablement la « portée » de la charpente à petits bois : l'innovation technique y apparaît comme le moteur de l'innovation architecturale » (Pérouse de Montclos, in De l'Orme, 1988).

L'invention technique de Philibert est ainsi prétexte à concevoir des formes architecturales que les techniques de charpente traditionnelles de l'époque n'auraient pas permises.

Par ailleurs, le développement de son concept mis en regard des conditions de production du Bâtiment, qu'il connaît parfaitement, l'autorise à annoncer des gains considérables grâce à l'application de son invention. Il prétend que les économies sur le bois d'œuvre couplées à celles d'une mise en œuvre très simplifiée, réduisent au tiers les coûts des ouvrages.

Ce résultat l'encourage à démontrer l'adaptabilité du système à toutes sortes de configurations architecturales. La construction de l'arc surbaissé le conduit même à proposer un système de poutres servant d'appui à la confection des planchers.

6.2.2.4 *Les représentations : gravures et prototype.*

Les représentations qu'il met en œuvre sont de deux ordres. On imagine qu'il a eu recours à des maquettes et des prototypes de conception pour préciser son concept. Le traité ne mentionne pas ce travail d'élaboration. Il mentionne la réalisation d'un prototype de poutre, réalisé à ses frais, chez lui, destiné à démontrer la solidité de cet ouvrage particulièrement audacieux. Remarquons que le test du prototype effectué à l'aide de deux vérins est réalisé « en la présence de sadicte Majesté et d'autres princes et seigneurs » (De l'Orme, 1988). L'expérience est aussi l'occasion de communiquer auprès des puissants de l'époque.

L'espace des représentations est sollicité ici de façon originale, après la production de l'artefact. Cette situation provient de la valorisation particulière de l'invention, sous forme de traité. L'acquisition des connaissances passe par leur représentation. On peut souligner l'extrême précision des gravures destinées à permettre la reproduction de la fabrication sans risque d'interprétation erronée. Elles ont été réalisées avec un objectif de diffusion. Ce sont de vrais documents didactiques.

6.2.2.5 Valorisation : Accroissement des connaissances de l'art de bâtir

L'invention figure comme l'acquisition de connaissances nouvelles. Remarquée par le Roi Henri II, elle fera l'objet du premier traité d'architecture publié en langue française. Elle acquiert le statut de connaissance technique, quasi scientifique.

Du point de vue de la valorisation économique, la diffusion de l'invention de Philibert ne fût pas immédiate. La cause est probablement à rechercher dans la réticence des charpentiers. L'innovation n'a pas été accueillie par le milieu professionnel. En effet, de nouveaux savoir-faire en dépendent. La fabrication en série des petits bois courbes s'effectue à partir de quelques gabarits, ouvrages familiers des menuisiers plutôt que des charpentiers, probablement réticents à ce mode de fabrication qui ne convoque aucun de leurs savoirs. L'épure n'existe plus. Le bois utilisé ne porte plus la majesté de l'arbre. Les assemblages se réduisent à des clavetages mécaniques faisant fi des savoir-faire savants des traits de charpenterie. Dans son étude Philibert a négligé cet aspect de la réalité constructive, lié aux pratiques des métiers.

Ainsi, la liberté mentale de Philibert à l'égard du matériau et de ses usages traditionnels, qui l'a conduit à concevoir d'importants franchissements avec des petites pièces de bois, ne portera ses fruits qu'à la fin du XVIIIème siècle. Pendant une cinquantaine d'années, toutes les grandes charpentes seront alors à la Philibert de l'Orme. Les premières charpentes en fer s'en inspireront. « La technologie a-t-elle un autre exemple d'un succès si tardif et si total ? » (Pérouse de Montclos, in De l'Orme, 1988).

En conclusion, la modélisation de l'invention de Philibert montre que la conception procède effectivement de l'interaction des quatre espaces cognitifs qui s'enrichissent mutuellement, démontrant de ce fait leur propriété expansive.

Si nous regardons les aspects particuliers que nous avons énoncés pour spécifier chacun de ces espaces, nous constatons que ce modèle y répond, avec ses particularismes :

- L'espace des problèmes s'inscrit essentiellement dans la sphère socio-économique. Les autres niveaux de problèmes seront interrogés dans la progression du processus, comme la réalisation de grandes portées, par exemple.
- L'espace des concepts prend son origine dans l'idée première de l'assemblage de bois courts, courbes. Le développement de l'invention ne fera que spécifier cette idée de base.
- L'espace des connaissances est caractérisé par les connaissances préexistantes de Philibert, développées dans de nombreux domaines, comme les grands humanistes de son époque. Il possède l'expertise dans les sciences de l'architecture et dans l'art de bâtir. Il assure de ce fait cet apport de connaissances nécessaires pour ce type d'invention, situé à la rencontre de plusieurs disciplines. L'expansion de cet espace est caractérisée par l'invention, consignée dans le traité.
- L'espace des représentations s'identifie par la présence d'un prototype, qui joue plusieurs rôles : expérience validée par le test et instrument de communication. Mais le rôle clé joué par les représentations est caractérisé par le recours aux gravures des planches de tous les détails de l'invention, qui en assure le rayonnement. C'est par ces planches gravées que la connaissance, de traité théorique deviendra application opérationnelle, un siècle et demi après leur élaboration. Il aura fallu cette durée pour que l'invention de Philibert se transforme en une innovation constructive. Nos économistes contemporains, diraient que l'invention a eu besoin de 150 ans pour rencontrer son marché.

6.3 Expérimenter avec les techniques de transformation modernes : le cas du mur rideau de Jean Prouvé.

Le deuxième cas que nous avons choisi d'étudier est représentatif d'une invention constructive marquée par les modes de fabrication de l'ère industrielle. Il s'agit de l'invention du mur rideau par Jean Prouvé, invention qu'il n'a jamais cessé de développer tout au long de sa vie.

6.3.1 Des systèmes de façade légère.

L'intervention de Jean Prouvé, né avec le XX^{ème} siècle, se situe « dans le courant moderne de la production du bâti qui se cherche [...] en tentant à la fois de se définir de nouveaux moyens de fabrication – l'industrialisation fordienne du bâti – et un nouveau langage de l'espace – l'architecture moderne ». (Bignon et al, 1990). Avec les moyens dont il dispose, ceux de son atelier de construction métallique, et la bonne connaissance qu'il possède des recherches architecturales de l'époque, il met au point des systèmes de façade par panneaux, montés à sec. Son objectif conceptuel se focalise sur la concentration des fonctions techniques dans un composant qui tire parti des capacités de transformation du métal offertes par l'outillage industriel. Ainsi Prouvé invente les techniques constructives de l'espace moderne en se référant à des domaines de connaissances qui embrassent plusieurs cultures :

- Sa vision de la conception architecturale est celle des concepts émergents des années 20 qu'il partage avec les nombreux architectes qu'il côtoie.



Photo N° 26 : Maison du peuple à Clichy. 1935-1939 . Etat en 1998 pendant la restauration. Fabrication du mur rideau par les Ateliers Jean Prouvé. Architecte : Marcel Lods. (in Sulzer, 2000)

- Sa culture tant technique que constructive procède de la maîtrise qu'il possède de la transformation du fer et de l'acier.
- La démarche conceptuelle qu'il affectionne est pragmatique, induite par le « faire », en interrogation perpétuelle des capacités physiques de la matière.

L'aisance avec laquelle il s'empare des matériaux, les mettant en œuvre pour le meilleur de leurs caractéristiques et sachant leur imprimer la forme précise qui les rend le plus performants, est une démonstration de ses capacités exceptionnelles à inventer l'objet technique. Les inventions de Jean Prouvé dans le domaine des façades légères doivent probablement leur universalité au fait qu'il concevait la façade, comme partie d'un tout. La conception de l'élément d'enveloppe prend son origine dans la conception globale de l'architecture qu'il convient à une époque donnée de réaliser avec les moyens que la technique propose. Mais son inspiration créative se réfère aux représentations mentales d'une culture technique autant nourrie par les progrès mécaniques, qu'affranchie des traditions constructives des chantiers de son époque. Porté par l'élan de renouveau de la modernité, Prouvé creuse un sillon très personnel. Il déplace la presque totalité des tâches de chantier dans ses Ateliers, produisant des séquences constructives pouvant être assemblées avec le minimum de boulons. L'aboutissement technique des panneaux de façade, comme ceux de l'immeuble d'habitation du square Mozart à Paris, démontre comment la technique d'une époque contribue à répondre à la somme d'exigences physiques et fonctionnelles demandées à la construction de l'Habitat humain.

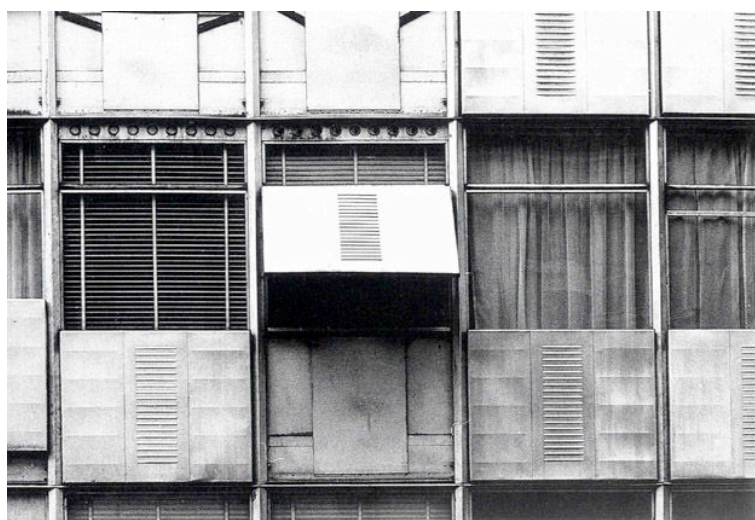


Photo N°27 : Immeuble d'habitation square Mozart à Paris. Façade fabriquée par les Ateliers Jean Prouvé (1953,1954). « Les panneaux de façade complexes préfabriqués à l'usine constituent à la fois l'allège, la fenêtre à guillotine, (équilibre caché), l'imposte, l'aérateur et le volet » (in Sulzer, 2005)

On pourra se référer à la description plus complète de ce cas, placée en annexe.

6.3.2 Description de la démarche inventive de Jean Prouvé, à partir de sa représentation modélisée.

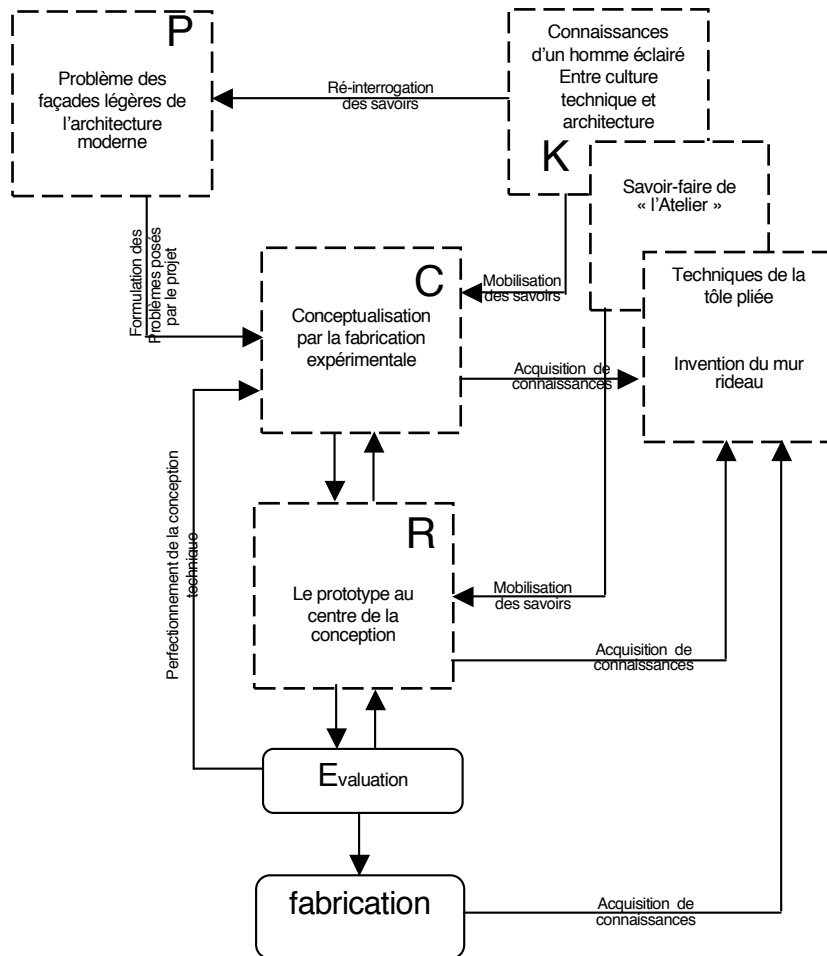


Figure 36 : modélisation de la démarche de conception chez Jean Prouvé : le cas du mur rideau

6.3.2.1 Le premier problème : construire les façades de l'architecture moderne

Le problème technique et sa résolution sont au cœur des interrogations de Jean Prouvé, lorsqu'il est confronté à la conception des façades pour l'architecte Marcel Lods, en écho aux questionnements des architectes de l'époque qui élaborent les nouveaux modèles de l'architecture moderne définissant les principes de dissociation des organes du bâti comme la façade libre et le plan libre. Avec les architectes intéressés par le travail du fer, Jean Prouvé élabore des techniques de façade qui exploitent les caractéristiques mécaniques du métal.

6.3.2.2 Concept : construire avec les outils de l'industrie

Partant du principe que la façade n'a plus aucune raison d'être porteuse et qu'elle doit s'affranchir de sa masse, Jean Prouvé imagine des panneaux d'enveloppe, légers et isolants, intégrant le maximum de fonctions techniques. Ce principe ne sera jamais remis en cause et ne cessera d'être enrichi d'attributs nouveaux.

Les problèmes seront régulièrement reformulés, en ré-interrogeant les savoirs. Cela sera le cas, par exemple, lorsque les métaux viennent à manquer (période de la guerre), ou lorsque de nouveaux matériaux apparaissent (composites, mousses isolantes). Il en sera de même lorsque de nouveaux outils seront disponibles, comme la plieuse, qui posera de nouvelles questions de mise en œuvre.

6.3.2.3 Connaissances : travail du fer et objet technique

Le domaine de connaissances privilégiés de Prouvé est le travail du fer. Mais en tant qu'homme éclairé, nourri de divers courants artistiques, il fait siens les principes architecturaux de la modernité. Par ailleurs, dans sa démarche, Prouvé mobilise ses connaissances préexistantes, tout autant que les connaissances pratiques des compagnons de son Atelier. Il en résulte une cohérence cognitive d'exception où théorie autant technique qu'architecturale, et savoir-faire expérimental œuvrent ensemble. Ainsi, Prouvé assure cette production de connaissances hybrides qui lui permet d'atteindre la maîtrise de la conception de l'objet technique dans toute sa complexité, sachant adapter ses inventions aux préoccupations architecturales des ses contemporains.

6.3.2.4 Le rôle central du prototype.

Les modèles de façade qu'il conçoit procèdent d'une réalisation prototypique qui suit très rapidement le dessin qu'il manie avec grande habileté. Les concepts sont validés, presque en temps réel, à l'épreuve de leur réalisation matérielle, moyen d'intégrer les capacités de transformation de la matière. Le dialogue avec la réalité physique de la conception est central chez Prouvé. Par ce moyen, il explorera notamment les vertus de la tôle pliée. La particularité sa démarche vient de la fusion qu'il opère entre les éléments cognitifs de la conception, réalisée par les nombreuses interactions entre concepts, connaissances d'horizons variés et représentations.

6.3.2.5 *Valorisation : l'enseignement de la démarche innovante*

La production des Ateliers Prouvé n'a pas connu un développement économique à la mesure de l'importance de son invention. L'organisation de son entreprise, fondée sur une culture de la recherche et de l'expérimentation permanentes, s'est mal accommodée de la confrontation aux valeurs des grands groupes financiers qui sont entrés dans le capital lorsqu'il s'est agi de développer l'outil de production.

Mais l'enseignement de Prouvé reste encore très vivant chez bon nombre d'architectes et la portée de son invention dépasse les productions matérielles qu'il a réalisées. Sa démarche s'affirme aujourd'hui comme un modèle de conception, auquel se réfère par exemple Renzo Piano ou Pascal Rollet qui se reconnaissent dans cette pratique de la conception basée sur l'expérimentation par la matière. Le « modèle Prouvé » s'identifie par le rôle central donné à l'activité de recherche expérimentale caractérisée par la fabrication prototypique, à l'image des processus mis en œuvre dans les grandes firmes industrielles de la construction automobile par exemple.

6.4 Expérimenter pour répondre aux exigences de l'objet architectural : la démarche technologique de Franck O Gehry.

6.4.1 *La gestion informatique des données du projet au profit d'une expression architecturale entre posture artistique et pratique sociale.*

Franck O Gehry, architecte américain contemporain, réalise ses projets d'architecture dans l'objectif de « maintenir l'improvisation des dessins dans la forme construite » (Knight, 2002) Le processus conceptuel qu'il met en œuvre, tendu vers l'objectif qui consiste à préserver intact le cheminement « hand-to-eye », s'appuie sur un enchaînement de représentations spécifiquement mises au point dans son agence. C'est avec la réalisation du musée Guggenheim de Bilbao qu'il a développé ce processus particulier, basé notamment sur l'adaptation du logiciel de CFAO « Catia » développé par Dassaut.

Si l'écriture de Franck O Gehry se dirige naturellement vers des volumes aériens, déconstruits, enchevêtrés, échappant souvent aux règles de la géométrie euclidienne, c'est aussi parce que son invention formelle a trouvé un écho dans les nouveaux outils de représentation, l'informatique autorisant la modélisation et le calcul des surfaces gauches et courbes entremêlées, tremplin nécessaire pour leur fabrication.



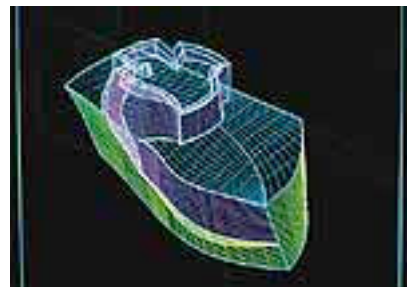
Photo N°28. Hotel Marqués de Riscal. à Elciego (Espagne) Ghery Partners, architectes (2006). Photographie : Thomas Mayer. Source : arcspace.com/architects/gehry/features.htm

La conception architecturale de Gehry, sortant des standards, demande la réalisation de documents d'un nouveau type, capables de montrer à l'entreprise comment réaliser l'ouvrage. Avec l'opération de Bilbao, dans les années 1995, Frank O Gehry a amplifié la maîtrise de la fabrication en assurant la mission d'exécution. C'est pour mieux contrôler le processus de conception-réalisation qu'il a été décidé d'intégrer ce que les américains appellent la production.

Les étapes du processus de modélisation virtuelle mis en œuvre pour l'opération de Bilbao montrent comment se met en place la production de l'opération architecturale. Les premiers concepts architecturaux sont formulés avec des maquettes en bois et carton, qui s'apparente à des sculptures.



Etape N°1 : numérisation de la maquette physique. (ph.29)



Etape N°2 : modélisation de l'enveloppe (ph.30)

La première étape consiste à relever la forme de cette maquette conceptuelle avec un outil qui génère un nuage de points sur l'écran de l'ordinateur, qui, reliés ensemble. Cela crée une forme qui ressemble grossièrement à la maquette physique. Les points sont ensuite manipulés, travaillés, adoucis, pour s'approcher de la forme souhaitée.

La surface extérieure est modélisée (deuxième étape) ; un maillage est réalisé en reliant les points pas trois ; cela figure les contours de la maquette physique.



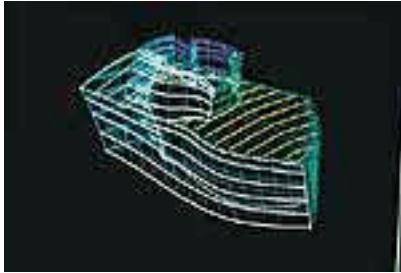
Etape N°3 : création des ombres sur la surface extérieure.(ph.31)



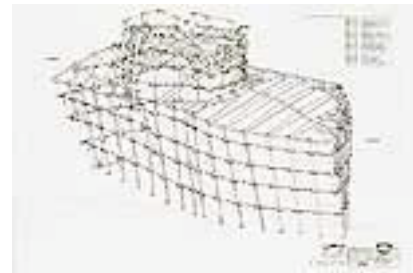
Etape N°4 : Structure principale.(ph.32)

L'étape N°3 consiste à concevoir l'enveloppe. Les lignes représentent le calepinage du revêtement qui sera réalisé en panneaux de titane. Cette étape permet de calculer les quantitatifs de l'enveloppe. Si la forme génère une surface trop importante et accroît le coût de l'ouvrage d'une façon trop importante, la maquette est retravaillée pour optimiser le

rapport entre la forme souhaitée et son coût. L'étape N°4 consiste à concevoir la structure primaire du bâtiment. Pour Bilbao, cela a consisté à faire une sorte de cartographie du squelette d'acier.



Etape N°5 : Ossature secondaire (ph.33)



Etape N°6 : Dessins de fabrication. (ph.34)

L'étape N°5 varie de projet à projet, en fonction du revêtement. Pour les bâtiments recouverts de titane, l'ossature secondaire supporte des tôles d'acier galvanisé, qui représente une sous-couche pour les écailles de titane.

A l'étape N°6, la modélisation sous Catia est utilisée pour générer les dessins d'exécution du constructeur métallique. Pour l'opération de Bilbao, les éléments ont été détaillés à l'aide du logiciel Bocad (Lemoine, 1998). Ils ont été découpés, percés et soudés en atelier par des machines à commande numérique.

Etape N°7 : Le bâtiment achevé. (ph.35)



Photos N°29 à 35 : documents extraits de : Les 7 étapes de Catia in arcspace.com/gehry_new/index.html

L'expérience du musée Guggenheim, a inauguré de nouvelles méthodes de gestion du projet que Franck O Gehry a pu développer en créant une entreprise de services informatiques qui diffuse ces outils de gestion informatisés. GEHRY TECHNOLOGIES est une société de services qui fournit des applications informatiques et des méthodes pour assurer l'exécution d'un projet d'architecture avec l'informatique, du dossier d'avant-projet détaillé à la réception des ouvrages. Créée en 2002, cette société fonde son savoir-faire sur les expériences de bâtiments complexes réalisés par l'agence de Franck O Gehry.

On pourra se référer à la description plus complète de ce cas, placée en annexe.

6.4.2 Description du processus de projet chez Franck O'Ghery, à partir de sa représentation modélisée.

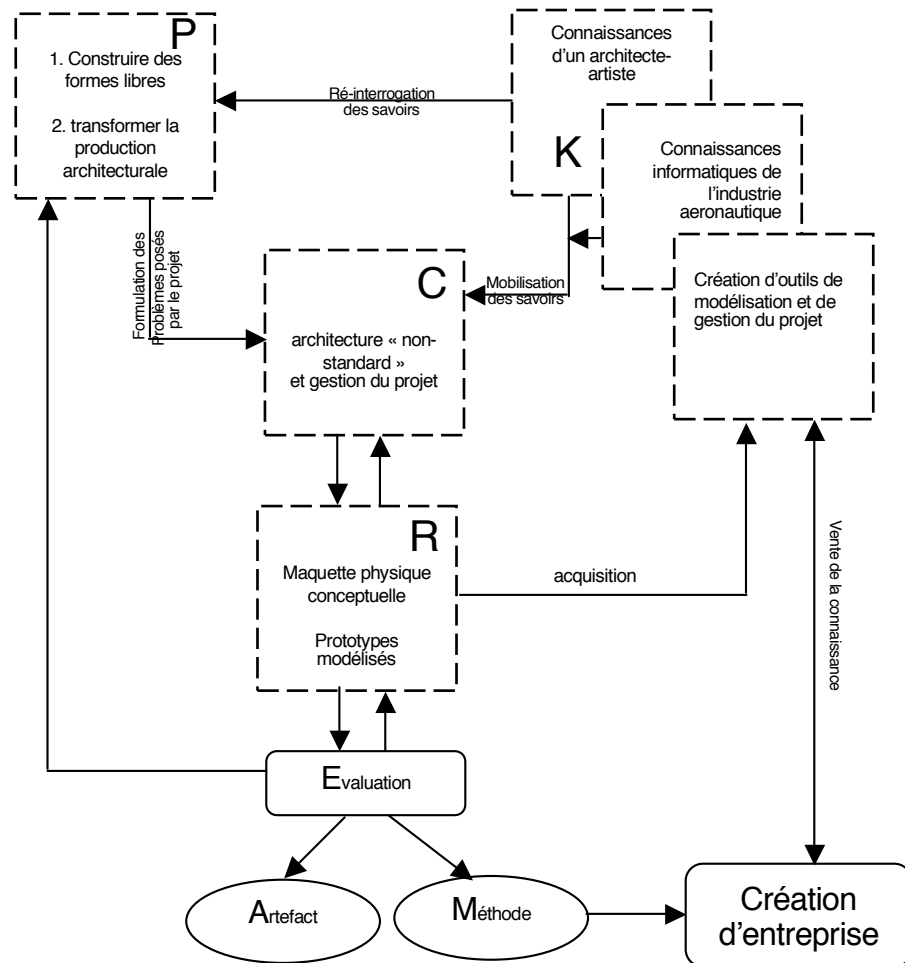


Figure 37 : modélisation du processus de conception innovante chez Franck Ghery

6.4.2.1 Problème initial : modéliser ce qui ne se dessine pas.

La recherche personnelle de l'architecte F.O.G. s'inscrit dans un courant architectural qui rompt avec les formes du mouvement moderne, pour explorer des formes libres, affranchies de la composition géométrique orthogonale. Les volumes ne s'assemblent plus selon l'ordonnement gravitationnel mais en fonction des références personnelles de l'architecte, puisées pour la plupart dans ses connaissances artistiques. L'élaboration

conceptuelle se base sur la composition de maquettes aux volumes complexes que les modes de représentation traditionnels ne peuvent pas modéliser.

6.4.2.2 Développement du concept : définir les attributs morphologiques avec les nouveaux moyens de représentation.

Gehry inaugure le processus conceptuel par une maquette réalisée à la façon d'une sculpture. L'innovation formelle qui en résulte est la base du processus de conception. Le problème central est celui de la transformation de cette forme initiale en un artefact bâti. Les attributs de ce concept fondateur sont développés du point de vue de leurs caractéristiques formelles par le recours aux nouveaux outils de modélisation 3D que sont capables de développer les informaticiens que F.O.G. a associés à son équipe de travail.

6.4.2.3 Domaines de connaissances : gestion informatisée des données

L'acquisition des connaissances qui résulte de ce processus est essentiellement méthodologique, avec l'adaptation d'outils informatiques venus de l'industrie aéronautique française. Les connaissances de l'art de bâtir interviennent pour valider une constructibilité, aussi bien structurelle qu'ambientale. Elles ne participent pas à l'inventivité constructive comme chez Philibert ou chez Prouvé. En effet, la phase de matérialisation de l'artefact procède de la technique informatique qui décompose les formes selon un maillage tridimensionnel, directement transposé vers la fabrication. Les techniques de construction convoquées sont assez frustrées et ne font que transformer le maillage en un faisceau de barres métalliques qui seront recouvertes de parements, choisis pour leurs caractéristiques fonctionnelles et esthétiques.

L'innovation conceptuelle ne se place pas dans un art de bâtir qui s'élabore par l'invention de mises en œuvre nouvelles de matériaux. Elle consiste à hisser la gestion de la production de l'architecture au niveau de ce qui se réalise aujourd'hui dans l'industrie avec la gestion informatisée des processus de production.

6.4.2.4 Valorisation de l'innovation : création d'une société de services.

Pour répondre aux problèmes de la production architecturale contemporaine, FOG et ses associés décident en 2002 de créer la société « Gehry Technologies ».

Gehry Technologies répond à la mutation des pratiques qui affectent la conception et la réalisation des bâtiments, et qui se sont considérablement complexifiées : les règlements sont plus nombreux et plus exigeants, le niveau des performances attendues est toujours

plus élevé, les plannings de réalisation sont plus tendus, les équipes sont atomisées et les rôles plus flous, sans oublier la complexité inhérente aux nouvelles capacités formelles offertes le dessin informatisé. Les méthodes traditionnelles de production de dessins en 2D, avec des informations transmises par des documents papier, sont de moins en moins efficaces face à ces situations complexes. Elles sont aussi sources d'erreurs provoquées par les systèmes de transmission de données souvent inadaptés à leur quantité et à leur diversité.

Pour répondre à ces problèmes, Gehry Technologies gère le projet d'architecte avec **la maquette numérique** qui réunit en temps réel tous les acteurs concernés par la conception, la fabrication et la gestion d'un objet physique complexe quel qu'il soit. Pour ce faire, ils exploitent notamment le logiciel Catia V5 (source 2007).

L'innovation de Gehry Technologies provient du fait que l'introduction du processus de gestion informatisée est à l'origine de l'architecte concepteur. L'introduction de la maquette numérique dans l'agence de Franck O Gehry a été initiée pour résoudre les formes architecturales non-standards, expression personnelle inscrite dans des modèles de représentation éminemment artistiques. De cette modélisation, conçue pour répondre exactement aux demandes du projet architectural, ont été générées les applications qui prennent en charge la totalité des tâches du processus qui suivent la conception. C'est une garantie opérationnelle pour que les attributs de la conception architecturale soient conservés.

6.5 Evaluation du modèle

L'application du modèle de conception à trois expériences aussi contrastées qu'universelles permet d'en détailler et d'en évaluer deux aspects : l'un qui est représentatif de sa structure de fonctionnement et l'autre des contenus qu'il met en exergue.

6.5.1 *Structure de fonctionnement du modèle : une organisation par espaces*

La représentation du processus de conception avec des espaces plutôt que des éléments fonde le fonctionnement des actions dans une démarche systémique capable de rendre compte de la complexité des échanges. Examinons les incidences de cette définition.

6.5.1.1 *Dynamique interactive.*

La modélisation avec des espaces d'activités cognitives introduit une dynamique d'interaction entre ces activités, indispensable à l'explicitation de leurs relations. En effet, nous avons pu constater que la démarche de conception est constituée d'une succession d'interactions entre les diverses entités cognitives, et de bouclages entre des parties de processus qui se reproduisent, actions qui interviennent autant de fois que l'accomplissement du processus le demande. Les chercheurs dans les sciences de la conception ont imaginé des schémas compliqués pour représenter ces bouclages et ces interactions (Perrin, 2001). Le recours à la représentation par espaces sous-entend que les relations ne sont pas limitées. Les allers et retours sont aussi nombreux que la démarche le nécessite car le système de relations est ouvert. Cette caractéristique est typiquement représentative de la démarche architecturale et tout particulièrement dans les cas d'expérimentation.

6.5.1.2 *Hasard et/ou hiérarchie.*

La notion d'espace permet d'introduire un caractère aléatoire dans l'organisation des relations entre les activités (cf. § 3.4). De cette condition, dépend notamment la mise en place des actions divergentes requises pour les phases d'exploration. Nous avons pu constater en effet que l'interrogation des problèmes dans le déroulement du projet s'opère dans un ordre dispersé, établi par le cheminement conceptuel que se construit l'architecte. L'exploration du champ des connaissances procède de cette même absence de hiérarchie. Il est fréquent qu'un architecte décide par exemple, d'approfondir un point technique de détail pour valider une résolution de problème, assez tôt dans la démarche. La mobilisation des

éléments cognitifs en ordre dispersé se satisfait d'une organisation où chaque élément circule librement. La notion d'espace nous semble assurer cette particularité.

6.5.1.3 *Espace fini ou infini ?*

Le recours à la notion d'espace emprunté à Hatchuel et Weil (Hatchuel et Weil, 2002), confère au modèle, selon les auteurs de la théorie C-K, la capacité à envisager chaque entité cognitive comme étant en expansion. Si la démonstration de cette propriété a été effectuée par ces chercheurs pour les espaces C et K, il convient de s'interroger sur les propriétés effectives des deux nouveaux espaces que nous adjoignons au modèle P et R.

Que penser d'un **espace des problèmes** en expansion ? Que penser d'une conception architecturale génératrice de nouveaux problèmes ? Cette formulation ne place-t-elle pas de fait le problème dans une acception négative ? Il semble se présenter comme un désordre imprévu qui apporte un désagrément. Ne serait-ce pas constater alors la raison d'un échec ? Si tel est le cas, est-il concevable de présupposer une issue à la conception, caractérisée par un échec ? Est-ce le rôle du modèle ?

Nous sommes placés-là devant une question d'ordre éthique. Prenant position dans ce débat, j'ai tendance à supposer qu'il est important de formaliser les conséquences d'une conception. Oui, l'espace des problèmes est en expansion. Toute conception humaine a des conséquences induites, dont les effets ne sont pas toujours explicités, pas toujours prévisibles non plus. Toutefois, les prises de conscience sur l'avenir de la planète suscitées par les scientifiques qui observent les conséquences des acteurs économiques nous encouragent à insister sur cet aspect du processus de conception.

S'il fallait soutenir l'hypothèse inverse, nous constatons que l'exploration des problèmes s'opère selon un système d'actions qui procède d'une dynamique aléatoire d'énonciation et de résolution, permise par la notion d'espace. La définition d'un espace limité, comme *le domaine* par exemple, conviendrait peut-être mieux. Pour des raisons de cohérence, il nous paraît important de conserver la dénomination d'espace pour définir les problèmes. Selon les points de vue, il pourra être envisagé fini, ou non fini.

L'espace des représentations correspond plutôt à un ensemble d'outils composé de sous-ensembles auxquels il est fait usage en fonction des nécessités de démonstration. Si nous avons porté l'ensemble des représentations au statut d'espace cognitif, c'est pour satisfaire à deux raisons. La première concerne la pratique architecturale dans laquelle l'élaboration du concept est indissociable de sa représentation. Cette connexion forte introduit des itérations qui ne peuvent advenir que dans une dynamique d'ouverture permise avec la notion d'espace. Remarquons aussi que certaines grandes inventions architecturales sont issues de découvertes dans les modes de représentations. Nous pensons à la perspective

découverte à la Renaissance, génératrice de l'espace classique, avec ses symétries, ses points de fuite. Plus récemment la génération des formes non-standard avec la maîtrise des modélisations tri-dimensionnelles opère une révolution dans la production des formes architecturales. Ghery le donne en exemple. L'expansion de l'espace des représentations architecturales a été assez faible jusqu'à maintenant, mais l'essor des nouvelles technologies place une partie de la conception architecturale et technique dans l'exploration de leurs capacités. La création de nouveaux outils de représentation, particulièrement utiles dans les phases d'expérimentation (simulation des comportements), s'impose comme la deuxième raison pour laquelle nous maintenons les représentations dans un statut d'espace.

En conclusion, les démonstrations valident l'hypothèse d'une modélisation de la conception avec les quatre espaces **KPCR** inscrit dans un processus qui est validé par l'**E**valuation pour aboutir à la fabrication d'un **A**rtefact. Nous lui avons donné le petit nom de Cap Créa, issu des initiales des éléments du modèle. Cap Créa le bien nommé quand il s'agit de faire preuve d'inventivité.

L'application du modèle aux trois exemples historiques a permis d'entrer dans les contenus de la conception de l'invention. Nous préférons adopter le terme d'invention pour ces trois exemples qui dépassent la simple expérimentation.

6.5.2 Des exemples démonstratifs.

L'examen et la confrontation de ces trois cas d'inventions remarquables dans le domaine de l'art de bâtir permet de déceler les particularismes et les similitudes qui les caractérisent.

6.5.2.1 La nature de l'invention.

Une de nos hypothèses consiste à affirmer que la démarche innovante dans le domaine de la matérialisation de l'architecture prend son origine dans l'énoncé des problèmes qu'elle entend résoudre. Pour préciser cette hypothèse, nous avons identifié trois familles de problèmes qui se posent à l'architecte, convoquant des domaines de connaissances variés :

- les connaissances architecturales strictes
- les connaissances des techniques de fabrication
- les connaissances liées au contexte socio-économique.

Ces hypothèses se vérifient-elles pour les trois cas que nous venons de détailler ?

Un problème lié au contexte économique de la production du Bâtiment.

Philibert de l'Orme n'aurait probablement pas inventé le principe de la charpente à bois courts si le problème des ressources en bons bois ne s'était pas posé. L'origine de son

invention se situe bien dans le contexte économique et social de son époque. Toutefois, il a pu formaliser le problème posé par la fabrication des charpentes parce qu'il connaissait par ailleurs parfaitement l'art de la charpente et que ses connaissances scientifiques en géométrie et en stéréotomie lui laissait entrevoir des alternatives constructives. Le problème des ressources est bien déclencheur de l'invention, mais les connaissances préexistantes de Philibert, sa clairvoyance et sa capacité à conceptualiser, ont fourni les opérateurs pour la formulation pertinente du problème.

Les problèmes liés au travail mécanique des matériaux

Jean Prouvé puise son inspiration dans les possibilités offertes par le travail du métal et des matériaux en général, ainsi que dans les modes de transformation que propose l'industrie de son époque. Le centre de sa démarche inventive se place dans l'univers des techniques qu'il aborde par une connaissance intime de la matière et de sa résistance autant que par la connaissance des moyens que propose l'industrie : outillage et semi-produits. Les références qu'il convoque pour aborder les problèmes qui lui sont posés sont avant tout techniques, placées toutefois dans le contexte architectural de la modernité qui lui est familier. Les inventions de Prouvé, de nature technique, sont autant des réponses architecturales justes et pertinentes, du fait de sa culture étendue.

Un problème de cohérence formelle.

Franck O Gehry est avant tout intéressé à maintenir intact l'acte fondateur de son architecture, dessin libre et maquette sculptée. Sa démarche première est de nature artistique, exigeante, autonome, sans référence particulière aux codes constructifs établis. Pour préserver la spontanéité de sa démarche, aidé par d'habiles informaticiens, il s'est appuyé sur les technologies conçues par l'ingénierie aéronautique. De ce rapprochement audacieux, générateur d'innovations, a été mis en forme une méthodologie et des outils qui autorisent une production radicalement nouvelle du projet d'architecture à toutes ses phases.

Ces trois démarches montrent comment le mobile de l'acte inventif ou innovateur agit sur la nature de l'expérimentation mise en place. Nous constatons toutefois que cet objectif premier ne suffit pas à spécifier l'invention, action qui doit par ailleurs faire appel à plusieurs domaines de connaissances.

L'examen de l'espace des problèmes s'avère particulièrement intéressant dans la représentation de ces trois inventions. On s'aperçoit que lorsque la découverte dépasse l'univers factuel du projet, la formulation de la problématique, qui correspond à l'élaboration

créative de l'énoncé du problème, met en relation différents niveaux de connaissances, ce qui participe pour beaucoup à l'émergence de la découverte.

Examinons à présent la façon dont les savoirs sont mobilisés .

6.5.2.2 *Concepts et connaissances.*

Cultures techniques

L'état des techniques au cours desquelles ces trois personnages ont effectué leurs recherches est fondamentalement différent.

Pour le premier, la culture technique est artisanale, même si les bâtisseurs connaissent la géométrie savante et s'aident d'instruments qui décuplent leurs forces. Les matériaux mis en œuvre proviennent des ressources naturelles sans transformation préalable importante.

Pour le deuxième, la culture technique est mécanisée, fortement marquée par les modèles et représentations mentales de l'ère industrielle. Les matériaux disponibles sont plus nombreux et élaborés. Il en résulte un dialogue nouveau avec la matière où il est possible de repérer la caractéristique physique souhaitée pour optimiser les performances de l'ouvrage.

Le troisième, même s'il n'est que 30 ans plus jeune que Prouvé, œuvre dans un univers où les technologies et les sciences repoussent les limites des possibles actions sur la matière. La confusion qui en résulte encourage à concentrer les efforts sur l'organisation des savoirs toujours plus nombreux. Les processus et les outils de traitement des données deviennent les principaux agents de l'innovation, voire de la création.

Malgré ces profondes différences, notamment contextuelles, on peut déceler dans ces trois démarches des phénomènes qui se reproduisent.

Inventer avec des savoirs croisés

« Les réalisations techniques apparaissent par invention », nous dit Simondon (Simondon, 2005b); « elles procèdent d'un être vivant doué d'intelligence et de capacité d'anticipation, de simulation ; la simulation peut se traduire non seulement par le langage, mais aussi par la production d'un schéma, d'un mode opératoire, ou d'un prototype matériel ; anticipation, simulation, invention sont des activités mentales, mais ces activités mentales, tout en ayant quelque chose de commun les unes par rapport aux autres, peuvent donner des produits différents selon l'ambiance dans laquelle elles s'exercent, cette ambiance étant essentiellement définie par l'état de la technique et de la science servant de base à l'activité de l'invention ».

On pourrait ajouter une caractéristique supplémentaire aux capacités de l'inventeur. Créer pour la première fois ce qui n'existe pas encore ne nécessite-t-il pas de la part de son auteur une capacité à rapprocher des phénomènes et des situations dont la mise en relation déclenche l'idée première ? Cette faculté d'association de champs de connaissances, couplées aux facultés décrites par Simondon est symptomatique des trois personnalités que nous avons étudiées.

D'une part, la démarche architecturale, on pourrait dire aussi « l'art architectural » comme on parle d'art musical, leur est parfaitement connue ou familière. Deux d'entre eux sont architectes, formés à l'architecture et à sa pratique. L'architecture est au centre de leur point de vue. L'autre s'est imprégné de la culture architecturale par contact, en confrontation avec de nombreux architectes pendant toute sa vie, empruntant leurs méthodes de conception. D'autre part, les composantes de la matérialité, les techniques, les matériaux, les sciences qui s'y réfèrent, les modes opératoires et leurs acteurs font partie des références qu'ils convoquent. Ils mobilisent donc l'espace des savoirs de l'architecture tout autant que celui de la matérialité, que ce soit par connaissance directe et implicite comme chez Philibert ou Prouvé, ou par consultation d'experts comme chez Gehry.

Penser par le geste.

Reprenant les démonstrations de Leroi Gourhan (1985), nous pensons que l'acte d'invention procède aussi d'une implication simultanée du corps et de l'esprit. Démonstration impalpable chez Philibert car « l'ambiance » dans laquelle il évolue n'a pas encore opéré la dichotomie entre la pensée par le geste et l'approche théorique. Qu'il n'en fasse pas état n'est pas une preuve, car cette façon d'être est consubstantielle de son époque.

Chez Prouvé, concevoir c'est aussi fabriquer. Lorsque les circonstances l'ont contraint à ne conceptualiser que sur le papier, à la fin de sa vie, il n'y trouvait plus l'accomplissement complet que lui procurait la confrontation aux expérimentations des Ateliers.

Chez Gehry, alors que la totalité du processus de production est pris en charge par la maquette numérique, nouvelle forme tri-dimensionnelle de la base de données du projet, la genèse de la conception procède de la fabrication de maquettes physiques de toutes sortes. Le geste est fondamentalement générateur de la forme. L'innovation majeure est bien dans l'opérationnalité des relations entre les maquettes physiques et la maquette numérique, synthèse du projet.

Cette réflexion sur la pensée par le geste est à rapprocher du rôle joué par le prototype que nous avons eu l'occasion de développer. Chez Gehry, les prototypes de l'innovation sont virtuels : modules informatiques, versions d'applications. Toutefois le processus de production dont l'objectif premier est d'assurer la continuité des informations entre l'agence

d'architecture et l'entreprise pour la fabrication de formes complexes, intègre la réalisation de prototypes physiques.

Le prototype est nécessaire. Il est pédagogique et démonstratif, nous rappelant que les tâches virtuelles ne remplacent pas encore la totalité de la production : la matière a ses exigences. L'homme a toujours un corps.

7. De l'expérimentation en architecture à l'innovation industrielle

7.1. Innover dans l'industrie

Les expérimentations effectuées à l'occasion d'un projet d'architecture pour concevoir un composant ou un matériau sollicitent la capacité de l'entreprise qui fabrique à se placer dans une posture innovante. A quelles conditions et selon quels critères cette démarche est-elle capable d'élaborer un produit susceptible de trouver son marché pour constituer une nouvelle offre de matériaux ou de composants du Bâtiment ? Répondre à ces questions revient à définir les modalités de l'expérimentation architecturale à l'intérieur du processus d'innovation industrielle. Avant d'y répondre, quelques définitions s'imposent à propos de l'innovation dans les entreprises.

7.1.1. *Invention/innovation.*

« Le propre de l'invention [technique] est de se matérialiser brutalement » (Leroi Gourhan, 1973), manifestation du génie inventif qui l'a produite, qu'il soit individu ou groupe. Acte fondateur, acte créateur, « acte d'intelligence qui coïncide avec le sens de la tendance » (idem), l'invention acquiert son existence par interaction avec l'environnement dans lequel elle apparaît. Dans notre société contemporaine marquée par un développement constant des sciences et des technologies, ces interactions n'ont cessé de croître, rendant l'invention de plus en plus tributaire de son milieu. Pour se réaliser, pour passer du stade de l'idée à celui de l'artefact, l'invention s'inscrit dans un processus qui fait intervenir des opérations et des opérateurs d'horizons divers. Mais l'invention technologique ainsi que la découverte scientifique ne sont plus (ou rarement) les seuls moteurs de l'innovation. La production est régie par l'économie marchande qui fixe les règles de fonctionnement de développement des biens. S'affirme alors un processus, le processus d'innovation, qui a pour objectif de mettre en relation l'invention avec son marché (Cacomo, 2005) ou avec une demande institutionnelle, lorsque la démarche n'est pas commerciale.

7.1.2. Du point de vue de l'économie.

On constate que les nombreuses définitions de l'innovation possèdent toutes en commun une référence appuyée sur le rôle central du marché . Retenons celle qui a été énoncée par le Groupement des Fédérations Industrielles dans les Echos du 27 juin 1996 (Perrin, 2001) : Innover c'est « transformer une idée en un produit qui trouve une demande sur le marché ».

Trois actions relient trois concepts dans cette définition :

- la transformation d'une idée
- la fabrication d'un produit
- l'expression de la demande d'un marché.

La transformation de l'idée induit une action de **conception**.

La fabrication d'un produit sous-entend que l'entreprise qui innove possède un outil de production doté de caractéristiques techniques capables de fournir un certain résultat (le produit). Cet outil de production est établi à partir de **savoirs et de savoir-faire** qui identifient les métiers de l'entreprise.

L'expression de la demande d'un marché signifie que l'innovation n'a d'existence que si des utilisateurs sont prêts à **en faire usage**, et à l'acheter.

Par ailleurs il faut noter que ces trois faits de l'innovation sont en interaction ; chacun des faits acquiert sa raison d'exister avec les deux autres. Remarquons toutefois que cette interaction s'effectue selon une certaine hiérarchie qui fait dépendre le processus de l'expression du marché et non d'une capacité de l'outil de production. En d'autres termes, les économistes considèrent que le déclencheur de l'innovation ne se trouve plus dans les progrès technologiques des outils de fabrication, mais plutôt dans la « création d'une valeur économique légitimée par l'usage et sanctionnée par le marché » (Blondel, 2002).

7.1.3. La conception au centre de l'innovation.

L'innovation procède d'un système d'actions en interaction. Elle se réalise par l'accomplissement d'un processus mis en œuvre par une organisation capable d'innover. Les recherches contemporaines sur l'innovation placent la conception au centre de cette organisation. « La conception permet de transformer une invention en innovation réussie, ou d'élargir l'utilité d'une innovation déjà existante »(Oakley, 1990).

Le Masson, Weil et Hatchuel (Le Masson & al, 2006) montrent comment l'innovation devient l'enjeu majeur du développement des entreprises contemporaines et précisent que « l'innovation met en défaut une théorie de la concurrence pure et parfaite : elle nécessite de tenir compte des formes de production de connaissances et des formes d'échanges de savoirs et non plus de produits et de services ». Pour ces chercheurs, la croissance des entreprises est directement dépendante de leur capacité à mettre en œuvre une conception

innovante. Ils démontrent comment cette stratégie est imposée par les modifications des conditions de production, notamment celles de la concurrence, et de l'identité des objets de moins en moins stables.

La relation de cause à effet entre conception et innovation est acquise au point de faire dépendre une partie de l'étude des processus de l'innovation des sciences de la conception.

Pour résumer, nous adoptons le modèle qui présente les phases du processus de conception d'après Roozenburg, Eekels (1995) (Perrin, 2001) (figure 38) requises pour la mise en place de l'innovation dans l'entreprise manufacturière.

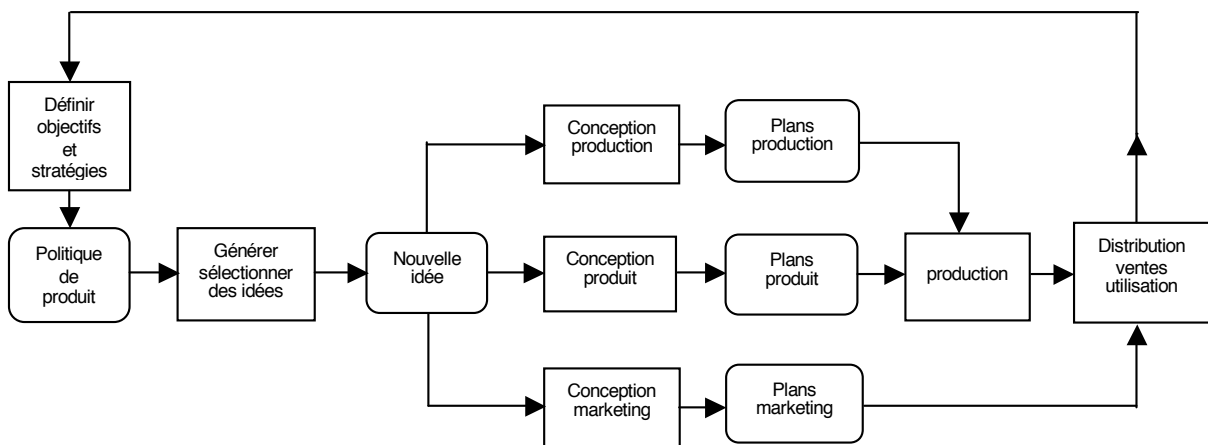


Figure 38 : Les phases du processus de conception d'après Roozenburg, Eekels (1995)

Le modèle de la figure a a été établi par Roozenburg et Eekels à partir des travaux qu'ils ont effectués sur le « basic design cycle ». Ce point de vue permet de procéder à des rapprochements plus évidents avec la conception architecturale dont le fonctionnement est proche de celui du basic design.

[Remarquons que la conception architecturale procède de la commande d'un produit unique dont les utilisateurs sont connus alors que la conception de produit porte sur un objet à fabriquer en série pour des utilisateurs supposés. La nature de l'objet étudié diffère, notamment par son échelle et son économie, mais le système conceptuel est semblable.]

L'interprétation du modèle de Roozenburg et Eekels confirme et met en évidence deux points importants du fonctionnement de l'innovation dans l'entreprise :

- la décision d'entreprendre l'étude d'un nouveau produit dépend de l'**observation des marchés potentiels**.
- Le développement du processus s'appuie sur trois objets de conception qui correspondent aux trois grandes **fonctions de l'entreprise** :

- le service commercial pour la conception marketing
- le bureau d'études pour la conception produits (basic design)
- le service de production pour la conception production des outils et des méthodes.

On peut observer que le développement linéaire des processus sous-entend une forme de **conception réglée** (voir ch.1) avec une attribution implicite des différents métiers pour chaque phase :

- « la nouvelle idée » provient exclusivement du service commercial
- les étapes s'enchaînent de métier en métier :
 - la conception marketing correspond au « fonctionnal design »
 - la conception produits correspond au « conceptual et embodiment design »
 - la conception production correspond au « detail design ».

sans faire apparaître les interactions nécessaires .

L'absence d'interactions entre les conceptions et l'absence de retours en arrière entre les différentes étapes font défaut et ne rendent pas compte des modifications organisationnelles exigées par l'innovation. De plus cette modélisation ne fait que représenter un processus de conception de produit, à partir d'**une nouvelle idée élaborée par le marché**, seul attribut déterminant l'innovation. La réalité est probablement plus complexe.

Cette forme simple du processus d'innovation a l'avantage de permettre d'y situer le rôle de l'expérimentation architecturale.

7.2. Expérimentation architecturale et conception de produit nouveau.

Lorsque l'industriel lance la production d'un produit nouveau à l'occasion d'une commande effectuée dans le cadre d'un projet d'architecture, la conception du produit est en partie réalisée par la maîtrise d'œuvre. (figure 39)

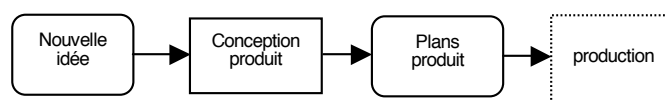


Figure 39: conception de produit effectuée par l'architecte (expérimentation)

Dans ces cas, il y a superposition entre le processus de conception de l'expérimentation effectuée dans le cadre de l'opération d'architecture et celui de la conception de produit requise par le processus d'innovation dans l'entreprise. Cette opération s'apparente à une greffe d'une partie d'un processus sur un autre.

Dans les faits, cela s'apparente à une conception de produit externalisée :

- la nouvelle idée provient d'une commande ; en ce sens, elle est une forme d'expression du marché.

- La conception du produit est réalisée par l'architecte et l'équipe de maîtrise d'œuvre
- La phase de conception des détails de fabrication est réalisée par l'entreprise qui ajuste alors la matérialisation des concepts à ses capacités de production. C'est à cette étape que la conception du produit est véritablement introduite dans l'entreprise qui se trouve ici confrontée à sa capacité effective à innover.

7.2.1. La commande unique : une innovation de type « incrémental » ?

La mise en fabrication d'un produit peut-elle se satisfaire d'une commande unique effectuée dans le cadre d'une opération d'architecture ? Cette question s'énonce en sous-questions :

- le volume des ventes de ce type d'opération est-il compatible avec le retour sur investissement ?
- la reproductibilité du produit, dont la nature est adaptée aux besoins d'une opération d'architecture marquée par son unicité est-elle probable ou improbable ?
- les organisations respectives des deux processus de production (rythmes et procédures notamment), celui du bâtiment dont dépend l'architecture et celui de l'entreprise industrielle sont-elles compatibles ?

Ces questionnements mettent en évidence certains frottements dus au fait que les logiques de production ne répondent pas aux mêmes impératifs économiques : l'une correspond à un processus unique dont la finalité est la création d'une œuvre ; l'autre a besoin de vendre auprès d'un marché soupçonné et à peu près connu, mais extérieur au processus sauf en cas de commande. C'est à cause de cette différence fondamentale que la superposition des deux processus telle qu'elle est représentée figure 40. ne peut être qu'exceptionnelle et le moins perturbante possible pour l'entreprise.

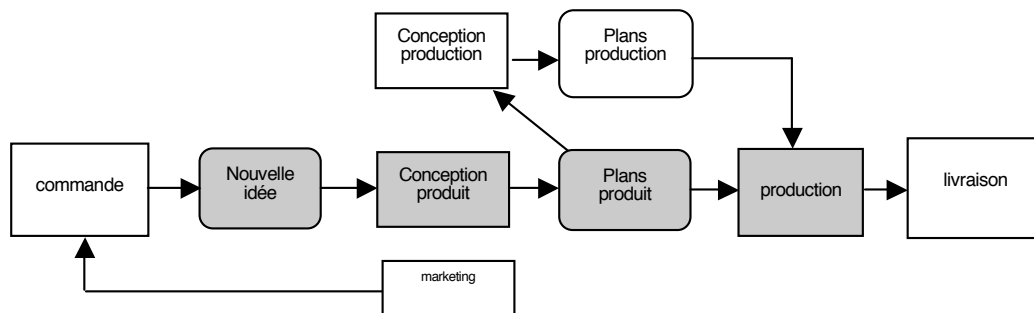


Figure 40 : superposition de l'expérimentation architecturale au processus de conception d'un produit innovant

Dans ce scénario, on peut constater que l'introduction de l'innovation dans l'entreprise mobilise les différents métiers de façon inégale :

- L'essentiel de la conception est réalisé par **la conception de produit** qui provient de l'expérimentation architecturale.
- La conception marketing est absente ; ce service n'intervient que dans la réalisation de la commande.
- La conception de la production est obligatoirement réduite pour que l'opération soit réalisable. L'investissement de production est évalué en fonction de sa rentabilité attendue. Pour une opération ponctuelle de ce type, les modifications ne peuvent donc porter que sur quelques paramètres ne remettant pas en cause des procédures constitutives de la technologie.

L'introduction de l'innovation s'effectue de ce fait sans modification majeure des métiers de l'entreprise. Elle est qualifiée d'**innovation de type incrémental**, opposée à l'innovation de type radical qui a pour effet de changer la situation de l'entreprise à la suite de l'adoption de l'innovation. La fabrication du produit nouveau est effectuée « à la marge » par incrémentation de caractéristiques nouvelles non perturbatrices.

Dans un tel scénario, la production peut s'engager à satisfaire une commande dès l'instant que le volume des ventes représenté par la commande unique est compatible avec l'investissement effectué. Toutefois, le retour sur investissement peut être évalué avec plusieurs critères :

- classiquement, en comparant le calcul du coût de revient au prix de vente
- à plus long terme, en estimant les gains acquis par l'introduction de nouvelles connaissances à l'occasion du projet
- en terme d'image, par le gain de notoriété si la réalisation est prestigieuse (type de programme, renommée de l'architecte...).

La valeur créée à l'occasion d'une opération de ce type est plurielle et outrepassé les calculs de rentabilité à trop court terme. L'estimation de son impact dans l'entreprise est appréciée dans le cadre de la politique globale et dépend de l'orientation des dirigeants, notamment des actionnaires.

En résumé, l'expérimentation effectuée dans le cadre du projet peut théoriquement « se greffer » dans un processus d'innovation industrielle et l'enrichir. Pour que cette greffe conceptuelle soit acceptée, il convient d'anéantir les facteurs de rejet. La réponse se trouve dans la capacité de l'outil de production à introduire des paramètres satisfaisants à la fabrication du nouveau produit mais non perturbants, ainsi que dans la capacité de l'entreprise à apprécier à son juste niveau la création de valeur produite à cette occasion.

Cette analyse est théorique et reflète un scénario de base. Les exemples fournis par les architectes que nous avons enquêté montrent d'autres types d'innovation industrielle qui ont tiré profit de l'expérimentation architecturale. Pour étudier ces cas, les informations ont été complétées par des entretiens avec des représentants des entreprises concernées.

7.3. Processus d'innovation

En introduction à l'analyse de ces cas qui montrent différentes formes d'association entre l'expérimentation architecturale et l'innovation industrielle, il convient de préciser les éléments capables d'identifier ces processus particuliers en vue de leur modélisation.

La conception étant au cœur de l'innovation industrielle, nous proposons de baser cette modélisation sur celle du processus de la conception de l'expérimentation que nous avons définie dans les chapitres précédents. Nous en examinons chacun des termes pour évaluer la pertinence de cette transposition et l'adapter.

- **L'espace des problèmes** a été identifié en tant que tel pour rendre compte de la très grande variété des questions posées dans le cadre d'une opération architecturale. Cette réalité n'est pas spécifique de la conception dans l'entreprise. Elle est exogène et peu dominante car elle est relativisée par d'autres facteurs, notamment l'importance du marché. Pour ces raisons, il nous semble opportun d'inclure l'espace des problèmes dans celui des concepts, tel que cela se pratique de façon classique.
- **L'espace des concepts** reste le champ cognitif central. Pour rendre compte des différents raisonnements effectués au cours du processus, nous figurons trois sous-espaces qui le constituent :
 - L'espace des concepts élaborés par l'architecte et la maîtrise d'œuvre : Ca
 - Les deux espaces de concepts élaborés dans l'entreprise, concernant la conception du produit d'une part et la conception des process de l'autre : Ce_{.produit} et Ce_{.process}
- **l'espace des connaissances** fait référence aux deux grands domaines en présence, les connaissances liées aux opérations architecturales et aux savoirs architecturaux d'une part et celles liées aux différents métiers de l'entreprise et à ses exigences de fonctionnement d'autre part : Ka et Ke.
- Nous maintenons la figuration de **l'espace des représentations** afin de dissocier les représentations qui portent sur la conception du produit dans lesquelles le processus architectural est engagé et celles plus spécifiques, qui figurent les plans de la production : R_{.produit} et R_{.process}. Nous conviendrons que la procédure d'évaluation est incluse dans l'espace des représentations.

Par ailleurs, la représentation des réalités de l'entreprise, considérées du point de vue de sa capacité à innover, doit prendre en compte deux entités majeures qui sont :

- le marché
- et la recherche.

Le marché, en tant que débouché potentiel de la production est à l'origine du processus. Le marché en tant qu'écoulement de la production et **ventes** effectives se situe en fin de processus. La dissociation de deux entités n'exclue pas le bouclage et la rétroaction, la nature des ventes renseignant le marché à venir.

La recherche est un partenaire fondamental de l'innovation dans l'entreprise industrielle. La liaison à la recherche permet d'associer les découvertes scientifiques aux progressions technologiques. C'est notamment avec la recherche que l'entreprise élargit l'espace de connaissances auquel elle se réfère pour innover.

Enfin, l'aboutissement du processus d'innovation dans l'industrie n'est pas la production d'un artefact mais la mise en **fabrication** d'un ensemble de produits destinés à la vente.(figure 41)

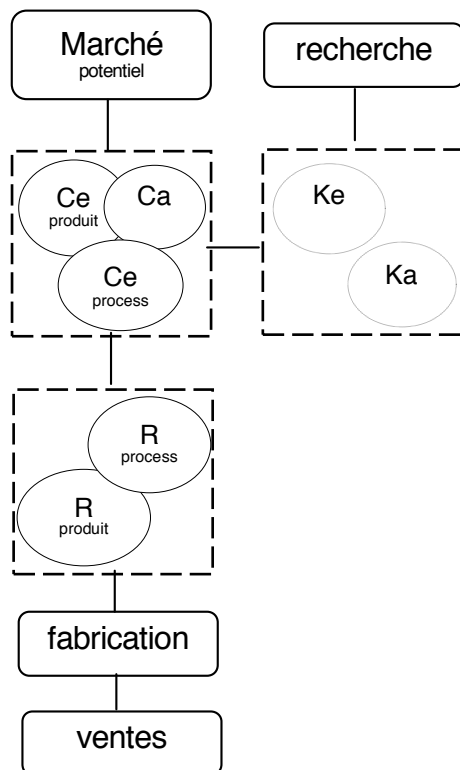


Figure 41.

Entités de base du processus d'innovation croisé avec l'expérimentation architecturale :

Espace des concepts :

Ca = concepts architectes

Ce = concepts entreprise produit et process de production

Espace des connaissances :

Ka = connaissances architectes

Ke = connaissances entreprise

Espace des représentations :

R produit : représentations produit (plans et proto)

R process : plans de production

Nous avons choisi trois cas pour l'exemplarité de leur démonstration et leur capacité à s'inscrire dans un processus d'innovation. Chacun des exemples est démonstratif d'une certaine forme d'association entre l'expérimentation architecturale et l'innovation industrielle.

Il s'agit :

- de l'enveloppe préfabriquée en Ductal, conçue par les architectes Combarel et Marrec et par la société Lafarge.
- du système de « peaux composites » conçu par Jean de Giacinto, architecte, Arc Industrie, fabricant de composites, et la société CP Concept, en vue de la création d'une entreprise.
- du composant d'enveloppe en terre cuite, conçu par l'atelier Renzo Piano et la société Guiraud puis Terreal.

7.3.1. Le cas de l'enveloppe continue en Ductal®. COMBABEL-MARREC/LAFARGE

A l'origine, une rencontre entre trois personnes : l'ingénieur du groupe Lafarge chargé du développement du Ductal®, et les architectes Combarel et Marrec. Ce projet innovant s'inscrit dans une politique de développement de Lafarge qui possède une technologie de hautes performances avec ses nouveaux bétons en mal d'application à la hauteur des caractéristiques de résistance, de finesse et de parement du matériau. De l'autre part, les architectes avaient l'idée d'un bâtiment dont l'enveloppe serait la continuité de la surface du parking, comme si le bâtiment se logeait dans un plissement de la dalle. L'intérêt de la mise en œuvre du Ductal® pour ce projet était pluriel : réaliser une enveloppe en béton préfabriqué de faible épaisseur, avec des formes courbes et contre-courbes, un parement texturé et un principe d'enveloppe étanche. La qualité de finesse du parement avait par ailleurs séduit les architectes.

7.3.1.1. Le Ductal®, béton à ultra-hautes performances (BUHP)

Cette étude de cas a sollicité la conception architecturale pour explorer le potentiel d'innovation d'une invention technologique existante. L'origine de l'innovation se situe bien dans les laboratoires de recherche des cimentiers qui exploitent les recherches sur la mixité des matériaux, polymères notamment, pour améliorer les performances des bétons. Composite par nature, le béton profite des recherches récentes pour gagner en compacité. L'adjonction de micro-fibres qui s'amalgament intimement à cette matière déjà très compacte accroît considérablement les capacités de résistance mécanique du matériau. Mais cette invention n'a pas encore trouvé « les coïncidences avec le sens de la tendance » pour paraphraser le Roi Gourhan. En d'autres termes, ces bétons appellent une utilisation de la matière qui se réfère à aucun des modèles courants.

7.3.1.2. Fabriquer les applications du matériau.

Pour pallier à cet inconvénient majeur qui risque de condamner provisoirement une invention technologique prometteuse, Lafarge a conçu un développement de son marché en incitant des architectes à utiliser le produit :

A la demande de Leopold Lombard, le responsable des relations avec les architectes, j'ai rencontré une centaine d'architectes pendant une année, tels que Dominique Marrec, Manuelle Gautrand, Nicolas Michelin, etc... qui cherchent à innover au sein de leurs projets. Nous les rencontrons à leur demande, à la faveur d'un projet à étudier. Nous les aidons à préciser les caractéristiques de l'ouvrage en fonction du matériau et de ses capacités. Mais le suivi d'un projet est très long. Cela dure souvent deux ou trois ans et mobilise beaucoup de temps. Nous n'avons plus la possibilité de le faire. (Mouloud Behloul. Entreprise LAFARGE)

L'aide fournie par Lafarge dans le cadre de ces opérations expérimentales réalisées avec les architectes est double. Il s'agit d'une part

de la conception qui est faite en amont avec l'architecte et qui permet de s'assurer qu'il y a une adéquation juste entre le matériau et le projet (idem)

et d'autre part, de s'assurer que l'ensemble des conditions soient réunies pour que le Ductal® soit finalement mis en œuvre par l'entreprise adjudicataire :

il y a le choix du pré-fabricant. Nous devons convaincre nos partenaires de répondre à l'appel d'offres de l'opération. Nous devons aussi nous préoccuper du bureau d'études de l'opération. Il faut qu'il connaisse un minimum le Ductal® et ne le rejète pas. Là encore, il faut le former, il faut l'aider. Enfin, il y a le bureau de contrôle. Pour qu'il puisse contrôler correctement, il faut qu'il connaisse bien le matériau. Il y a donc toute cette chaîne-là. (idem)

Le processus d'une opération architecturale est complexe et le matériau apparaît en bout de chaîne (cf chapitre 1). Installer un matériau inconnu de tous nécessite un important effort de communication. Auparavant, Lafarge a construit un réseau de partenaires pré-fabricants pour s'assurer d'une mise en œuvre correcte du matériau. Cette démarche a nécessité de repérer les entreprises dont le savoir-faire est compatible avec la technicité du matériau, de les convaincre et de les former :

Il faut aussi que le pré-fabricant sache faire l'élément. Cela représente un savoir-faire spécifique. Comment concevoir le moule, comment le remplir. Comme le matériau est nouveau, ce ne sont pas tout à fait les mêmes techniques, même si c'est la même famille technique. Il y a un savoir technique important pour mettre en oeuvre le Ductal®, qui ne ressemble pas au béton basique, sous peine d'erreurs. On fait des structures très fines ; les peaux coffrantes sont plus sophistiquées, à base de silicones, ou de polyuréthanes. Il est donc nécessaire de former ces pré-

fabricants. Ce que nous faisons. [...] Lorsqu'il démarre un projet, il y a toujours quelqu'un de chez nous sur place, et nous assurons un suivi ensuite, par téléphone ou sur place pour répondre aux problèmes qu'il rencontre. Pour lui, ce sont des problèmes parce qu'il doit faire face à des situations qu'il n'a pas encore rencontrées. Pour nous ce ne sont pas des problèmes. Ce sont des points techniques à résoudre.(idem)

7.3.1.3. L'opération de Thiais.

Lorsque Dominique Marrec et Emmanuel Combarel conçoivent l'enveloppe du bâtiment de Thiais pour la RATP, ils sont en situation d'expérimentation. Le modèle auquel ils se réfèrent pour concevoir cette enveloppe particulière est celui de la préfabrication en béton, à laquelle s'adjoignent les caractéristiques du Ductal® : finesse de l'élément, précision du parement, caractéristiques physiques. Ils sont conduits à mettre au point la totalité des détails d'exécution pour résoudre deux contraintes majeures : le réglage des dimensions sur le pas d'accroissement des pastilles qui texturent le parement et l'étanchéité de l'enveloppe.(cf ch.3). Cette opération a nécessité la confirmation de cette mise en œuvre du Ductal® en façade préfabriquée par un agrément de type ATEX.

Installer l'innovation

En résumé, ce cas correspond à une innovation planifiée, avec une progression incrémentale qui s'appuie sur les performances d'une technologie dominante, principal facteur d'innovation. La particularité de cette innovation réside dans le fait que l'incrémentation des innovations est exogène. Elle s'opère auprès des partenaires du fabricant :

- les pré-fabricants pour la mise en œuvre du béton
- les architectes pour la recherche de nouvelles applications.

Cette innovation fabriquée sur trois pôles se résume dans la figure 42.

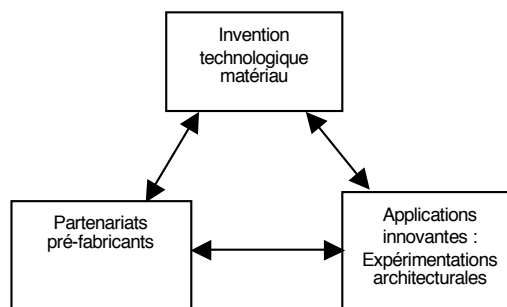


Figure 42: Les trois pôles de développement de l'innovation Ductal®.

Les acquis du processus expérimental portent sur la création de la synergie entre les acteurs dont Lafarge a besoin pour s'assurer de l'application de son produit et sur la progression des savoir-faire chez les acteurs partenaires , pré-fabricants et architectes.

La technologie du matériau est restée stable. Le mode de production n'a pas été modifié par l'opération. Seule la couleur du produit a été réalisée spécialement pour l'opération :

On a deux ou trois formules auxquelles on ne touche pas beaucoup. La formule qu'on a utilisée pour le chantier de Thiais est une formule Ductal avec fibres organiques. Cette formule a fait l'objet d'une évaluation technique par le CSTB. Ce travail a duré trois ans. On ne peut pas changer tout cet acquis. On a là tout un référentiel, toute une base de connaissances sur le produit, son comportement, le vieillissement dans le temps. Tous les tests ont été faits. [...]. Donc on a peu de latitude sur la composition même du matériau. La seule petite latitude qu'on a, c'est la couleur. C'est le cas ici, où l'architecte souhaite la couleur « du sous-marin qui sort de l'eau ». C'est un gris vert qu'on a su faire.

7.3.1.4. Modéliser l'innovation : le cas Combarel-Marrec/Lafarge

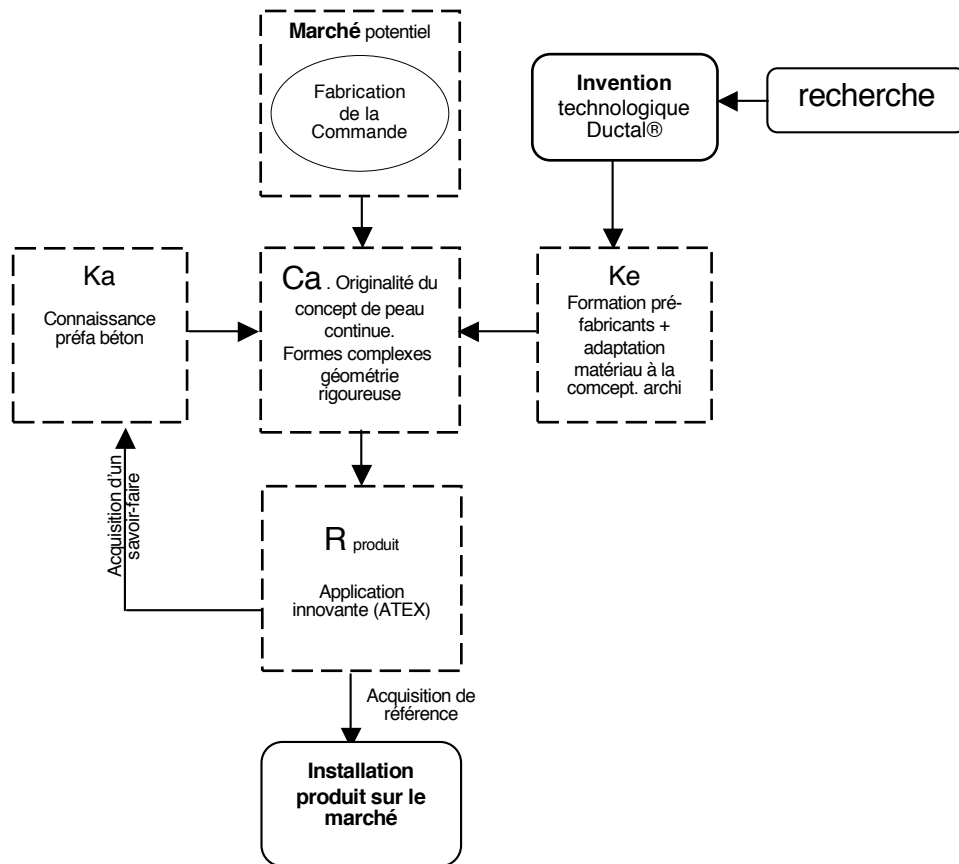


Figure 43 : modèle Combarel-Marrec/ Lafarge

La modélisation de cette étude de cas (fig. 43) montre que l'innovation procède de deux actions fondamentales:

- la première concerne l'invention technologique, issue de la recherche, en dehors de toute application.
- La deuxième concerne l'organisation d'un marché pour le nouveau produit en actionnant plusieurs leviers pour s'assurer des conditions de mise en œuvre du matériau et de l'émergence de nouvelles applications.

Dans ce cas, l'architecte est le créateur d'idées nouvelles destinées à valoriser l'utilisation de ce nouveau matériau aux caractéristiques qui demandent encore à être explorées. Il est le seul acteur qui produit des connaissances nouvelles à l'occasion de l'expérimentation. Mais la capitalisation de ces acquis est du ressort de l'entreprise qui les utilise en tant que référence destinée à convaincre un marché à conquérir. Cet exemple est particulièrement

révélateur de la particularité du fonctionnement de l'innovation dans le secteur du Bâtiment et plus particulièrement de l'architecture.

7.3.2. Le cas des Peaux Composites. DE GIACINTO / CB CONCEPT.

7.3.2.1. Opérations pionnières

Jean de Giacinto, architecte, est intéressé depuis de nombreuses années à explorer les possibilités expressives des matériaux composites dans l'architecture. La première expérience réalisée avec cette technologie a abouti à la réalisation du bardage « en image d'eau » qui recouvre les murs de l'usine de traitement des eaux de Bègles en Gironde. Cette première expérimentation s'est concrétisée grâce à la complicité active du fabricant de composites Arc Industrie qui trouvait dans cette opération une diversification de ses activités nautiques. L'originalité du produit consistait à travailler la couche de gel coat. Dans ce cas, il s'est agi d'une application de peinture bleue ondoyante en fond de moule. Intéressé par la constitution composable du matériau, J. de Giacinto a poursuivi les recherches avec Arc Industrie en essayant de placer des inclusions naturelles en fond de moule. Plusieurs opérations architecturales ont été réalisées avec ces produits, notamment une façade en secteur sauvegardé de Bordeaux, sur laquelle grimpe une glycine qui s'entremêle avec la glycine contenue dans l'inclusion des panneaux.

La réalisation du laboratoire de l'Ecole d'architecture et du paysage de Bordeaux fût l'occasion d'une expérimentation plus aboutie dans la technique de construction grâce au concours du bureau d'études CTA (Conception Techniques Avancées), spécialiste des composites. Ce projet prévoyait la réalisation de panneaux de grande hauteur placés en double peau et destinés à créer une allée de peupliers en reproduisant l'alignement des peupliers existants. Deux problèmes techniques ont été étudiés en détail :

- la tenue mécanique des grands éléments et leur mode de fixation
- la fabrication de l'image en fond de moule, à partir d'une photo numérisée.

Les panneaux ont été fabriqués par la société Arc Industrie.

7.3.2.2. Créer une entreprise.

Simultanément à cette expérimentation, Christian Chevalier, responsable du bureau d'études CTA qui travaille depuis plusieurs années avec Jean de Giacinto, a développé l'idée avec Patrick Plecy de diffuser plus largement ce type d'ouvrages :

Christian Chevalier avec qui je suis associé dans cette opération met en œuvre les composites depuis longtemps dans des domaines plus traditionnels que le Bâtiment, comme l'architecture navale par exemple.

Depuis bientôt trois ans, nous nous sommes interrogés à leur mise en œuvre dans des secteurs nouveaux où ils n'étaient pas présents. Nous avons un objectif de

rentabilité recherchant des secteurs dans lesquels on peut gagner de l'argent assez rapidement. Nous avons donc exploré les marchés solvables ce qui nous a conduit à exclure un certain nombre de domaines. Nous en avons retenu deux : le meuble et le Bâtiment, en nous orientant pour ce secteur vers les vêtements, les façades. Plus récemment, nous avons abordé l'architecture intérieure, c'est-à-dire les revêtements muraux, les cloisons, etc.

Nous avons mis longtemps à mettre sur pied une gamme de produits et à ce jour, c'est encore en évolution. Ces deux années d'activités ont été dévolues à l'investissement de recherche. Nous plantons le décor au plan commercial sans avoir encore obtenu de résultats en termes de marché. (Patrick Plecy CP concept)

7.3.2.3. Echanges de savoirs.

Le projet de création d'entreprise entre ces deux associés s'appuie sur leur conviction commune, leur complémentarité (l'un représente la technique et l'autre le versant commercial de l'entreprise) et sur l'association aux savoirs de l'architecte et de l'entreprise spécialisée en chantiers originaux.

Nous avons aussi beaucoup travaillé l'inclusion grâce au savoir-faire que nous avons acquis en particulier à partir des travaux réalisés par Jean de Giacinto et Arc Industrie en Gironde, avec qui nous avons loué des accords techniques et commerciaux. Décrit rapidement, cet accord signifie que nous transformons ce qui est fait à un stade artisanal en une vraie entreprise industrielle. Nous nous appuyons sur eux en acquérant leur savoir-faire. Commercialement, ils auront les marchés des petites séries. Nous ferons les grosses séries ; ils réaliseront les prototypes et les moutons à 5 pattes puisqu'ils font tout à la main. Nous travaillons plutôt à fabriquer avec des moules automatisés, des process. Nous avons une capacité d'investissement en méthodologie et en ingénierie de production. Il y a donc un partage aussi bien commercial que technique dans lequel tout le monde devrait y trouver son intérêt. (idem)

Dans ce scénario, l'architecte intervient en deux temps. Il est à l'origine des idées de produits appliqués à l'architecture grâce aux opérations expérimentales effectuées depuis de nombreuses années en solitaire. Il apporte un savoir capitalisé, mis à profit pour la création de l'entreprise. Dans un deuxième temps, il jouera le rôle du « basic designer » qui conseille l'entreprise pour la prise en charge des produits qui nécessitent des adaptations architecturales.

Avant que ce partenariat ne fonctionne dans le cadre d'une entreprise, les deux associés ont à poursuivre les mises au point qui s'imposent, du point de vue des produits d'une part et des process industriels d'autre part.

7.3.2.4. Certifier la production et concevoir l'outil de production

La conception de la future entreprise s'appuie sur les solides connaissances des associés dans le domaine des composites.

Ces connaissances sont mises à profit pour concevoir les campagnes de certification des produits en vue de leur application dans le Bâtiment. La tenue au feu et la résistance aux UV sont les principales questions techniques à résoudre pour ce domaine d'application. La difficulté de ce projet provient de la composition des panneaux, réalisée avec des couches de produits aux comportements différents.

Le CSTB et la loi disent qu'il faut faire un test à chaque fois. Cela veut dire que lorsque nous mettons en œuvre des produits spécifiques comme le permet la technologie, avec des couches différentes selon des configurations originales, il faudrait un avis technique à chaque fois. Evidemment, il n'en est pas question. Nous réalisons actuellement un programme de certification, avec une aide de l'ANVAR. C'est un processus très long. Nous sommes confrontés à cette durée pour la commercialisation.(idem)

Parallèlement à cette campagne de certification à l'issue de laquelle les produits seront commercialisables, les associés réfléchissent à la conception de l'outil de production compatible avec la technologie, leur capacité financière et leurs aspirations.

Notre philosophie est celle de petites unités de production reproductibles et duplicables, comme la franchise dans le commerce. Nous allons faire du semi-industriel. Cela ne sera pas comme Arc Industrie qui travaille avec un pinceau dans une main, et un pot de résine dans l'autre, ni de la plasturgie avec ses fabrications intensives. Notre créneau est celui de l'outil qui coûte dans les 400 000 euros, maîtrisable par deux compagnons et qui tient dans un petit local. C'est étudié pour produire 20 000 m² de panneau. S'il faut faire 40 000 m², on fera une autre unité, soit chez un sous-traitant, soit au Maroc. On peut tout imaginer. Nous voulons maîtriser correctement une petite unité de production qui fonctionne dans un environnement HQE.(idem)

7.3.2.5. Modélisation du cas De Giacinto et Cpconcept.

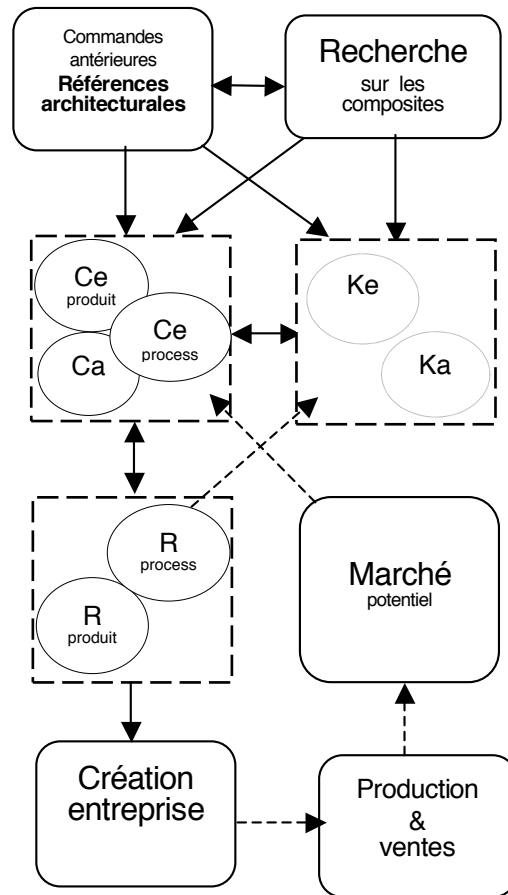


Figure 44 : modèle Giacinto / Cpconcept (les flèches en pointillé indiquent des actions supposées)

Cette étude de cas est en cours de réalisation (fig. 44). La démonstration est de ce fait incomplète. Toutefois, elle met en évidence la façon dont l'expérimentation architecturale est créatrice d'innovation, au point de participer à la création d'une entreprise.

Les références architecturales antérieures et les recherches sur les composites effectuées par un des associés constituent le capital de connaissances et de concepts initiaux et fondateurs de l'entreprise. L'étude d'un marché potentiel et l'élaboration de la stratégie d'entreprise transforment ce capital initial en une entreprise supposée économiquement viable.

Le concept de l'entreprise est de produire « à la demande » : *Notre première démarche consiste à proposer des produits qui peuvent être fabriqués d'une part à la demande, et d'autre part en séries importantes.* (P. Plecy) Cette hypothèse nécessite une ré-interrogation des concepts afin de pouvoir adapter la production aux demandes. Toutefois, les associés

travaillent à mettre au point une gamme de produits dont il est possible de modifier un certain nombre de paramètres, sans modifier les caractéristiques physico-chimiques des matériaux. Abouti jusqu'à son terme, ce concept signifie que la stratégie d'entreprise se fonde sur la production d'un processus de production et non pas sur des gammes de produits référencés. Mais les propos de P. Plecy sous-entendent que cette option n'est pas unanimement partagée puisqu'il cherche à définir, grâce aux réactions du marché, les attributs d'un ou deux matériau standard :

En ce moment, nous avons une potentialité immense avec nos matériaux, ou nos semi-produits. Lorsque le marché aura fait le tri, nous n'aurons plus que quelques solutions qui seront des produits. A ce moment-là, nous serons sur des rails. On ne pourra plus nous en faire sortir. (P.Plecy)

... l'avenir dira si la direction ainsi choisie est la bonne.

7.3.3. Le cas de la façade en terre cuite PIANO /GUIRAUD-TERREAL

7.3.3.1. La façade de l'IRCAM à Paris

A l'origine de cette expérimentation, l'opération de l'IRCAM à Paris fût étudiée par Renzo Piano. Il avait conçu un bâtiment à ossature métallique pour lequel il envisageait une façade capable de « saluer » le bâtiment scolaire du XIXème siècle, contigu, construit en briques apparentes. La terre cuite s'est imposée. Toutefois, le principe constructif envisagé était incompatible avec la brique traditionnelle. L'agence Piano a donc inventé un système de vêture en terre cuite accroché à sec sur l'ossature métallique. L'entreprise Guiraud a étudié pour ce projet, la fabrication d'éléments de grande longueur et de faible épaisseur, assimilable dans leur technologie de fabrication à des carreaux qu'ils produisaient par ailleurs. Cette première fabrication a été le fait d'une petite série spéciale.

7.3.3.2. La Cité internationale à Lyon

C'est à l'occasion de l'importante opération de la Cité Internationale de Lyon que l'agence Piano et l'entreprise ont repris ce principe de façade pour le développer industriellement.

La mise au point du système d'enveloppe en terre cuite, posé à sec, a commencé en 1993, année où nous avons travaillé pendant huit mois, avec Paul Vincent de l'agence Renzo Piano, à la conception d'un bardeau de grande longueur pour la Cité Internationale de Lyon. Cela a représenté un investissement recherche très important qui s'est fait en étroite collaboration avec les chefs de projet architectes. Ils avaient des idées très précises sur la forme du produit et les systèmes de fixation. Nous avons commencé la production de la première tranche dans notre usine de Lasbordes qui fabrique les briques hauteur d'étage. [...]. En 1996, à l'occasion de la deuxième tranche de la Cité internationale, nous avons transformé l'usine de Revel qui était spécialisée en carrelage pour fabriquer les produits de façade. (Philippe Malé ; Directeur du Département produits, Terreal)

Les différentes phases de l'opération qui se déroule sur plusieurs années, ont permis de perfectionner le système de vêture qui est aujourd'hui commercialisé dans le monde entier.

7.3.3.3. Une innovation par étapes

L'enchaînement des opérations qui se sont succédées est résumé dans le tableau de la figure 45.

Type d'innovation	Opération architecturale	Outil de production	Conception architecte (produit)	Conception entreprise (production)	Technologies mobilisées
Innovation produit	IRCAM à Paris avec Renzo Piano BW	Fabrication prototypique	enveloppe en terre cuite posée à sec Bardeaux de grande dimension	Adaptation du savoir-faire existant à ce nouveau produit encore inconnu	Technique de l'extrusion : maîtrise de la fabrication d'éléments de grande dimension
Innovation produit et process	Cité Internationale à Lyon . Phase N°1 Renzo Piano BW	Fabrication provisoire (rebus importants)	Système de vêtture. Simplification du système d'accrochage	Mise au point du produit. Procédures de certification	Maîtrise des process industriels
Innovation process	Cité Internationale à Lyon . Phase N°2 Renzo Piano BW	Création unité de production spécifique	Développement des composants (formes et fonctions nouvelles)	Poursuite de la conception en fonction des perfectionnements techniques	Perfectionnement des outils.
Innovation incrémentale	Diffusion internationale	Développement unité de production	Demande de fabrications spéciales	Conception d'innovations incrémentales	Développement de la recherche notamment sur les simulations de comportement

Figure 45 : Tableau résumant le déroulement des opérations pour la création de l'enveloppe en terre cuite Piano/Guiraud.

Ce cas de production a connu un développement remarquable du fait de la convergence de facteurs favorables :

- l'étude de composant de façade effectuée par l'agence Piano était très aboutie du point de vue de la pensée technique et architecturale. Sa mise au point a profité du talent et de tout le savoir-faire cette agence. Sa notoriété a été un facteur de confiance pour les partenaires économiques mais aussi un atout marketing majeur pour l'entreprise notamment.

Ce produit s'est imposé. Il a fait référence et nous devons beaucoup de sa notoriété à l'agence Piano qui a su communiquer dans le monde entier sur ce chantier.(idem)

- L'entreprise qui a assuré le développement de l'expérimentation architecturale pour le transformer en innovation a compris l'intérêt majeur de cette conception innovante et a mis tout son savoir-faire technologique et ses moyens d'investissement dans le projet pour en assurer la réussite. Ce composant offre une alternative contemporaine de la

façade en terre cuite, transformant radicalement son image et l'intégrant dans les techniques constructives de type mécanique (filière sèche) qui correspondent aux nouveaux standards de l'art de bâtir. Mais pour réussir ce pari, il lui a fallu investir dans des recherches sur le matériau et les techniques d'extrusion, ainsi que dans le process industriel à l'occasion de la création d'une nouvelle unité. Le pari était d'autant plus audacieux que le marché n'était alors assuré que par l'opération de la Cité Internationale.

7.3.3.4. Une firme innovante

Il faut souligner le fait que cette entreprise possède une longue tradition d'innovation :

La société Guiraud a eu l'idée de la création de la brique hauteur d'étage, n'hésitant pas à créer une usine pour fabriquer le produit, alors que le marché ne lui était pas encore vraiment acquis. Elle pensait que la terre cuite ne pouvait pas se limiter à la brique maçonnée. Elle a eu l'idée de cette brique de hauteur d'étage destinée à réaliser des cloisons sèches en terre cuite. Cela a eu pour conséquence de rechercher de nouvelles matières premières et de nouveaux procédés de fabrication ; c'est à cette période, il y a 30 ans, qu'elle a créé le C.R.E.D (Centre de Recherche Etude et Développement). Au cours des années, la société a poursuivi des innovations fortes dans des produits à plus larges fonctionnalités (coffre de volets roulants, bardages de grandes longueurs). Nous fabriquons aujourd'hui des éléments de plus en plus complexes, dont nous maîtrisons de mieux en mieux les caractéristiques. Les dernières générations de systèmes d'enveloppe en témoignent. (idem)

L'identité du produit conçu à cette occasion ne se cantonne pas à satisfaire la résolution d'un problème de conception spécifique à une opération. L'architecte a projeté une conception de façade dans un contexte de réflexion qui dépassait les limites du projet. Il a imaginé une technique de mise en œuvre du matériau terre cuite qui s'adapte aux conditions des chantiers contemporains, qui répond aux nécessités d'isolation des bâtiments par l'extérieur et qui s'inscrit dans une esthétique contemporaine.

L'origine essentielle de l'invention porte sur les questions de mise en œuvre de la terre cuite en façade en réponse au contexte contemporain et non sur la forme et la texture d'un bardeau, même si ces paramètres étaient importants.

En résumé, cet exemple est le résultat d'une agrégation positive de facteurs innovants pluriels et complémentaires rendue possible par le jeu des acteurs où chacun a su prendre

les risques nécessaires à l'émergence de l'innovation et où chacun possédait une parfaite maîtrise de son rôle.

7.3.3.5. Modéliser l'innovation : le cas Piano/Terreal.

La modélisation de ce cas, à partir des entités que nous avons identifiées, montrent l'emboîtement des deux cycles de production, l'un étant initiateur de l'autre. (figure e)

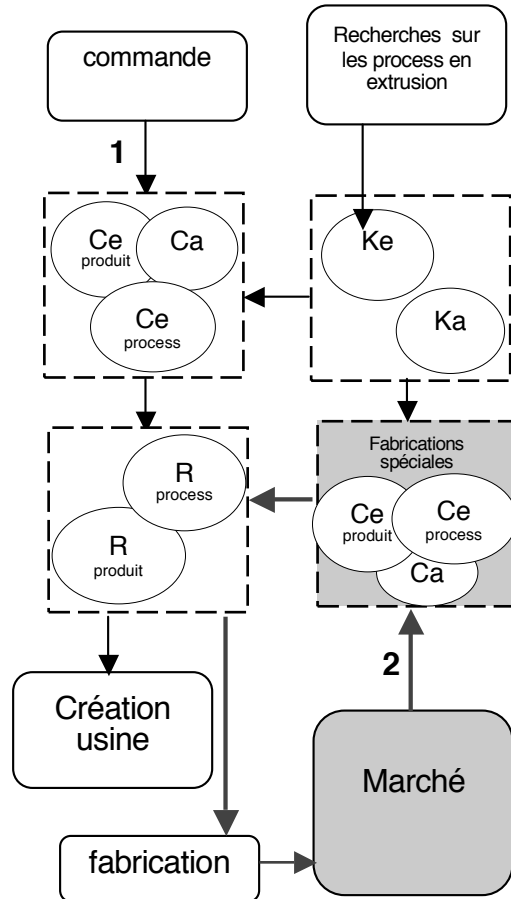


Figure 46 : modélisation du cas Piano/Guiraud-Terreal

Cette étude de cas est démonstrative de deux types d'innovation qui correspondent aux deux cycles qui se sont enchaînés (fig. 46).

Le premier cycle d'innovation est de type radical et porte sur une innovation-produit qui s'appuie sur un savoir antérieur fait d'une série d'innovations sur le process de production.

Ce premier cycle s'est effectué grâce à la conception innovante qui résultait de l'expérimentation de l'architecte Renzo Piano. Cette innovation-produit n'aurait pas vu le jour sans le travail de conception effectué avec cette agence. On peut en effet remarquer que les

remontées d'informations en provenance du marché, formulées par le service marketing, sont de nature très différente et encourage rarement à une innovation aussi radicale. Pour preuve, les questionnements que se pose actuellement la société à propos de la couverture.

La couverture pose beaucoup de questions nouvelles avec les problèmes énergétiques. Or les innovations qu'on nous demande aujourd'hui consistent à retrouver l'image des toits anciens. C'est un peu en décalage par rapport aux grands enjeux qui se posent par ailleurs. J'ai le sentiment qu'il faudrait aborder ce produit de façon nouvelle. (idem)

Le marché de la couverture est constitué par les couvreurs qui achètent les produits Terreal. Une question de fond sur la couverture dépasse les problèmes de la mise en œuvre ou du marché de la prescription de la tuile traditionnelle. Quel est le partenaire qui peut s'associer à Terreal pour l'aider à trouver les nouvelles idées de produit ? La question est ouverte.

Le deuxième cycle d'innovation, témoin de la capacité de l'entreprise à se maintenir en posture innovante (la firme innovante) est de type incrémental. Les commandes spéciales fournissent l'occasion de rechercher des améliorations ou des variantes aux produits de base, comme ce qui a été réalisé pour une opération à Aubervilliers avec Arte Charpentier :

Ils voulaient une dimension précise, qui se coordonne avec la largeur des fenêtres, et une couleur précise, un rose qu'ils avaient vu sur une brique italienne. La question de la dimension a été facile à régler. Nous sommes partis d'un système existant, en double peau, fixé sur un rail continu. Nous avons créé un produit plus résistant pour les parties basses, en prévention des chocs. [...]. La mise au point de la couleur nous a obligé à faire de nombreux essais. [...]. Pour ce cas précis, nous avons produit 12 couleurs, avec des terres de provenances variées. Nous en avons retenu 4. A partir de ces quatre échantillons, nous avons fait choisir les prescripteurs. [...]. Pour le choix définitif, nous avons fait venir la totalité des gens concernés autour de l'architecte. (Pierre Le Bot , Responsable Développement Façade - décoration

TERREAL)

Ce développement détaillé du déroulement d'une mise en fabrication spéciale est témoin de l'investissement tantant que l'entreprise déploie en moyens de recherche.

Nous avons des outils très puissants qui nous permettent de modéliser et de prédire le comportement des produits en fonction de leurs caractéristiques. [...] Avec le prototype en résine (prototypage rapide en CAO), nous testons le produit sur la ligne de production pour vérifier qu'il passe bien à tout les stades du process ; le prototype nous sert aussi à valider le cahier des charges fonctionnel. (Philippe Male)

Les développements récents en recherche vont dans le sens d'une plus grande réactivité à la création de nouveaux produits. L'entreprise Terreal peut développer une politique d'innovation sans inquiétude pour ses actionnaires puisque les outils de la recherche permettent de valider les hypothèses sans prendre de risque (ce qui n'était pas le cas des innovations précédentes qui entraînaient un rebus considérable pendant la période des mises au point). Les nouvelles technologies y participent pour beaucoup (logiciels de simulation du comportement ; modélisation CAO...).

Le développement des produits de façade en terre cuite chez Terreal est démonstratif d'un parcours d'innovation réussi. Des conditions extérieures au processus, comme l'intérêt des architectes contemporains pour la terre cuite ont probablement aidé favorablement ce processus. Toutefois, l'étude de cette expérience montre que l'innovation procède bien des trois formes de conception définies par Roozenburg et Eekels (§ 7.1.3). La réussite provient des choix effectués pour réaliser ces trois conceptions :

- La conception de la production a profité de la perspicacité de l'entrepreneur Guiraud qui a pris le risque de penser la fabrication et l'utilisation de la terre cuite en opposition aux habitudes (grands éléments posés à sec, en opposition aux briques traditionnelles scellées au mortier).
- La conception du produit a été réalisée avec les critères d'architecture, associés aux recherches du fabricant.
- La conception du marketing intègre la possibilité de fabrications à la demande, poursuivant par ce biais la recherche d'innovations.

Cela représente un moyen pour l'entreprise de maintenir la conception architecturale comme une des composantes de sa politique d'innovation.

L'étude de ces trois exemples montre que le processus conceptuel réalisé dans le cadre d'un projet d'architecture peut s'intégrer efficacement à la stratégie d'innovation d'une entreprise qui fabrique des matériaux pour le bâtiment, à certaines conditions.

7.4. Les typologies d'innovation.

L'étude de ces trois exemples montre que le processus conceptuel réalisé dans le cadre d'un projet d'architecture peut s'intégrer efficacement à la stratégie d'innovation d'une entreprise qui fabrique des matériaux pour le bâtiment. La description de chacun des trois types a été l'occasion d'en préciser les particularismes. Nous n'y reviendrons pas. Il nous paraît possible, à partir de ces cas et des autres témoignages recueillis au cours de cette recherche de tenter de dégager des formes de collaboration entre architectes et entreprises, symptomatiques de types d'innovation. Pour les caractériser, nous adoptons un mode de représentation qui fait apparaître des tendances d'action plutôt que des types précis, plus aptes à rendre compte de la complexité des processus.

Nous souhaitons mettre en relation les formes de classement de l'innovation industrielle le plus souvent utilisées (Le Masson & al, 2006) , que nous avons déjà eu l'occasion de citer:

- innovation incrémentale ou innovation radicale pour caractériser la quantité de transformations que l'innovation opère dans l'entreprise, dans son organisation, dans ses méthodes, dans ses modes de fabrication... .
- innovation sur le produit ou innovation sur le process pour situer l'impact de l'innovation, selon que la conception innovante porte sur la création ou la transformation du produit, ou du process de fabrication. (Figure 47)

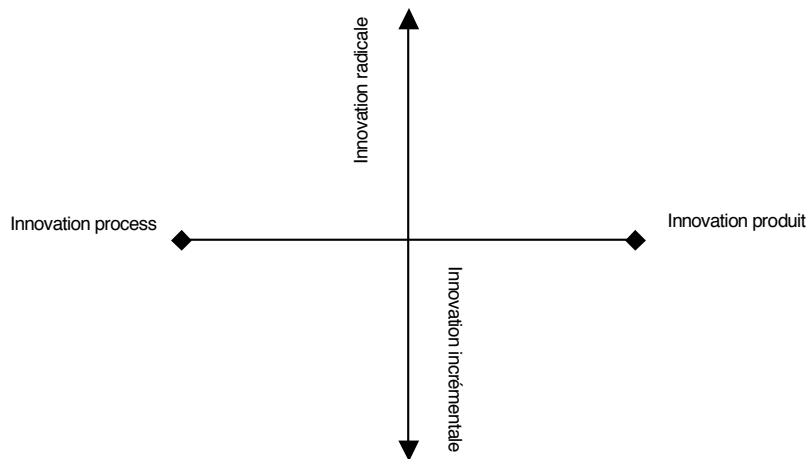


Figure 47 : Représentation des formes d'innovation, selon un axe de tendances.

Ce mode de représentation permet de situer les interventions des acteurs par rapport aux formes d'innovation. Il nous intéresse en effet de préciser le rôle de chacun, architecte d'une part et entreprise de l'autre, en regard de ces formes de classement. (Rappelons que la dénomination « architecte » se réfère à la maîtrise d'œuvre et celle d'« entreprise » à la firme qui fabrique les produits du bâtiment.)

Le rôle de ces deux acteurs est examiné du point de vue de leur apport dans l'espace des concepts (C_a , $C_{e_produit}$ et $C_{e_process}$) et dans l'espace des connaissances (K_a , $K_{e_produit}$ et $K_{e_process}$), espaces principaux du processus conceptuel auquel nous nous référons. Pour caractériser l'apport de chacun des acteurs dans le processus, nous empruntons le mode d'analyse de la théorie C-K (Hatchuel et Weil, 2002), qui symbolise les modes de pondération par Δ et δ .

Examinons la figure 48.

Elle fait apparaître que la conception expérimentale effectuée dans le cadre du projet d'architecture intervient essentiellement dans les innovations produit.

Les innovations incrémentales sur les process appartiennent aux entreprises, dans le cadre de leur politique de développement courante. Cela correspond aux optimisations de fabrication en vue de rechercher des économies. On comprend que l'architecte soit exclu de ces formes d'innovation qui ne font référence qu'aux métiers de l'entreprise.

Pour comprendre les relations qui existent entre les acteurs, prenons deux exemples.

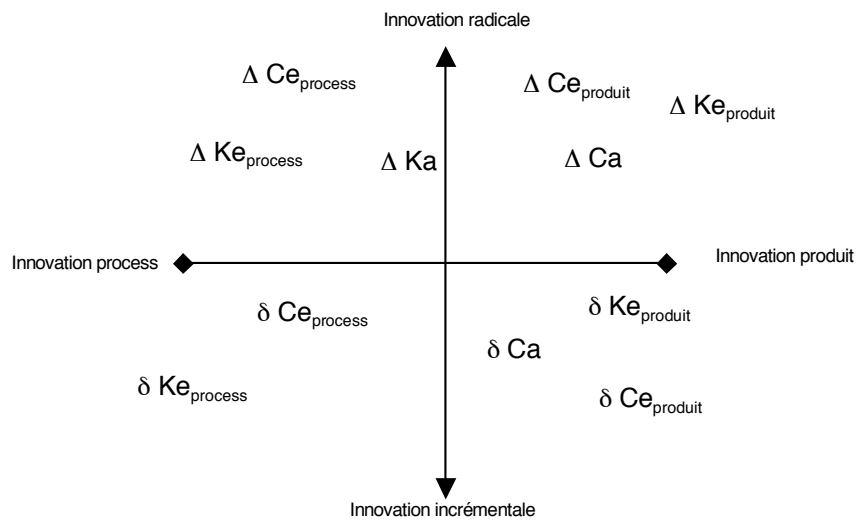


Figure 48 : Représentation des formes d'innovation.

7.4.1. Innovations incrémentales exogènes.

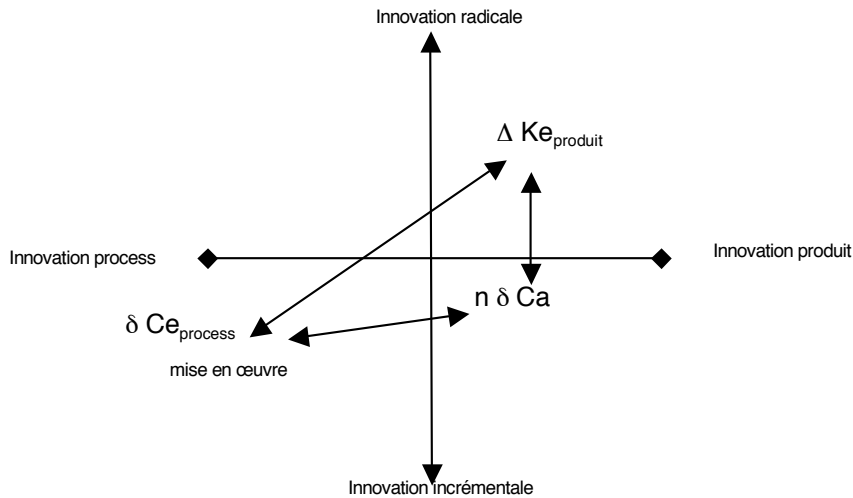


Fig. 49 : Type d'innovations incrémentales exogènes. Cas Lafarge Ductal ©

Le Ductal® chez Lafarge est à l'origine un produit de haute technologie capitalisé sous la forme de **connaissances** dans l'entreprise. Sa diffusion en tant que matériau innovant ne s'est réalisée que par l'association volontaire à des compétences externes à l'entreprise. L'installation de la démarche innovante a consisté à faire conjointement appel à des architectes curieux d'explorer les possibilités du matériau, ainsi qu'à un réseau de partenaires préfabricants, capables de mettre le produit en œuvre.

On constate dans ce cas que l'apport conceptuel de l'architecte se limite à l'étude détaillée d'un projet aux spécifications particulières qui s'apparente presque à une opération d'architecture normale. On constate qu'il y a eu expérimentation puisqu'il y a eu dépôt d'un ATEX. Bien que les concepts architecturaux ne soient pas déterminants dans l'innovation, on peut noter que l'addition d'expérimentations telles que celle réalisée par Combarel et Marrec est une condition entière du processus innovant.

Remarquons que les concepts innovants ne portent pas sur le produit de Lafarge (qui se limite à élaborer une couleur de béton) mais sur le projet d'architecture. L'innovation produit se réalise chez Lafarge grâce à la collaboration avec ses partenaires, dont l'architecte fait partie. On a pu constater que l'expérience de Cibbap citée par Hauvette, effectuée selon un processus de collaboration similaire n'a pas conduit à une innovation produit, peut-être du fait que le concept était une fausse bonne idée.

7.4.2. Innovation produit / process : capitalisation de connaissances.

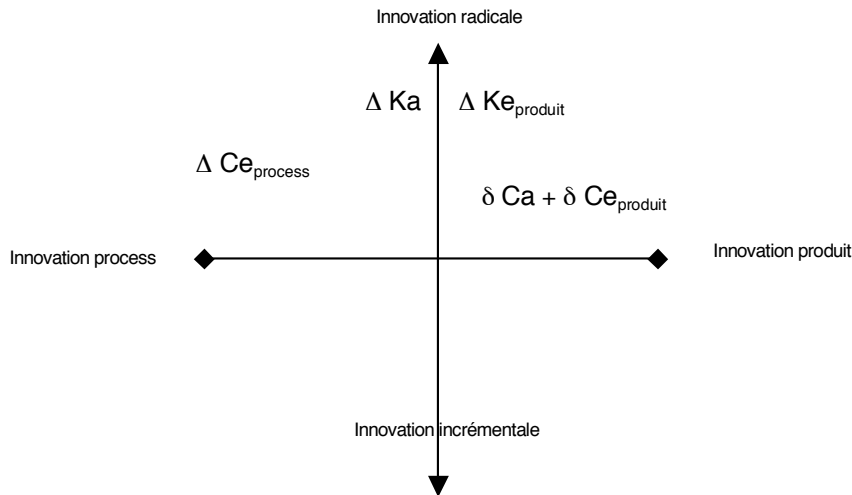


Figure 50 : Type d'innovation radicale pour création d'entreprise : cas Cp Concept.

Dans le cas de la création de l'entreprise de composites CpConcept, l'innovation de départ, sur laquelle l'entreprise se constitue est essentiellement basée sur une capitalisation de **connaissances** issues notamment des recherches de l'architecte qui a eu l'occasion de concevoir des produits avec les matériaux composites. Il est intéressant de remarquer que ces connaissances sont aussi utilisées pour élaborer **le concept de process**, dans leur faculté à démontrer la nécessité de produire à la demande.

Ce cas est assez rare car la culture des architectes n'est pas portée vers la capitalisation des connaissances acquises au fur et à mesure des projets. Les connaissances exploitées concernent aussi celles de la PME qui possède la maîtrise de la technologie composite. Par ailleurs, l'innovation se met en place en investissement important dans le domaine des process industriels sur lesquels se fondera la nouvelle entreprise.

L'investissement conceptuel sur le produit est assez faible dans un premier temps. Il concerne les campagnes d'agrément réglementaires effectuées par l'entreprise et la fabrication d'images destinées à la commercialisation, effectuées par l'architecte.

Ces démonstrations des types d'intervention de l'architecte dans le processus d'innovation montrent l'apport effectif que l'industriel peut obtenir d'une association à des démarches expérimentales d'architectes.

Conclusion

Les questions ouvertes en introduction de cette recherche portaient sur la démarche empruntée par les architectes pour concevoir la matérialisation des projets dans les conditions contemporaines de production. L'objectif de ce questionnaire était dirigé vers un segment de la production assuré par les entreprises manufacturières qui fabriquent les matériaux et les composants entrant dans la mise en œuvre des ouvrages de l'édifice architectural. Le fond de la question portait sur les conditions d'émergence de l'innovation technique et constructive dans ce secteur d'activités, formulant l'hypothèse que les architectes peuvent y participer activement.

En réponse à ces questions, nous avons explicité le processus de conception des architectes et l'avons mis en regard des impératifs des entreprises de production pour établir les liens qui se mettent en place dans les cas d'innovation. Nous avons ainsi mis à jour deux systèmes d'actions, deux types d'organisation qui interviennent en parallèle sur le même objet pour se rencontrer à la faveur d'une conception expérimentale, voire innovante. Pour rendre compte de ces actions de collaboration, nous présentons nos conclusions selon les deux points de vue, celui du projet d'architecture d'une part et celui de l'entreprise industrielle d'autre part.

▪ **Le projet d'architecture et la conception de produits innovants.**

En référence aux recherches effectuées dans le domaine de l'innovation, nous avons acté le fait que l'innovation dans l'entreprise manufacturière s'accomplit avec la conception innovante. Ce type de conception s'appuie sur des modes d'organisation et de fonctionnement qui sont partiellement présents dans le processus de conception d'un projet d'architecture. Nous avons explicité le fonctionnement de ce processus en définissant des espaces d'activités cognitives dont la mise en relation produit les conditions de l'innovation :

- Un projet d'architecture est confronté dès sa genèse à la formulation de **problèmes nouveaux** qui ouvrent la réflexion vers la mobilisation de connaissances diverses. Cet état de fait est produit par le caractère situé du projet d'architecture qui est conçu dans un contexte qui se renouvelle à chaque opération.
- L'**élaboration des concepts**, grâce auxquels un faisceau de questionnements se transforme en idées nouvelles, est une activité qui appartient au cœur des compétences

de l'architecte. Sa démarche intellectuelle est par ailleurs rompue au développement des attributs des concepts par la mobilisation de compétences et de connaissances complémentaires aux siennes.

- Le système d'acteurs d'un projet d'architecture est par définition instable. Il est recomposé à chaque nouveau projet. Cette caractéristique a deux effets positifs pour la conception innovante. Elle évite les comportements intellectuels routiniers dus aux fonctionnements tacites d'un système d'acteurs fermé. Elle ouvre l'**apport des connaissances** vers des domaines différents. De ce fait, ce système d'organisation fait preuve d'une importante capacité d'adaptation.
- La conception architecturale s'appuie sur différents modes de **représentation** pour communiquer les informations du projet en cours d'élaboration. Le recours à la représentation agit comme un opérateur qui fait progresser la conception et fournit par ailleurs un instrument de dialogue entre les acteurs.
- Remarquons pour finir que la culture architecturale n'intègre pas la capitalisation dans ses valeurs majeures. Les artefacts conçus restent toujours à l'état de prototypes, d'objets uniques. Cela produit une propension à renouveler sans cesse les questionnements, faisant fi de certains acquis. Si l'ouverture intellectuelle qui en dépend est favorable à l'innovation, cette posture peut aussi représenter un facteur d'appauvrissement dans la progression de la recherche.

En conclusion de cette explicitation du processus de conception architecturale, nous pouvons affirmer que les principales caractéristiques de la démarche sont utiles à la mise en place de l'innovation technique et constructive. Mais, la démarche conceptuelle n'est pas la seule composante de la réalisation du projet d'architecture. Il est aussi fortement tributaire de son contexte juridique, économique et réglementaire. Nous avons pu relever au cours des témoignages des architectes un certain nombre de réalités qui agissent à l'encontre de la démarche expérimentale. Nous en rappelons les trois principaux.

- Le cadre de dévolution des marchés qui règle les accords entre les acteurs du point de vue juridique et économique est en contradiction avec la mise en place d'un processus de conception concertée entre l'architecte et l'entreprise, pourtant nécessaire à la mise en place de l'innovation. En effet, l'entreprise chargée du chantier de construction intervient officiellement lorsque la totalité des études architecturales ont été réalisées. L'entreprise manufacturière est contractuellement et déontologiquement absente du cahier des charges de l'opération puisqu'elle n'intervient que comme un fournisseur de matériaux et de produits de l'entreprise de chantier sur une prescription de l'architecte théoriquement dégagée de toute implication commerciale. Nous avons pu voir comment les pratiques contournent ce mode de fonctionnement particulièrement pénalisant.

- L'environnement réglementaire se présente comme un faisceau de contraintes de plus en plus dense. Un projet d'architecture dépend de nombreux niveaux de réglementation depuis le droit de l'urbanisme jusqu'aux Eurocodes qui couvrent toutes les étapes du processus de conception. L'intégration de ces nombreux règlements peut conduire à des impasses dans les cas de démarche innovante. La procédure d'ATEX ouvre des possibilités vis-à-vis de ces contraintes. Elle n'est pas toujours réalisable, parce que son coût n'est pas prévu dans le budget.
- Le troisième frein majeur à l'accomplissement d'expérimentations dépend de la constitution du budget des projets d'architecture qui n'intègrent pas les activités et les coûts de recherche nécessaires. Bien souvent, les maîtres d'ouvrage n'intègrent les expérimentations qu'à la faveur de mesures incitatives élaborées par les politiques techniques qui émanent de la puissance publique. La volonté d'innovation est rarement dans leurs habitudes.

Le projet d'architecture est donc potentiellement porteur d'actions favorables à la conception d'innovations mais le contexte dans lequel il s'accomplit impose des fonctionnements inhibiteurs qui ont tendance à le contraindre. Notons que ces aspects du contexte reflètent la situation étudiée dans le cadre de cette recherche, restreinte à la situation française.

▪ **La firme innovante et la conception architecturale.**

La stratégie d'innovation d'une entreprise porte sur plusieurs réalités de son fonctionnement : la conception des produits et des process et la recherche. Nos conclusions sur les modes d'intervention de l'architecte dans les démarches innovantes intéressent ces trois réalités. Avant d'aborder ces trois points, précisons les modes d'action que l'architecte a l'occasion d'assurer dans le cadre de sa pratique, en relation avec l'entreprise.

Dans les situations les plus courantes, il est **utilisateur** du produit. Au-delà de l'acte de prescription (pour ne pas dire de consommation), cette fonction d'utilisateur lui donne la compétence à formaliser un certain nombre d'applications du produit que l'industriel ne sait pas concevoir mais qui font partie intégrante de la conception innovante. L'exemple du Ductal® est symptomatique de cette situation.

La modification du système de production du bâtiment qui se traduit par le déplacement de la création de valeur vers les entreprises manufacturières conduit ensuite l'architecte à transformer cette fonction d'utilisateur en fonction de **concepteur**. Il est ainsi conduit à faire porter sa conception technique sur le produit, selon le même processus qui consiste à dessiner le détail d'exécution pour l'entreprise de chantier. L'exemple du bardage en terre cuite dessiné par l'atelier de Renzo Piano avec Terreal le démontre.

Ces deux fonctions que l'architecte peut assurer dans les processus de conception innovante ont des implications sur le produit dans la détermination de ses attributs de forme, d'aspect mais aussi de caractéristiques techniques. Les implications peuvent aussi se formaliser dans la conception des process, notamment dans la prescription d'opérations de fabrication. Examinons plus en détail ce que la conception architecturale peut apporter à ces deux composantes de la fabrication.

▪ ***Produit et process innovants.***

L'architecte est fondamentalement pourvoyeur d'idées nouvelles, pour les raisons précédemment énoncées. Par ailleurs, il est en veille permanente, à l'affût de solutions nouvelles en provenance d'horizons variés. Ces deux modes opératoires symptomatiques d'une démarche innovante, inhérents à sa pratique de conception, apportent des modes de raisonnement complémentaires à ceux qui sont pratiqués dans les bureaux d'études des industriels.

On peut par ailleurs souligner le fait que l'architecte a aussi la capacité à définir les attributs d'un produit pour qu'il puisse répondre aux critères architecturaux. On pourrait résumer ces critères en définissant un produit dont ni la forme, ni l'aspect ne sont prédéterminés par son mode de fabrication.

En ce sens, si l'industriel cherche à s'adapter aux critères architecturaux, on peut considérer que la conception de l'architecte peut l'aider utilement à la conception du process de fabrication. Le produit qui répond aux critères d'architecture se présente plutôt comme une capacité de production dont l'origine se situe dans la conception architecturale, à l'image du mode de production artisanal dans lequel il n'y a pas de rupture entre le geste du dessin et celui qui transforme la matière. L'exemple de CpConcept en sera une démonstration si l'industriel choisit de construire un outil de production capable de répondre à la demande, tel que l'architecte de Giacinto le définit et tel que la technologie le permet.

Cette façon de penser le process industriel, comme un mode de production ouvert, est à rapprocher de la définition que les chercheurs en économie donnent de l'entreprise innovante, qui doit être capable d'intégrer en permanence la conception innovante dans sa production, en réponse au contexte concurrentiel exacerbé.

La rencontre entre ces deux catégories d'acteurs présents d'une part dans le projet d'architecture et d'autre part dans les industries manufacturières s'effectue dans le temps et l'espace du projet, malgré les incertitudes liées à la situation. Nous avons pu constater que la conception de l'architecte a besoin de ce contexte pour s'accomplir. L'expérimentation sur les produits appartient à la globalité du projet, même si elle possède un mode de

fonctionnement spécifique. En ce sens, on peut souligner que l'architecte est différent du designer industriel.

▪ ***Et la recherche.***

En conclusion de cette étude, nous pourrions imaginer des formes de collaboration plus stables, capables de porter des projets à plus long terme, tels que la recherche l'exige. Les exemples historiques nous ont montré que nous sommes obligés de réinventer en permanence pour nous adapter aux mutations qui bouleversent avec plus ou moins de force les possibilités de nos conditions d'action sur le milieu. Dans l'état de nos connaissances actuelles, ces démarches d'invention se développent dans les organismes de recherche.

On peut constater que la recherche architecturale contemporaine est peu concernée par l'étude des matériaux et de leur mise en forme. Toutefois, les scientifiques de ce domaine nous apprennent que la mise en œuvre des matériaux de demain ne pourra se faire sans la conception préalable de leur utilisation. En effet, l'élaboration des matériaux s'effectue de plus en plus par opérations de synthèse de leurs particules élémentaires et non plus par transformations externes. Cette modification fondamentale de l'action sur le matériau intensifie les opérations de conception en amont de sa fabrication.

Ce domaine de recherche paraît encore éloigné des préoccupations des acteurs du bâtiment dont la logique d'action sur la matière est fortement déterminée par le modèle mécanique issu de l'ère industrielle. Chez les industriels d'une part, la question de l'élaboration des matériaux se place au plus profond de leurs compétences, partie non diffusable de leur savoir. On imagine mal comment ils pourraient se prêter à une conception ouverte sur cette partie secrète de leur métier. Chez les architectes d'autre part, ce type de conception est encore très éloigné, probablement du fait qu'ils n'ont pas véritablement les moyens de s'y investir.

Pour que les propriétés du matériau de construction et son action dans la conception architecturale soit envisagées dans cette voie nouvelle, il faudra une révolution scientifique capable de promouvoir un nouveau paradigme, celui du **matériau de conception**. Ce nouveau paradigme pourra se formaliser si des chercheurs de différentes disciplines se regroupent autour de sujets communs dignes d'intérêt. Parmi ces sujets, nous pensons que la question des ressources et de leur caractère fini est fondamentale.

Avant de poursuivre ce développement, une question de fond se pose aux architectes et aux Ecoles d'architecture qui forment les professionnels de demain. L'observation rapide des centres d'intérêt qui focalisent bon nombre de recherches dans les agences d'architecture et

les écoles se portent plutôt vers l'exploration des capacités des outils informatiques à maîtriser la production des formes et des images. D'importants progrès ont été réalisés ces dernières décennies dans la recherche de réalisme pour simuler les espaces architecturaux dans leur contexte d'insertion. D'autres recherches s'attachent à produire les formes complexes dans l'objectif de maîtriser la totalité du processus de conception – réalisation. On identifie là une compétence centrale de l'architecte. L'expérience de Franck Gehry en est un exemple particulièrement démonstratif. Mais l'enjeu de l'architecture contemporaine s'arrête-t-il à la production de forme ? Si l'intérêt conceptuel dominant des architectes se porte vers la maîtrise de la forme libre, n'y a-t-il pas un risque d'hypertrophie de cette problématique au détriment des autres paramètres ? Les récentes productions de Gehry montrent comment la transposition des formes sculpturales à l'échelle de l'édifice ne peut être produite que dans une économie qui dépense sans imaginer les conséquences de ses actes. Est-ce là le modèle que les recherches parmi les plus approfondies dans le domaine architectural doit transmettre à la génération à venir ? Est-ce dans l'étude de la forme et l'image que nous trouverons réponse aux questions urgentes posées par le développement durable ?

Les recherches en architecture qui traitent de l'utilisation des matériaux et du développement des techniques de l'art de bâtir sont peu nombreuses en France. Le pôle le plus important est rassemblé autour des Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau. Pourtant la question du comment bâtir demain devrait aussi concerner les architectes. Peut-on faire l'impasse sur les problèmes liés à la gestion des ressources dans un secteur d'activités particulièrement consommateur de matières premières et d'énergie ? C'est improbable ou probablement insuffisant. Comment alors croiser cette intelligence qui passionne les architectes avec des objectifs plus ouvertement orientés vers les réalités physiques de demain, qui concernent tout autant les générations qui suivent ? N'est-ce pas en interrogeant la technique et les sciences que nous serons capables de concevoir des constructions plus légères, réalisées avec des matériaux renouvelables ou recyclés, fabriqués avec le minimum d'énergie grise, et de concevoir des bâtiments capables d'autogérer leur énergie de fonctionnement. Des réponses radicalement nouvelles sont à apporter à ces questionnements, situées au-delà des réponses déjà connues. La conception des matériaux et de leur mise en œuvre a un rôle important à jouer dans cette problématique. Les matériaux ne font que commencer à dévoiler leur potentiel. Il nous appartient de conjuguer leurs capacités aux nouvelles formes architecturales qui s'élaborent. Pour y parvenir il faudrait imaginer des rapprochements entre chercheurs intéressés au développement des matériaux émergents et à l'exploration de leurs capacités et chercheurs impliqués dans l'exploration des nouvelles formes de l'art de bâtir.

Bibliographie

- Ache, J.B. (1970) *Eléments d'une histoire de l'art de bâtir*, Editions du Moniteur et des Travaux Publics, Paris
- Alter, N. (ss la direction de) (2002) *Les logiques de l'innovation*, Editions La Découverte, Paris
- Ashby, M.F. & et Jones, D.R.; (1998) *Matériaux. Vol1. Propriétés et applications*, Dunod, Paris
- Asimow H. (1962) *Introduction to design*, PrinceHall, Englewood Cliffs (in Perrin 2001)
- Bachelard, G. (1996) *La formation de l'esprit scientifique*, J.Vrin, Paris. Première édition J.Vrin, 1938.
- Basbous, K. (2005) *Avant l'œuvre. Essai sur l'invention architecturale*, Les éditions de l'Imprimeur, Besançon.
- Bensaude-Vincent, B. (1998) *Eloge du Mixte*, Hachette Littératures, Paris
- Bergson, H. (1998) *La pensée et le mouvant*, Quadrige / PUF, Paris. Première édition, PUF, 1938.
- Bignon, J.C. & Coley, C. (1990) *Jean Prouvé. Entre artisanat et industrie. 1923-1939*, Archives Modernes de l'Architecture de Lorraine. Ecole d'architecture de Nancy
- Bignon, J.C. & Coley, C. (1992) *Jean Prouvé. Entre artisanat et industrie. 1939 - 1949*, Archives Modernes de l'Architecture de Lorraine. Ecole d'architecture de Nancy
- Bignon, J.C. (2002) *Modélisation, simulation et assistance à la conception-construction en architecture*, H.D.R. l'Université Henri Poincaré, Nancy-I
- Boissière, O. (1981) *Gehry, Site, Tigerman. Trois portraits de l'artiste en architecte*. Editions du Moniteur, Paris.
- Boudon, Ph. (1992) *Introduction à l'architecturologie*, Dunod, Paris

- Boudon, Ph. (2004) *Conception*, Editions de la Villette, Paris
- Boudon, Ph. (sous la direction de) (2003) *Langages singuliers et partagés de l'architecture*, L'Harmattan, Paris.
- Boudon, Ph. & Deshayes, Ph. (polycopié non daté) *Expérience de l'architecturologie et architecture de l'expérimentation*. ATEA
- Bouleau, N. (1999) *Qualité et pragmatique des modèles*.
www.enpc.fr/HomePages/bouleau (consulté le 2 juillet 2007)
- Braudel, F.(1967) *Civilisation matérielle et capitalisme. Tome 1*, Librairie Armand Colin, Paris.
- Buchanan, P. (1997) *Renzo Piano Building Workshop Oeuvres complètes. Volume 3*. Phaidon, Paris
- Buchanan, P. (2005) *Renzo Piano Building Workshop Oeuvres complètes. Volume 1*. Phaidon, Paris (première édition française, 1994)
- Button, D. & Pye, B. (1993) *Glass in building, a guide to modern architectural glass performance*, Butterworth architecture, Oxford.
- Cacomo, J.L. (2005) *L'épopée de l'innovation*, L'Harmattan, Paris
- Clayssen, D. (1983) *Jean Prouvé. L'idée constructive*, Dunod, Paris.
- Conan, M. (1990) *Concevoir un projet d'architecture*, L'Harmattan, Paris.
- Couasnet, Y. (2005) *Propriétés et caractéristiques des matériaux de construction*, Editions du Moniteur, Paris.
- Dagognet, F. (1995) *L'invention de notre monde. L'industrie : pourquoi et comment?* Encre Marine, Fougères.
- de l'Orme, Ph. (1988) *Traité d'architecture. Présentation par Jean-Marie Pérouse de Montclos*. réédition. Léonce Laget. Libraire-éditeur, Paris. Première édition : Imprimerie Federic Morel, Paris (1561).
- Dilet, M. (1994) *Entretien avec Franck O. Gehry. "L'architecture immédiate"*, Techniques et Architecture. N° 415. P. 16 à 23.
- Duby, G. (ss la direction de) (1975) *Histoire de la France rurale. Tome 2. L'âge classique des paysans. 1340-1789*, Edition du Seuil. Paris.

- Editions le Moniteur (2000) *Construire avec les bétons*. Editions du Moniteur, Paris
- Gaudin, T. (1985) *Les dieux intérieurs. Philosophie de l'innovation*, Editions Cohérence. Strasbourg.
- Gauzin Müller, D. (1999) *Construire avec le bois*, Editions du Moniteur, Paris
- Gordon, J.E. (1994) *Structures et matériaux*, Pour la SCIENCE. Diffusion Belin. Paris.
- Guidot, R. (ss la direction de) (2006) *Design : techniques, matériaux*. Flammarion. Paris
- Halin, G. (2004) *Modèles et outils pour l'assistance à la conception. Application à la conception architecturale*. HDR. Université Henri Poincaré, Nancy-I
- Hatchuel, A. & Weil, B. (2002) *La théorie C-K : fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception* Colloque sciences de la conception, Lyon 15-16 mars 2002 (in Le Masson & al, 2006)
- Hoyet, J.M. (1998) *Eloge du mouvement. Musée Guggenheim à Bilbao*, Techniques et Architecture. N° 435. P. 19 à 25.
- Hoyet, N. (1981) *Concevoir avec des composants*, Techniques et Architecture et ACC
- Hoyet, N. (1999) *Elaboration d'une démarche qualité pour la programmation et la conception de réalisations innovantes et expérimentales*. Plan Urbanisme Construction Architecture, Paris.
- Knight, Ch. (2000) Article extrait du catalogue de l'exposition *Frank O Gehry The architect's studio*. The Henry Art Gallery (August, 2000) Seattle, Washnigton.
In www.arcspace.com/architects/gehry/features.htm
(consultation entre 10 et 31 janvier 2007)
- Ivy, R. (1998) *Entretien avec Franck O. Gehry*. Architectural Record. Décembre 1998
- Janot, C. & Ilschner B. (2001) *Les matériaux émergents*, Presses Polytechniques et universitaires romandes. Lausanne
- Jeanet, A., Tiger, H., Vinck, D., Tichkiewitch, S. (1996) *La coordination par les objets dans les équipes de conception*, in G. de Tressac, E. Friedberg (eds), *Coopération et conception* pp 87-100. Editions Octoras. Toulouse
- Jungmann, J.P. (1996) *L'image en architecture. De la représentation et de son empreinte utopique*, Les éditions de la Villette, Paris.

- Kubicki, S. (2007) *Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiments*, Thèse en Sciences de l'Architecture de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I
- Kuhn, T.S. (1983) *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, Paris. Traduit par Meyer, L. Première édition : *The structure of scientific revolutions*, The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA. (1962).
- Kuhn, T.S. (1990) *La tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences*. Gallimard, Paris. Traduction : Biezunski, M., Jacob, P., Lyotard-May, A., Voyat, G.
- Première édition : *The essential tension. Selected studies in scientific tradition and change*, The University of Chicago , Chicago, Illinois, USA. (1977).
- Kurz, W., Mercier, J.P. & Zambelli, G. (1999) *Introduction à la science des matériaux. Troisième édition*. Presses Polytechniques et universitaires romandes. Lausanne
- Lapassade, G. (1991-1993) *De l'ethnographie de l'école à la nouvelle recherche-action*. Université Paris VIII www.recherche-action.fr . Rubrique ressources-recherche-action-documents en ligne (consultation : 10 mars 1977)
- Lavalou, A. (Propos recueillis par) (2001) *Jean Prouvé par lui-même*, Editions du Linteau. Paris
- Le Masson, P., Weil, B. & Hatchuel, A. (2006) *Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises*, Lavoisier.Paris
- Lebahar, J.C. (1983) *Le dessin d'architecte. Simulation graphique et réduction d'incertitude*, Editions Parenthèses.Marseille
- Lebahar, J.C. (2007) *La conception en design industriel et en architecture*, Lavoisier.Paris
- Leclerc, D. (1993) *Gehry, un moment de vérité*, Architecture d'aujourd'hui.N°286. P78 à 91
- Lemoine, B. (1998) *Musée Guggenheim*, in L 'acier pour construire. N°58 p.11 à 15
- Leroi-Gourhan, A. (1964) *Le geste et la parole. Vol. 1 : Technique et langage*, Albin Michel, Paris .
- Leroi-Gourhan, A. (1971) *L'homme et la matière*, Albin Michel, Paris. Première édition : 1943.
- Leroi-Gourhan, A. (1973) *Milieu et techniques*, Albin Michel, Paris . Première édition : 1945

- Litaudon, M. (1981) *La bataille de la productivité se gagnera dans les usines : installations de production de composants, critiques et voies d'innovation, une chance, l'informatique.* Plan Construction. Paris
- Manzini, E. (1989) *La matière de l'invention,* Centre Georges Pompidou. Paris.
- Matlin, M.W. (2001) *La cognition. Introduction à la psychologie cognitive,* De Boeck-Université, Paris. Traduction : Brossard, A. Ouvrage original : *Cognition, Fourth Edition,* Harcourt, Inc. 1998.
- Morin, E. (2005) *Introduction à la pensée complexe,* Le Seuil, Paris
- Musée Boymans-van beuningen, Rotterdam (1981) *Jean Prouvé. Constructeur,* Catalogue exposition. Delft University Press. Delft
- Natterer, J., Mölher, K., Hoor, D., Götz, K.H. (1987) *Construire en bois. Choisir Concevoir Réaliser,* Presses Polytechniques et universitaires romandes. Lausanne
- Oakley (1990) *Design management.* Cambridge, Basil Blackwell. (in Perrin, 2001)
- Pahl, G & Beitz, W. (1984) *Engineering design,* Design Council, London (in Perrin, 2001)
- Perrin, J. (2001) *Concevoir l'innovation industrielle,* CNRS Editions. Paris
- Picon, A. (ss la direction de) (1997) *L'art de l'ingénieur,* Centre Georges Pompidou. Le Moniteur
- Popper, K.R. (1985) *Conjectures et réfutations.* Payot, Paris. Traduction : de Launay, M & M. Ouvrage original : *Conjectures and Refutations,* 1972 (première édition, 1963)
- Potié, Ph. (1996) *Philibert de l'Orme. Figures de la pensée constructive.* Editions Parenthèses. Marseille.
- Prost, R. (1992) *Conception architecturale, une investigation méthodologique,* L'Harmattan; Paris
- Prost, R. (sous la direction de) (1994) *Concevoir, inventer, créer. Réflexions sur les pratiques.* L'Harmattan; Paris
- Renier, A. (1987) *L'apport de la sémiotique à la conception architecturale, in "Sémiotique en jeu : autour de l'œuvre de Greimas"* Hades-Benjamin. Paris
- Reyne, M. (1990) *Les matériaux nouveaux,* Hermès; Paris

- Rondelet, J. (1802) *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir.*, chez l'auteur à Paris
- Sargent, T. (2006) *Bienvenue dans le nanomonde*, Dunod; Paris
- Schilling, M. (2006) *Gestion de l'innovation technologique*, Maxima-Laurent Dumesnil. Paris
- Simon, H. (1991) *Science des systèmes, sciences de l'artificiel*, DUNOD, Paris. Traduction : Lemoigne, J.L. Ouvrage original : *The sciences of the artificial* MIT Press, Cambridge, Etats Unis. 1969 (in Perrin, 1991)
- Simondon, G. (2005a) *De l'existence des objets techniques* Aubier; Paris. Première édition 1958
- Simondon, G. (2005b) *L'invention dans les techniques. Cours et conférences*. Editions du Seuil, Paris.
- Sulzer, P. (1999) *Jean Prouvé Œuvres complètes. Volume 1. 1917 - 1933*. Birkhäuser. Bâle (Suisse)
- Sulzer, P. (2000) *Jean Prouvé Œuvres complètes. Volume 2. 1934 - 1944*. Birkhäuser. Bâle (Suisse)
- Sulzer, P. (2005) *Jean Prouvé Œuvres complètes. Volume 3. 1944 - 1954*. Birkhäuser. Bâle (Suisse)
- Techniques et architecture (1981) *Siège administratif de Toyota à Glen Burnie, USA. Franck O. Gehry et associés*, Techniques et Architecture. N° 337. P. 81 à 83
- Trillat, J.J. (1956) *Découverte de la matière*, Albin Michel, Paris;
- Vidaillet, B. (Coordonné par) (2003) *Le sens de l'action. Karl E. Weick : sociopsychologie de l'organisation*. Vuivert. Institut Vital Roux. Paris
- Von Bertalanffy, L. (1973) *Théorie générale des systèmes*, DUNOD, Paris . Traduction Chabrol JB. Ouvrage original : *General System Theory* George Braziller, Inc. NY, 1968
- www.arcspace.com/architects/gehry/features.htm Références sur les travaux et la démarche de Franck O. Gehry Associates (consultation entre 10 et 31 janvier 2007)
- www.gehrytechnologies.com/ (2006) Site de la société d'informatique qui vend les services informatiques inventés par Franck O. Gehry Associates à l'occasion des projets. (consultation entre 15 et 25 janvier 2007)

Liste des figures

Figure 1 : Représentation schématique des éléments de la recherche : questions/champs de connaissances/corpus/résultats attendus.	Page 12
Figure 2 : Transformations de la matière : des matières premières à l'édifice.	Page 25
Figure 3. Le processus de conception architecturale (Conan ,1990).	Page 38
Figure 4. Composantes du processus de concrétisation d'une solution architecturale (Prost, 1992).	Page 39
Figure 5. Extrait du métamodèle de coopération dans sa forme originale. (CRAI).	Page 40
Figure 6. Les phases de conception selon Pahl et Beitz. (Pahl et Beitz, 1984).	Page 42
Figure 7. Activités de conception de la matérialisation : processus interactif entre les éléments cognitifs. Hypothèse.	Page 46
Figure 8. Transposition du modèle de conception réglée» aux étapes de conception d'une mission d'architecture.	Page 50
Figure 9 : Détail des actions des étapes de conception.	Page 54
Figure 10. Formulation de l'idée de matérialité contemporaine à la prise en compte du problème posé par le programme par raisonnement intuitif.	Page 59
Figure 11 : La matérialité apparaît comme une résultante d'un processus de conception préalable.	Page 64
Figure 13. Processus de conception comme recherche de solution aux problèmes posés par l'opération d'architecture.	Page 75
Figure 14 : Enrichissement des attributs du concept de matérialité par référence aux espaces de connaissances des domaines physiques, et non physiques.	Page 81
Figure 15. Mode conceptuel d'introduction de la matérialité. Circuit court.	Page 87
Figure 16. Mode conceptuel d'introduction de la matérialité. Processus long.	Page 88
Figure 17. Etats successifs de l'élément de matérialité dans le cycle de vie de production d'un édifice.	Page 92
Figure 18. Processus de conception-fabrication de l'architecture : circuit du matériau.	Page 95
Figure 19. Processus de conception-fabrication de l'architecture : intervention de l'expérimentation sur le matériau.	Page 95
Figure 20 : conception du projet constructif.	Page 102
Figure 21. d'après R. Prost (Prost, 1992).	Page 103
Figure 22. : Ordre substantif dominant.	Page 103
Figure 23. Ordre procédural dominant.	Page 104
Figure 24 : réduction de l'écart entre l'idée de matérialisation et l'artefact de l'offre industrielle.	Page 108
Figure 25 : Les espaces d'activités cognitives de la conception architecturale de la matérialisation : « Cap Crea ».	Page 127

Figure 26. matérialité, matérialisation et expérimentation en rapport aux activités cognitives du processus de conception.	Page 129
Figure 27. Emergence de la situation expérimentale.	Page 131
Figure 28. La constitution de l'édifice est réalisée par l'assemblage d'éléments de matérialité spécifiés par leur forme et leur matière.	Page 133
Figure 29. Correspondances entre le point de vue de l'architecte et celui du fabricant : l'un est le reflet de l'autre.	Page 134
Figure 30. Le concept de matérialité du point de vue des attributs de la matière imaginés dans le champ perceptif. (caractéristiques d'aspect).	Page 136
Figure 31. Modélisation des relations entre les acteurs de la conception d'une expérimentation sur les matériaux et leur mise en œuvre (d'après le métamodèle du CRAI).	Page 170
Figure 32 choix de la solution expérimentale après évaluation : circuit décisionnel (cas Combarel)	Page 182
Figure 33. Représentation modélisée du processus de conception de l'expérimentation.	Page 191
Figure 34 Les trois domaines de connaissances avec lesquels sont formulés les problèmes posés par l'expérimentation.	Page 193
Figure 35. La modélisation de la conception de l'invention de « Philibert ».	Page 197
Figure 36 : Modélisation de la démarche de conception chez Jean Prouvé : le cas du mur rideau.	Page 203
Figure 37 : Modélisation du processus de conception innovante chez Franck Gehry.	Page 209
Figure 38 : Les phases du processus de conception d'après (Roozenburg, Eekels,1995)	Page 221
Figure 39: Conception de produit effectuée par l'architecte (expérimentation).	Page 222
Figure 40 : Superposition de l'expérimentation architecturale au processus de conception d'un produit innovant.	Page 223
Figure 40. : Entités de base du processus d'innovation croisé avec l'expérimentation architecturale.	Page 226
Figure 42: Les trois pôles de développement de l'innovation Ductal®.	Page 229
Figure 43 : Modèle Combarel-Marrec/ Lafarge.	Page 231
Figure 44 : Modèle Giacinto / Cpconcept	Page 235
Figure 45 : Tableau résumant le déroulement des opérations pour la création de l'enveloppe en terre cuite Piano/Guiraud.	Page 238
Figure 46 : Modélisation du cas Piano/Guiraud-Terreal.	Page 240
Figure 47 : Les formes d'innovation selon un axe de tendances	Page 243
Figure 48 :Formes d'innovation et positionnement des activités de conception	Page 244
Figure 49 : Types d'innovation incrémentales exogènes. Cas Lafarge/Ductal	Page 245
Figure 50 : Types d'innovation radicale pour création d'entreprise. Cas CpConcept	Page 245

Liste des photographies

Photo. N°1 : Maquette virtuelle de la Fondation Onassis à Athènes. Architecture Studio.	Page 67
Photo N°2 : Laboratoires à Oullins (69) ; Jacques Ferrier [document fourni par l'architecte].	Page 67
Photos N° 3 et 4 : Halle aux farines (Paris) en rénovation. Architecte : Denis Honegger. Architectes de la restauration : Agence Nicolas Michelin Associés. [documents fournis par l'architecte].	Page 69
Photo. N°5 : Musée du cristal St Louis. Lipsky-Rollet, architectes. Document fourni par l'architecte.	Page 70
Photo N°6 : Bureaux pour la RATP à Thiais (banlieue parisienne). Emmanuel Combarel et Dominique Marrec, architectes. [photo N. Hoyet].	Page 71
Photo N°7 : Bureaux pour la RATP à Thiais (banlieue parisienne). Détail de l'enveloppe en pied de mur : continuité entre sol et façade. Emmanuel Combarel et Dominique Marrec, architectes. [photo N. Hoyet].	Page 72
Photos 8 et 9 : Bâtiments de l'usine de traitement des eaux de Bègles (33) et détail du bardage en matériau composite, simulant une étendue d'eau. Jean de Giacinto, architecte [documents fournis par l'architecte].	Page 79
Photo N°10 : Groupe Site : Notch Showroom de la chaîne de magasin Best, à Sacramento en Californie (1977) Source de l'image : L'architecture du XXe siècle - Taschen (1991).	Page 83
Photo N°11 : projet de banc, à la manière de Sol LeWitt. Luc Boulais, architecte.	Page 84
Photo N°12 : Sol LeWitt . Œuvre intitulée « 1,2,3 » (1978) .	Page 84
Photo N°13 : Projet de la tour bioclimatique « Hypergreen ». Jacques Ferrier, architecte. [document fourni par l'architecte].	Page 85
Photo N°14 : Logement à Nantes : détail de la fenêtre coulissante dégagée du montant sur l'angle. ANMA, architectes (document fourni par l'architecte).	Page 113
Photo N°15 : Détail de l'accrochage de panneaux en Ductal E. Combarel et D. Marrec, architectes. (document fourni par l'architecte).	Page 114
Photo N°16 : Coulage du Ductal dans les ateliers du pré-fabricant Betsinor (document fourni par Lafarge).	Page 115
Photo N°17. A gauche, la façade en panneaux composites qui reproduit l'image de la rangée de peupliers. Ecole d'architecture et du paysage de Bordeaux. Jean de Giacinto, architecte. (document fourni par l'architecte).	Page 117

Photo N°17 et 18 Crèche Jean Jaurès : des cabanes suspendues aux façades. P.J.A.A., architectes. Luc Boulais, (Document fourni par l'architecte).	Page 118
Photo N° 19 : Réalisation du moule d'une des « cabanes » de la crèche Jean Jaurès. Luc Boulais, (document fourni par l'architecte).	Page 119
Photo N° 20 : Moquette à fleurs du Parlement Européen. Architecture Studio. Photo Rothan	Page 121
Photo. N°21 : Vue de l'église N.D. de l'Arche de l'Alliance, Paris 15 ^{ème} . Architecture Studio. Photo Gaston	Page 122
Photo N°22. Vue partielle de la Cité Internationale. Source : <i>Renzo Piano Building workshop, Œuvres complètes</i> , Buchanan (1997). Phaidon, Londres.	Page 123
Photo N°23 : Agence Renzo Piano Building Workshop. : un mur de l'atelier de Vesima (Buchanan, 2005).	Page 179
Photo N° 24 et 25. Planches extraites du traité de Philibert de l'Orme. A gauche, principe d'assemblage des planches courbes. A droite, exemple d'une charpente. (De l'Orme, 1988).	Page 196
Photo N° 26 : Maison du peuple à Clichy. 1935-1939 . Etat en 1998 pendant la restauration. Fabrication du mur rideau par les Ateliers Jean Prouvé. Architecte : Marcel Lods. (in Sulzer, 2000).	Page 201
Photo N°27 : Immeuble d'habitation square Mozart à Paris. Façade fabriquée par les Ateliers Jean Prouvé (1953,1954). (in Sulzer, 2005).	Page 202
Photo N°28. Hotel Marquès de Riscal. à Elciego (Espagne) Gehry Partners, architectes (2006). Photographie : Thomas Mayer. Source : arcspace.com/architects/gehry/features.html .	Page 206
Photos N°29 à 35 : documents extraits de : Les 7 étapes de Catia in arcspace.com/gehry_new/index.html .	Pages 207 et 208

Annexes

Première partie : entretiens avec les professionnels

1. Présentation des entretiens.....p. 3
2. Christian Hauvette : la vérité constructive.....p. 9
3. Jacques Ferrier : la forme issue de la matérialité.....p. 19
4. Nicolas Michelin : le rôle des matériaux.....p. 31
5. Martin Robain. Architecture studio : l'innovation constructive,
partie intégrante du processus de conception.....p. 45
6. Paul Vincent de Renzo Piano Building Workshop :
la conception architecturale par l'expérimentation.....p. 57
7. Pascal Rollet : l'architecture expérimentée à échelle grandeur.....p. 69
8. Emmanuel Combarel : l'exemple d'une enveloppe en béton Ductal®.....p. 85
9. Luc Boulais : concevoir avec les composites.....p. 97
10. Jean De Giacinto : une gamme de vêtements en matériaux composites.....p. 111
11. Mouloud Behloul : Lafarge (le Ductal ® nouveau béton).....p. 119
12. Patrick Plécy : Cp concept (Peaux composites).....p. 129
13. Philippe Malé : Terreal (Guiraud). (industrie de la terre cuite).....p. 137

Deuxième partie : études de casp. 145

14. Le cas de la charpente à bois courts inventé par Philibert de l'Orme.....p. 147
15. Le cas de l'invention du mur rideau par Jean Prouvé.....p. 155
16. Le cas de l'innovation dans la gestion de projet chez Franck O. Gehryp. 167

Première partie : entretiens avec les professionnels

Présentation des entretiens

La recherche destinée à préciser notre hypothèse s'est effectuée dans un premier temps par une série d'enquêtes auprès de professionnels. Il s'agissait de vérifier dans quels cas la conception du matériau ou du composant appartient à la conception architecturale, et d'explorer selon quelles modalités particulières cette conception s'opère.

Entretiens semi-directifs

Les entretiens auprès des architectes ont été réalisés à partir d'une grille d'enquêtes préalablement établie, commune pour tous.

Après une présentation succincte du contexte de recherche, il a été demandé aux architectes d'évoquer la façon dont **ils abordent la matérialité** dans leur démarche conceptuelle. Le questionnement introductif interrogeait volontairement sur la matérialité et non sur les matériaux, préférant introduire le propos par un concept plutôt que par une réalité physique. La conception architecturale est un acte mental, de projection qui s'exprime avec des concepts et non avec des briques ou du béton. Le propos devant se situer impérativement dans le domaine conceptuel, nous avons préféré fonder l'entretien sur **les termes du dialogue avec l'univers matériel, plutôt que sur ses caractéristiques.**

Le deuxième temps des entretiens s'est adapté aux récits des architectes, essayant de préciser les questions vers les modes d'intervention sur les matériaux.

Certains architectes parmi ceux qui ont été interviewés sont connus pour leurs recherches sur la conception de matériaux. Avec eux, nous avons détaillé le processus pour expliciter les démarches expérimentales en essayant de préciser les points suivants :

- critères qui président à la conception des matériaux
- interlocuteurs avec lesquels s'effectue cette conception particulière
- modes de représentation utilisés dans la démarche
- types d'expérimentation effectués pour valider la conception, y compris du point de vue de la conception architecturale.

Les entretiens ont essentiellement été effectués auprès d'architectes. Toutefois, pour comprendre mieux le jeu des acteurs dans ce processus complexe, nous avons interrogé

des représentants de l'industrie des matériaux pour détailler trois cas qui nous sont apparus comme étant représentatifs de types d'innovation industrielle.

Les entretiens ont duré en moyenne 60 à 90 mn. Ils ont été enregistrés et intégralement retranscrits. Les textes qui suivent ont été expurgés des redondances et des expressions orales trop prononcées. Ils ont tous été relus et corrigés par leurs auteurs. Les exemples graphiques et photographiques qui accompagnent les entretiens ont été constitués a posteriori et se présentent comme des illustrations des propos.

Les personnes interrogées.

Neuf architectes ont été interrogés. Nous avons privilégié dans notre choix des architectes connus pour leurs travaux sur les matériaux ou leurs méthodes de conception orientées vers le projet constructif. Nous avons aussi volontairement choisi des témoignages émanant de structures d'agences variées.

Parmi les neuf entretiens, nous avons dégagé trois types de discours par rapport à l'expérimentation. Les premiers ne pratiquent que de légères expérimentations, les seconds intègrent l'expérimentation avec les entreprises dans leur démarche de conception, les troisièmes témoignent plus particulièrement de l'expérimentation avec un matériau précis. La présentation qui suit regroupe les entretiens selon ces discours dominants.

1. Comment le projet d'architecture intègre les données constructives et quels rôles jouent les matériaux dans la démarche globale.

- Christian Hauvette : la vérité constructive
- Jacques Ferrier : la forme issue de la matérialité
- Nicolas Michelin : le rôle des matériaux

Ces architectes témoignent d'une démarche conceptuelle qui valorise une relation au matériau basée sur le **choix, motivé par des critères qui sont indépendants du matériau**, comme la fonctionnalité programmatique ou l'esthétique de l'ensemble.

L'intervention active sur le matériau s'opère à la marge. La conception se place dans l'assemblage, la juxtaposition, la superposition.

Le dialogue avec le matériau prend différentes formes.

Par exemple, chez Hauvette qui parle de vérité constructive, on s'aperçoit que le travail sur le matériau correspond à un détournement de sens ou à une saturation du sens. Il joue sur l'ambiguïté entre le vrai-faux matériau ou le faux-vrai, comme lorsqu'il transforme une palplanche en tôle pliée en élément à la fois structurel et transparent. (système Cibap).

Chez Jacques Ferrier, le matériau est acteur dans la création de la forme. Le dialogue est inversé par rapport à Christian Hauvette. L'idée fondatrice du projet est toujours programmatique et répond à l'usage, mais elle est presque immédiatement épaulée par la capacité attendue de la matière. La forme vient ensuite. Le dessin de la tour bioclimatique « Hypergreen » s'est opéré de cette façon. La mantille climatique a été étudiée dans sa fonction environnementale et structurelle. La forme en est issue alors qu'il s'était essayé à travailler sur une tour « cloche », autre forme de réponse environnementale, mais aux présupposés formels trop déterminants pour sa démarche conceptuelle personnelle.

Nicolas Michelin fait précéder le choix des matériaux de la conception de la structure et des ambiances de l'architecture en projet.

Chez ces architectes, la connaissance du matériau est centrale. L'intervention sur le matériau est mineure.

2. Comment la conception architecturale prend appui sur l'expérimentation sur les matériaux.

- Martin Robain. Architecture studio : l'innovation constructive, partie intégrante du processus de conception.
- Paul Vincent de Renzo Piano Building Workshop : la conception architecturale par l'expérimentation
- Pascal Rollet : l'architecture expérimentée à échelle grandeur

La démarche d'**Architecture Studio** s'établit sur les idées fondatrices du projet, qui peuvent être des idées de matière ou d'image de matière, la recherche de vérité leur important peu. Lorsque la matière formalisée dans le concept n'existe pas, ils partent à la recherche du matériau capable de mettre leur idée en forme. Ils travaillent ainsi assez souvent avec les industriels pour opérer un transfert de matériau, en ajoutant des fonctions nouvelles à la production existante, bien souvent esthétiques ou sémantiques en superposant un langage ou un code aux attributs du matériau. Les exemples des parois sérigraphiées de l'église Notre Dame de l'arche de l'alliance ou de la moquette du parlement européen sont révélateurs de la démarche. Ces architectes effectuent aussi des prototypes de détail

constructif ou de mise en œuvre, comme le poteau aux fonctions complexes du parlement européen.

Dans cette démarche, ils se rapprochent de ce que réalise **Renzo Piano** dont la culture de projet est très fortement marquée par le travail direct sur la matière. La maquette et le prototype annoncent dans le travail de conception la façon dont l'œuvre est édifiée.

La matière est tout aussi bien travaillée avec l'industriel, comme les exemples du bardage en terre cuite de la Cité Internationale à Lyon ou la brique de verre de l'immeuble d'Hermès à Tokyo, qu'avec l'entreprise lors de la mise au point d'un assemblage. L'expérimentation appartient au projet qui prend forme avec la facture originale du détail.

Chez **Pascal Rollet**, l'expérimentation peut être centrale, lorsque le projet l'y autorise.

Il distingue deux formes de projets : ceux qui procèdent d'une conception à partir d'un matériau ; et ceux qui conduisent à rechercher le matériau qui répond à l'idée d'architecture. C'est dans le premier cas que l'expérimentation peut être complète. Elle vise à explorer les capacités d'assemblage de la matière dans une technologie donnée, comme l'ouvrage en bois du musée du cristal saint Louis par exemple.

Son champ d'action est délibérément dans une économie très contrôlée. Il situe son intervention dans l'assemblage et la mise en espace et non pas dans la création de nouvelles matières. Son partenaire est plutôt l'entreprise de chantier que le fabricant.

3. Comment le projet d'architecture est associé aux savoir-faire des fabricants. Formes de partenariats.

- Emmanuel Combarel : l'exemple d'une enveloppe en béton ductal
- Luc Boulais : concevoir avec les composites
- Jean De Giacinto : une gamme de vêtements en matériaux composites

La démarche de conception de D. Marrec et E. Combarel peut, dans certains cas, être très liée aux matériaux du projet, comme pour le terminal de bus à Thiais, image d'un sol qui se soulève. L'enveloppe du bâtiment est en continuité du sol du parking. Le bâtiment a été conçu à partir de l'enveloppe, constituée de panneaux en Ductal® préfabriqués dont le parement est antidérapant. Il est tramé sur un rythme de pastilles de 2cm de diamètre. Ici, le projet a été mis au point avec Lafarge car le Ductal® est utilisé pour la première fois en enveloppe étanche. Dans cette agence, la recherche sur les matériaux provient aussi du transfert de techniques, comme l'application en façade d'une peinture dorée et irisée utilisée

pour le tuning des voitures. Cette demande très précise sur le matériau les oblige à travailler autant avec le fabricant qu'avec celui qui va mettre en œuvre.

Les démarches de Luc Boulais et de Jean De Giacinto témoignent de conception avec des façonniers de composites. Ils décrivent leurs travaux de création de composants à la demande, en pièce unique pour l'un, comme les cabanes en façade ou la passerelle translucide de Luc Boulais, en recherche de série pour l'autre comme la gamme de peaux composites conçue par Jean de Giacinto. La mise au point s'effectue avec le fabricant.

4. L'innovation du point de vue des fabricants.

Trois cas d'expérimentation ont été détaillés du point de vue des industriels.

- Mouloud Behloul : Lafarge (le Ductal ® nouveau béton)
- Patrick Plécy : Cp concept (Peaux composites)
- Philippe Malé : Terreal (Guiraud). (industrie de la terre cuite), entretien complété par l'interview d'Olivier Dupont , représentant du Centre Technique des Tuiles et Briques

Mouloud Behloul, interrogé sur les conditions les plus favorables à l'émergence de l'innovation constructive, a souligné l'importance du rôle de l'architecte. Il est, selon lui, l'acteur qui innove. Cette fonction est consubstantielle à sa démarche. Toutefois l'enchaînement des opérations et la succession des opérateurs a souvent un objectif contraire, c'est-à-dire conservateur qui consiste à rester dans des techniques connues. Le devoir de l'architecte est de tenir le cap de l'innovation.

Patrick Plécy décrit son expérience de création d'entreprise à partir des travaux expérimentaux effectués par Jean de Giacinto sur les peaux composites. Il développe le point de vue économique de l'entrepreneur vis-à-vis des possibilités offertes par les techniques de fabrication.

Philippe Malé , responsable de la recherche-développement dans l'entreprise Guiraud puis dans le groupe Terreal décrit le cas de la conception d'un produit innovant en terre cuite réalisé avec l'agence Piano et de son développement industriel. Il pose la question des différentes formes d'innovation possibles avec les architectes.

Olivier Dupont , du Centre Technique des Tuiles et Briques décrit le rôle des centres techniques dans les expérimentations sur les produits, à partir du cas de la terre cuite.

Annexe N°2

Christian Hauvette : la vérité constructive

Entretien avec Christian Hauvette.

vendredi 3 février 2006

10h15 à 11h30.

Comment envisagez-vous l'intervention du matériau dans le projet d'architecture, de l'esquisse au DCE ? Comment le matériau est-il porteur de création, ou de concept ?

Comment la matérialité fabrique-t-elle le projet ? A quel stade cela intervient-il ?

Sans vous accabler sous des considérations théoriques, je me demande s'il n'y a pas deux manières de considérer la conception architecturale. Une, qui n'est pas la mienne, qui consiste à travailler sur l'espace. Dans cette option, n'importe quel matériau convient pour délimiter l'espace, comme le Placostil®⁽¹⁾ avec de la peinture. L'autre option consiste à travailler sur les limites de l'espace ; c'est mon point de vue. Je ne prononce jamais le mot d'espace dans mon enseignement. J'essaie d'intéresser les étudiants à ce qui peut être nommé, c'est-à-dire à ce qui limite l'espace : je peux désigner des murs, des sols, des tables, des plafonds, des poutres... la matière est là. C'est très différent. Il y n'a pas longtemps, j'ai visité un bâtiment de Richard Scoffier ; il est très intéressant... ou de Jean Nouvel... ils sont entièrement faits en Placostil. Cela m'amuse mais ne m'intéresse pas. Je trouve que c'est de la scénographie, du décor. Autrement dit, s'il n'y a pas de matériaux, c'est du décor ; mais s'il y a du matériau, c'est du vrai, c'est du solide : donc c'est de l'architecture.

Même Nouvel ?

Oui ; on peut dire que toute l'architecture de Nouvel c'est de la scénographie ; c'est du capotage, du vissage, de la carrosserie ; y compris dans les meilleurs bâtiments. À quelques exceptions près, comme à la Fondation Cartier ; c'est en des rares bâtiments où la construction en acier peut se lire.

Pour moi, la définition de l'architecture est d'être durable et non pas démontable. De ce point de vue, on a besoin de matériaux qui soient durables et non pas cassables. Il faut s'intéresser à un matériau dans la mesure où il entre comme constituant de l'architecture ; comme constituant des signes qui fabriquent l'architecture, en tant qu'éléments, qu'entités.

¹ Système de cloisonnement par plaques de plâtre vissées sur une ossature métallique

Jetable plutôt que démontable ?

Jetable ; cassable. En effet démontable est mal choisi parce que l'assemblage de la mécanique convient à l'architecture. Ce point de vue rejoint évidemment la question de la vérité, notion plus difficile à expliquer. Et même si c'est un mot un peu délaissé, il s'agit bien de la vérité constructive. On peut dire que l'histoire de l'architecture passe son temps à osciller entre le décor et celui de la vérité des matières. Le décor de l'architecture baroque, non pas celle de Borromini, mais celle des églises de Bavière par exemple, entièrement en stuc, ou de l'Opéra Garnier qui sonne le creux.

Ne peut-on pas supposer une correspondance entre la psychologie humaine et la façon dont elle apprécie d'une manière alternée ces questions. De temps en temps, il faut être au spectacle et de temps en temps, il faut être dans le vrai. De temps en temps il faut être dans des églises baroques en Bavière, bien que cela m'intéresse beaucoup moins, (et de plus j'ai horreur du théâtre !), et de temps en temps il faut être dans une abbaye cistercienne, dans un temple grec, une cathédrale gothique ou dans une enfilade d'Hausmann. La psychologie humaine oscille probablement d'un côté à l'autre. Je pense toutefois, que le bon côté, éternel de l'architecture, est celui qui s'intéresse à la vérité et qui fonde la psychologie humaine dans l'éternel, dans le vrai. L'architecture, c'est ça.

Mais la question se complique car le matériau n'est jamais vrai ; il est à la fois vrai et faux.

Ce sont tous des artefacts ; de toute façon, ils sont tous fabriqués.

Ils sont tous fabriqués et ils sont tous sensés signifier autre chose que ce qu'ils sont. Le temple grec représentait des colonnes en bois ou des chapiteaux en feuilles. Les architectes n'ont cessé de donner des qualités au moins doubles aux matériaux, même à l'intérieur de la vérité constructive ; c'est peut-être là que le mouvement moderne s'est trompé ou a trop simplifié en affirmant qu'il n'y avait qu'une seule vérité dans la mise en œuvre.

Après ces considérations générales, serait-il possible, au travers d'exemples puisés dans tes réalisations, que vous évoquiez la façon dont cette maturation du projet s'opère dans la confrontation avec le dessin du composant, de la matière, du détail et à quel niveau cela se situe dans le projet.

Dans notre agence, on pourrait dire, dès le début.

C'est-à-dire, dès l'esquisse ?

Oui. Nous réfléchissons aux matériaux avec lesquels nous allons construire.

Qu'est-ce qui est défini en premier : une séquence structurelle ; une peau, une poignée de porte ?

Non, ce qui me vient très vite à l'esprit est la question de l'ouvrier sur le chantier. Supposons que nous travaillions sur des logements. Allons-nous le faire avec des banches, du béton coulé en place, mal réalisé ? C'est vraiment la pire hypothèse ; c'est l'empire du camouflage. Ou allons-nous essayer de le faire avec des éléments préfabriqués ?

On est déjà en béton...

Nous nous interrogeons aussi sur la question des revêtements. Aujourd'hui il est préférable de faire des isolations par l'extérieur. C'est une question assez grave pour des architectes comme moi ; parce que je ne sais pas faire ; ce sont des vêtements.

Nous réfléchissons très en amont sur cette question. Notre agence ne fabrique pas des images brillantes qui sont développées ensuite par on ne sait qui. Par exemple dans le cas des logements, il faut très vite convaincre le maître d'ouvrage qu'il y a une partie d'isolation par l'extérieur, avec tel matériau, tel dispositif de mise en œuvre. Je pense que c'est l'obsession d'une génération ; celle à laquelle j'appartiens. Cela nous joue pas mal de tours en ce moment. Nous sommes concurrencés par les fabricants du 100% image, du 140% image. Nos projets sont toujours trop dessinés, trop détaillés.

Cette façon de faire est nourrie par une expérience ; c'est pourquoi je me demande s'il est possible d'enseigner la question des matériaux. Plus j'y réfléchis, plus je pense que c'est très difficile. Est-ce que, dans des endroits comme les Grands Ateliers, il est possible de faire comprendre aux étudiants le rapport aux matériaux, alors qu'il ne s'éprouve que par l'intermédiaire du chantier, des ouvriers, des entreprises ? Je me demande s'il peut être enseigné car il ne s'enseigne que dans un rapport au réel, dans la fabrication in situ qui fait comprendre ce qu'on peut faire et ne pas faire.

Mais n'est-ce pas vrai pour tout l'enseignement de l'architecture. La conception architecturale est toujours mise à l'épreuve du faire. On pourrait dire alors que la conception architecturale ne peut pas s'enseigner ?

Si, car tout ce qui passe par des représentations peut être enseigné ; on peut dire qu'il y a une unité de pensée entre ce qui se fait à l'agence et ce qui se fait dans les ateliers de l'École ; mais ce qu'on apprend sur le chantier est d'un autre ordre.

C'est quelque chose qui m'intéresse en tant que professeur ; mais je ne sais pas le faire ; j'ai fait toutes sortes d'expériences. Par exemple, il n'y a pas très longtemps, j'ai fait faire un exercice à mes étudiants, qui consistait à réaliser une maquette au 1/10° en même matériau que le projet : en béton, en acier, en bois... mais pas en carton. Cela n'a pas marché.

Mais ai-je répondu à vos questions ?

Nous n'avons pas tout à fait fini. Toujours à propos de la question de la conception avec le matériau. Vous m'avez dit que votre première pensée allait vers l'ouvrier, l'entreprise, la faisabilité. Après cela, vous dessinez le détail, les relations entre les matériaux, puis vous choisissez des matériaux. Avec qui sont-ils formulés ? Est-ce que vous avez déjà eu l'occasion de formuler un béton ?

Oui.

Est-ce que vous avez déjà eu l'occasion de préciser une nuance d'acier ?

Inoxydable...

L'essence d'un bois. Mais vous ne construisez peut-être pas beaucoup en bois ?

Non pas tellement ; mais quand même. En Guyane, on spécifie les essences. On va les choisir dans la forêt presque.

Des types de vitrage de façade ?

Oui, évidemment.

Comment s'opère ces choix qui se passent dans les rapports que les matériaux entretiennent avec le projet ; avec qui se font-ils ?

Chacun doit travailler comme il le pense là-dessus. Je partage avec beaucoup d'architectes de toutes sortes, l'idée qu'on doit formuler des matières et des matériaux.

Comment le faites-vous ?

Avec beaucoup d'arrogance, nous le faisons nous-mêmes, en prenant conseil.

Mais j'ai aussi des amis qui préfèrent travailler avec de bons ingénieurs. Cela peut arriver, mais il faut les trouver. Nous, nous savons le faire. Nous savons choisir l'essence d'un bois, la qualité d'un vitrage. Nous faisons venir tous les échantillons, ici. Stéphanie ne s'occupe que de cela.

Et là, qui est votre interlocuteur ?

Entre le fournisseur et l'entrepreneur

Avez-vous eu l'occasion pour des bâtiments importants, comme pour l'immeuble de la Caisse des Dépôts, de concevoir par exemple le composant d'enveloppe. Est-ce que l'ouvrage a reçu un avis technique ? Est-ce que vous en avez testé les performances ?

Les maîtres d'ouvrage ont horreur des avis techniques, mais cela peut se faire. Ce sont les maîtres d'ouvrage qui nous limitent..... parce que ce que nous prévoyons n'est pas dans les DTU... et les assurances !...l'architecte criminel !

C'est donc pour donner une garantie.

Oui ; nous le faisons de A à Z; c'est ce qui m'amuse. C'est pour cela qu'on est une agence qui construit bien parce que nous savons tout faire, assez bien.. Si cela devient très compliqué, évidemment il faut se faire aider.

Pourrait-on voir un cas en détail ? Pourriez-vous raconter comment cela c'est fait

Les gens de l'agence tournent. La mémoire des opérations dure environ 5 ans. Après, ils montent leur agence eux-mêmes. J'ai des enfants partout.

Comment pourrait-on faire pour illustrer cette pratique de l'agence au travers d'un cas précis, avec le cheminement ; les acteurs qui ont travaillé avec vous.

C'est toujours assez simple. Il n'y a rien de métaphysique. A la Caisse des Dépôts par exemple, il y a un panneau en bois, en chêne massif. Nous dessinons le panneau en chêne. On sait que la menuiserie en chêne est chère mais que finalement avec la montée du coût des bois exotiques, cela devient possible. On sait aussi que le placage est différent du

massif, parce que c'est déroulé et que cela fait des veines mal dessinées, contraire à la logique du bois.

A quoi sert de ce grand panneau de bois ?

Ce sont des panneaux répétitifs de façade intérieure. C'est peut-être un peu moins banal qu'à l'extérieur. Nous réfléchissons à mettre en scène différemment les parties massives et plaquées, parce qu'on ne peut pas éviter le plaqué ou le déroulé pour tout ce qui est plan. Il suffit qu'il y ait des montants, jusqu'à une certaine section. Pour cela, on fait venir des chênes par camion entier, choisis au préalable. A l'entreprise, ils me montrent les échantillons. Il y a de très bons chênes ; ce sont ceux qui viennent de la forêt de Tronçais, mais ceux-là sont très chers. Ce sont les chênes de tonnellerie. On trouve de très bons chênes qui viennent d'Europe de l'Est. On les choisit parce qu'on sait que les petits chênes maigrelets qu'on coupe maintenant n'ont pas les mêmes qualités, ni les mêmes caractéristiques de couleur. Telle partie est en placage ; on dessine une alaise ; comment se raccorde l'alaise qui est sur la pointe, et pour bien faire comprendre que c'est une alaise et que le placage est du placage. En matière de bois, cela évite la confusion et l'erreur sur la vérité des matériaux.

Avec le dessin des joints ?

Oui. On dessine un joint dans les décalages de niveau ou d'épaisseur ; c'est tout simple. La question que je me pose concerne l'utilisation des faux matériaux. Il y a des moments où on peut faire exprès de n'utiliser que ces matériaux. Tout cela est extrêmement compliqué sur le plan de la composition ; il y a les vrais faux matériaux qui sont parfois plus intéressants que le faux vrai. Ce sont des questions qu'on se pose inlassablement.

Pour moi, c'est tout un point de vue sur l'architecture en tant que jeu de langage et non pas art plastique. Jeu de langage, entre guillemets, en tant que métaphore. J'écris ; je compose de la musique ; j'écris un film. Ce sont des dispositifs sectionnés qui doivent être réfléchis en tant que tels et qui après cela sont enchaînés les uns aux autres. Ensuite, il y a des épaisseurs qui sont des sens associés. J'essaie de m'opposer, pour des raisons purement pédagogiques, à l'idée que l'architecture serait une sorte d'art plastique ou au pire même, d'art de représentation, de flou. Je me demande souvent si cette opposition ne représente pas un problème de génération. J'enseigne avec François Chochon qui est un architecte très plasticien ; il est d'accord avec moi là-dessus. Pour lui, la matière n'est pas qu'un dispositif de simulacre dans lequel la forme fait tout.

A l'occasion de la conception d'un de ces éléments que vous citez, n'êtes-vous pas tenté d'en tester les qualités architecturales avant de le mettre en œuvre ?

Oui nous le faisons ; nous faisons accrocher des prototypes, notamment pour les façades ; je spécifie toujours dans mes CCTP qu'il y faudra réaliser des prototypes, sur lesquels nous réfléchissons longuement. Nous spécifions souvent deux ou trois étapes pour avoir le temps de les ajuster. C'est sur le chantier. Pour les façades, on peut faire des prototypes. On commence à aller les voir en usine ; on les fait accrocher. Cela n'est possible que pour les gros chantiers comme celui de la Caisse des Dépôts.

Pour quel type d'ouvrage demande-t-on plutôt un prototype

On demande un prototype pour tout ce qui est répétitif, finalement. Pour ce qui est spatial on a des maquettes. Nous travaillons beaucoup avec des maquettes, petites et grandes, qui sont jetées à la fin de l'opération.

On est certainement une agence assez forte sur la question de la répétition. De ce fait, je ne crains pas tellement la répétition, sachant en principe à quel moment elle devient monotonie. Il y a une limite assez délicate. Jusqu'où est-il possible de répéter un élément, avant que cela ne quitte le champ de l'architecture. Quels sont les critères qui font que la répétition n'est pas qu'une accumulation. C'est une question passionnante.

Comment cela s'apprécie-t-il? Est-ce que le prototype renseigne sur ce fait ?

Il renseigne sur la nature du composant lui-même. L'assemblage des composants s'effectue avec un certain nombre de lois de composition grâce auxquelles ils ne sont pas simplement empilés. On ne fait pas que du hard rock ; on fait de la musique.

Est-ce que l'accrochage du prototype sur le chantier à l'endroit de la future façade peut renseigner sur la nature de la répétition ?

Oui, mais c'est souvent c'est un peu tard. Il y a plusieurs manières d'utiliser les dispositifs répétitifs tout en maintenant l'expression de la composition d'ensemble. Nous disposons d'outils. Cela s'inscrit dans des paradigmes dans lesquels il y a des ruptures et des oppositions avec d'autres éléments qui peuvent aussi être parasités ou perturbés. C'est un ensemble avec sa logique. Il y a des lignes qui sont combinées ensemble.

Toute expérimentation est bonne. Mais, en architecture, lorsque la construction est commencée, on est confrontés au problème des délais. Quand le chantier démarre, il est

souvent trop tard. Les corrections ne sont plus possibles. C'est pourquoi, toute manipulation qui permet à l'avance d'éviter les erreurs est bonne. Nous avons des maquettes, des simulations, des images 3D, l'expérience, les prototypes sur chantier... Malgré tout cela, il arrive qu'on se dise « malheur, il aurait fallu modifier cela et c'est trop tard ! ».

Ces regrets sont de quelle nature ? des hauteurs ; des dimensions ?

Oui, c'est parfois trop long ou trop simple. Les caractéristiques internes des espaces, ou lumineuses, ne sont pas bonnes. Et quand cela se produit sur une opération, on ne voit plus que les erreurs !

Tout s'oublie. C'est ça le problème. Je visitais hier soir l'exposition qui a été réalisée sur les travaux de Charlotte Perriand au Centre Pompidou. Elle avait conçu des composants industrialisés parfaits. Ils étaient expérimentés, testés et mis en place. Pourquoi cela a-t-il été oublié ?

L'industrie du Bâtiment était-elle prête ?

Ce n'est pas la question ; ce qu'elle a fait a été industrialisé mais cela a été oublié, du fait de la question de la répétition, très embarrassante. Jusqu'à quel moment on peut réutiliser ? Ce qui est extrêmement frappant, c'est qu'il y a 40 ans, on savait faire des salles de bains industrialisées. On a tout oublié. On recommence timidement à en faire un peu dans l'hôtellerie. Mais pendant toute cette période, nous avons été confrontés à un artisanat incompetent, incapable de poser correctement des carreaux qui faisait des acrobaties à plat ventre pour raccorder la plomberie. C'est aberrant et inexplicable. Pourquoi entre 1960 et 2006, on a absolument tout oublié de l'industrialisation des composants d'équipement du Bâtiment. C'est invraisemblable, alors que par ailleurs dans la technologie domestique, tout a progressé.

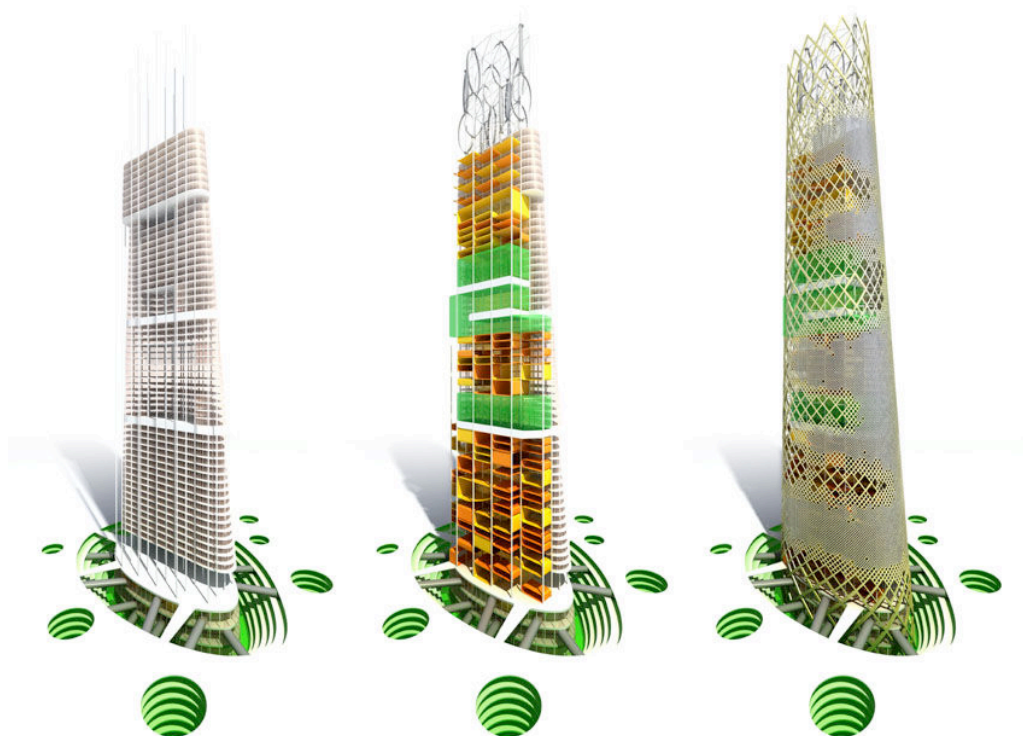
Pourquoi le pavillon individuel qui peut s'assimiler à un standard, multiplié par milliers à l'identique, a complètement résisté à l'industrialisation ? Il est encore réalisé avec des techniques soi-disant traditionnelles. Pourquoi les parpaings posés à la main s'imposent-ils mieux que des constructions telles que celles qu'a réalisées Jacques Ferrier avec Phénix, par exemple. Où sont les blocages ?

Il n'y a pas très longtemps, nous avons réalisé un bâtiment pour Usinor dans lequel il fallait utiliser un système de palplanches de 15/10° d'épaisseur. Pierre Engels était chargé de développer ce système constructif pour Usinor, le procédé CIBAP. Il a eu l'idée de faire réaliser 4 ou 5 opérations par de bons architectes, très différents. Au lieu d'utiliser le

système pour reconstituer des parois sur lesquelles on visse des plaques de plâtre ou du faux bardage pour gagner du temps, nous l'avons mis en évidence. Je me suis aperçu que grâce aux perforations des éléments, on pouvait voir au travers. Je lui ai donc proposé que pour la première fois dans l'histoire de l'architecture, on fasse des murs porteurs et transparents à la fois. Mais ce bâtiment qui se présentait comme un prototype n'a pas intéressé PAB qui ne comprenait pas comment ils allaient pouvoir vendre des constructions à murs porteurs, transparents. Odile Deck a fait un bâtiment avec des murs courbes qui n'a pas intéressé l'industriel non plus. La conclusion de l'expérience a abouti à l'abandon de ce produit par l'industriel qui n'en a pas vu les débouchés. Ils pensaient remplacer le parpaing mais personne ne s'en sert comme tel. Cette expérience questionne sur le rapport entre l'architecte de création et l'industrie. Les architectes ne se positionnent-ils pas comme de faux développeurs, une espèce de faux « service nouveau produit ». Cela m'intéresserait de faire une recherche sur le rôle de l'architecte dans cette situation.

Annexe N°3

Jacques Ferrier : la forme issue de la matérialité



Projet de la tour « Hypergeen ». Jacques Ferrier, architecte. Document transmis par l'architecte.

Entretien avec Jacques Ferrier

le 24 mars 2006.

de 17h30-18h30

De votre point de vue, comment la matérialité intervient-elle dans le projet et à quel moment ?

A l'agence, la matérialité intervient relativement tôt. Le départ du projet se fait sous mon impulsion par des échanges, en partageant des thèmes. Ces thèmes, que nous discutons avec l'équipe et avec les directeurs de projet, ne sont jamais des thèmes formels. L'idée de départ ne procède jamais d'une forme qui pourrait répondre au site, au paysage, à la ville. Je n'y arrive pas. C'est toujours une réflexion qui part des éléments du programme. Par exemple, nous venons de gagner récemment le concours du Palais de Justice de Rouen, en Normandie. Quand on s'interroge sur la nature d'un palais de justice aujourd'hui, on s'aperçoit que ce ne sont pas que des grandes salles d'audience, mais qu'il requiert, comme toutes les institutions, un accroissement du nombre de bureaux, de bureaux standards. La question posée consiste donc bien à résoudre l'adéquation entre les salles d'audience et l'immeuble de bureaux. Devra-t-il être perçu comme un bâtiment public ou comme un véritable outil de travail ? Et presque simultanément à ces questions sur le programme et sur la signification des espaces, nous réfléchissons à la construction, aux matériaux, à la technique au sens large.

La réponse aux questions de programme se formalise en termes de fonctionnement, de circulation, de flux, mais aussi de capacité d'enveloppe, de portée de structure. Par exemple, pour le palais de justice, il faut de grandes portées pour les salles. Sera-t-il possible d'y superposer des bureaux ? De ce fait, la question de la matérialité et de la construction du projet se pose très rapidement pour pré-évaluer la faisabilité de nos hypothèses fonctionnelles. A partir de cette étape, s'amorcent les grandes directions formelles que je fais réagir avec mes intentions, avec ce que j'aime en architecture, avec le site, ce qui questionne à nouveau la technique et le programme. Mais je pense que c'est le lien entre le programme, c'est-à-dire le fonctionnement, les usages, les circulations dans le bâtiment, et la technique et matérialité du projet qui opère les fondements de l'idée de départ.

Cela peut être une structure ; cela peut être une enveloppe ; est-ce qu'il y a une hiérarchie ?

Cela dépend ; c'est assez lié. Par exemple, le projet qui m'occupe beaucoup en ce moment est un projet de gratte-ciel. Il s'agit du projet de la tour « hyper-green », une recherche sur un prototype de tour. Nous avons travaillé dès le départ avec un ingénieur structure. J'avais une idée assez précise qui consistait à démontrer qu'une tour peut être une bonne réponse à la ville durable. J'en étais convaincu, fort des recherches que nous avons faites auparavant. Plutôt que de concevoir la tour comme une grande sculpture, il me semblait intéressant d'y chercher une réponse à l'accroissement des villes, en proposant des logements, des bureaux, sans consommer trop d'énergie fossile. A partir de ce concept de départ, avec l'ingénieur Jean Marc Weill, nous avons réfléchi à ce que cela signifiait du point de vue architectural. La première idée qui s'imposait à moi, très forte, consistait à envisager une tour orientée, imaginant tout simplement la façade sud différente de la façade nord : la façade sud se ferme, se protège du soleil, et la façade nord peut s'ouvrir largement.

Le projet est envisagé pour quelle région ?

Le premier terrain d'expérimentation pour cette idée a été Shanghai. Actuellement nous examinons comment à partir de ce concept, il est possible d'envisager un projet réel, sous d'autres cieux et dans d'autres sites. Mais les chinois ont été les plus prompts à réagir.

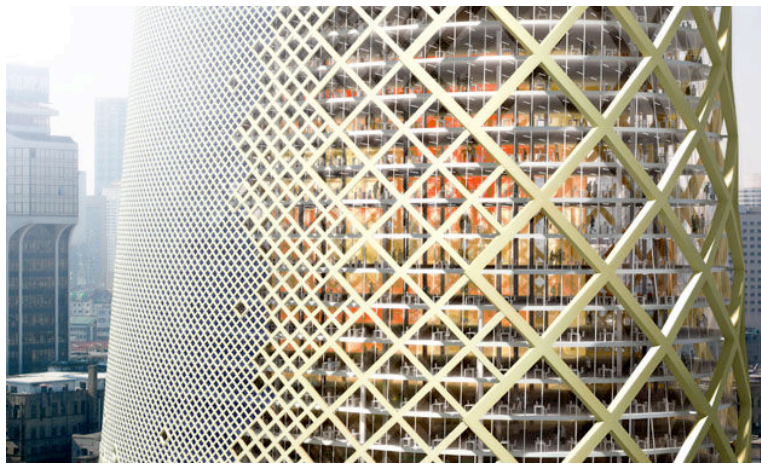
Pour répondre à votre question, l'idée de départ était clairement une idée d'enveloppe. Pourquoi toutes les tours doivent-elles avoir quatre faces identiques ? Pourquoi ne pas imaginer une tour qui tienne compte de la course du soleil, du vent. Nous avons donc imaginé une résille climatique aux perforations variables et presque immédiatement, nous avons pensé qu'il n'était pas possible qu'une résille de cette taille, de cette échelle, ne soit qu'un habillage. Pour éviter que le coût porte uniquement sur le rôle climatique, nous avons cherché à ce que la résille puisse aussi jouer un rôle structurel. Et la belle idée s'est synthétisée sur ce concept. Cette mantille climatique qui enveloppe la tour est conçue et dimensionnée pour servir de contreventement horizontal du bâtiment, pour répondre aux contraintes sismiques et au vent. Par cette conception, la structure intérieure est considérablement soulagée et peut être envisagée en préfabrication car elle n'a plus à supporter les efforts horizontaux. La résille extérieure devient à la fois climatique et à la fois structurelle.

Par ailleurs, ce projet a été réalisé avec des sponsors. En effet, je souhaite que l'agence fonctionne maintenant comme un laboratoire de recherche. La recherche sur la tour a été initiée avec EDF pour se poursuivre avec Lafarge. La résille a été imaginée en Ductal® , le béton ultra performant de Lafarge. Ce matériau réagit très bien aux efforts horizontaux et peut se mouler avec des formes fines et légères. Dans cet exemple, la première intuition technique part de l'enveloppe et la structure vient ensuite. La forme de la tour s'est précisée à partir de ces considérations.

La tour est actuellement sans commanditaire ? expérimentale ?

(il montre un film)

Ce film montre la tour dans une ville imaginaire. La forme devient la mise en scène de l'idée qu'on veut exprimer. Au Nord, la maille structurelle est constituée de grands losanges qui se resserrent dans la zone de bureaux, au nord-est. Au Sud ; la résille se resserre encore et se densifie. Il y a des panneaux photovoltaïques. Des jardins suspendus servent à filtrer l'air qui entre dans la tour. C'est une double peau. Et cela se termine par des éoliennes en toiture.



Détail du projet de la tour « Hypergeon ». Jacques Ferrier, architecte. Document transmis par l'architecte.

La résille serait en Ductal®. Elle est de section rectangulaire. Elle représente 10% de la structure, ce qui permet d'avoir 90% de la structure intérieure, très simple et préfabriquable. Dans ce cas précis, l'idée de départ était l'orientation de l'enveloppe qui s'est déclinée sur l'usage et la structure. Cette approche, par la matérialité et les échanges avec des ingénieurs comme Jean Marc Weil, nous a permis de produire une esthétique, une image de tour qui se différencie des autres. La forme n'est pas venue par la recherche formelle. J'avais fait une recherche sur la cloche. Mais cette voie n'était pas possible, sous peine de plagier les américains ou les tours récentes de Nouvel et de Foster. Il me semblait difficile de parvenir à un résultat intéressant. Et finalement, en ne réfléchissant qu'à la matière, à la structure, aux données climatiques, au contreventement, nous avons produit une image de tour qui a été plébiscitée au salon international de l'immobilier (MIPI à Cannes) où nous venons de la présenter. Toutes les villes de la planète y montrent leurs tours, leurs gratteciel. Ce succès vient probablement du fait qu'il s'agit d'une nouvelle façon de poser la question de la tour, par la matérialité ; en l'occurrence une matérialité à dominante environnementale, avant de s'interroger sur sa forme. C'est vraiment une façon de faire.

Avez-vous fait le bilan énergétique de la tour ?

C'est Tribu qui fait cela ; le simple fait de l'orientation de la tour et de la résille permet d'économiser 30% d'énergie. C'est considérable. Et ensuite, quand on ajoute des panneaux photovoltaïques et des éoliennes au sommet, ce sont 50 à 60% d'économies d'énergie qui peuvent être réalisées pour l'éclairage et le chauffage. Mais il faut trouver l'équilibre. Si l'investissement est trop important, cela n'intéresse personne. Il faut que le coût du bâtiment ne dépasse pas de plus de 5% le coût d'un bâtiment normal, sinon personne ne sera intéressé.

Cette tour est l'exemple d'un projet global, prototype. Mais le projet est aussi composé d'éléments qui peuvent être prototypiques à leur tour. Considérez-vous que le dessin des éléments, des composants, ou même la formulation de la matière, appartient aussi au travail de l'agence ?

Nous aimons mettre en œuvre des réponses constructives inédites et en même temps, nous ne voulons pas que cela devienne du maniérisme technologique qui s'impose avec trop d'ostentation. Nous essayons que la matière apparaisse avec une certaine franchise, et une économie d'effets. Comme vous l'avez remarqué, la résille de cette tour n'est pas constituée de tubes. Elle est carrée. Nous préférons superposer les couches pour atteindre l'objectif technique. Mais, si on regarde chaque assemblage, isolément, on reconnaît notre production.

(il cherche le diaporama de l'agence).

Pour les garages de Bordeaux, il y a une structure qui s'auto-contrevente avec des piliers inclinés. L'enveloppe est une peau sans fioritures et la couverture est en cuivre. Les assemblages entre les éléments sont réduits au minimum. La trame de la structure est exprimée. C'est une composition assez directe, bien représentative de notre production. Généralement dans l'élaboration du projet, nous allons toujours vers la simplification. Nous ne compliquons pas. J'aime bien jeter. S'il y a une décision à prendre, avec des hésitations, je vais toujours me diriger vers la solution la plus directe qui consiste à enlever plutôt que compliquer.

On voit une mise en œuvre de composants du commerce.

Oui ; nous avons beaucoup fait cela.

Travaillez-vous parfois sur des éléments plus spécifiques, comme lorsque vous introduisez les piles photovoltaïques par exemple ?

Le premier projet que nous avons fait avec des piles photovoltaïques était aussi très radical. Les panneaux photovoltaïques étaient mis en œuvre en brise-soleil au Sud, avec une

enveloppe en bardage simple et un pignon en bois. Pour le musée Tabarly que nous réalisons en ce moment, voici le prototype des brise-soleil. (il montre un élément de façade posé dans son bureau).

Vous faites donc des prototypes.

Je fais des détournements. Dans ce cas, il s'agit d'un panneau standard, dont je change le fond qui sera transparent, alors qu'il est normalement blanc. C'est du faux standard. Avec le fond transparent ; on doit perdre 4 ou 5 % de rendement, mais par contre cela me permet de le poser en brise-soleil avec un filtrage de la lumière. C'est une réflexion très caractéristique de l'agence. Nous fabriquons du « faux disponible » grâce à une petite amélioration, un petit changement qui adapte le produit à ce que nous recherchions pour le projet.

Avez-vous déposé des Atex ? Les modifications que vous faites vous y obligent-elles ?

Bien que notre agence ait plutôt un profil technique, on pourra être surpris de constater qu'on n'a jamais déposé aucun Atex ; alors que parmi mes amis architectes qu'on n'associe pas du tout à la technique, certains font des Atex tout le temps. C'est curieux. Non je crois qu'on n'a jamais fait d'Atex. Si un jour on doit construire la tour, la construction se fera peut-être avec une quantité d'Atex. Mais cela sera un peu spécial.

Si on se situe dans les évolutions récentes des matériaux qui offrent un registre de plus en plus large, avec presque la possibilité de fabriquer à la demande, est-ce qu'il vous est arrivé de formuler, soit un béton, soit... ?

Oui, un béton. Lorsque nous avons fait l'usine en béton bleu avec François Gruzon, mon associé de l'époque, il a fallu un an de développement pour y parvenir. Je voulais des petits éclats de lumière dans le béton. Nous pensions pouvoir les créer avec du verre. L'industriel nous avait demandé où il était possible de trouver du verre bleu. Il était allé acheter toutes les bouteilles bleues d'eau minérale du Bon Marché et les avait pilées avant de les incorporer au béton. Ils avaient réalisé des échantillons pour les tester dans les étuves du CSTB. Un morceau de verre sur 50 se déchaussait. Cela condamnait la formule. On a vu alors le spécialiste de la formulation des bétons, Jean Pierre Aury, un homme génial. Il a nous tout de suite dit que chez les Romains, on utilisait de la pâte de verre. Le verre réagit avec le ciment, mais pas la pâte de verre. Il a trouvé un fabricant de pâte de verre bleue et la

formulation définitive du béton a été mise au point de cette façon. Cela a été vraiment très long pour obtenir ce béton bleu.

Est-ce que l'étude d'un prototype de composant, tel que ceux qu'on voit dans l'agence, même si ce ne sont que des variations d'éléments standard, fait partie intégrante de votre travail ?

Cela m'intéresse de voir comment c'est fabriqué. Le volet, par exemple. C'est un système standard, adapté pour un collège. La seule différence est dans le cadre. Le fabricant proposait des sections de 5cmx5cm. Je lui ai demandé s'il n'était pas possible de le réaliser avec un centimètre de moins. C'est donc juste un peu plus fin que le standard. Et c'est devenu un standard. Ils produisaient tous leurs panneaux avec les mêmes profils. On leur a fait remarquer que lorsque les panneaux sont de taille raisonnable, les profils peuvent être moins épais. Ils s'étaient un peu endormis. C'est juste un petit détail de cet ordre.

Et pour tester les nouvelles caractéristiques, comme la transparence du panneau par exemple, comment faites-vous ?

Tout d'abord, il faut le faire accepter par le client. Mais nous n'avons pas besoin que cela soit très transparent parce que c'est comme un store. De plus, tout le monde souhaitait la plus grande opacité, tout particulièrement le scénographe qui voulait un espace intérieur tout noir pour projeter des films et des vidéos. Donc, à la limite, personne ne nous a demandé que ce soit transparent. Mais comme on est face à la mer, il nous semblait important qu'on puisse la voir ; surtout pour le musée Tabarly. Nous avons fait comme un grand store vénitien ; et la partie bleutée des piles va se comporter comme un vitrail. Je le sais par l'expérience du bâtiment de « Total énergie » où nous en avons posé sur une verrière. Cela fait une très belle lumière bleutée. Je pense que cela sera très beau.

C'est clair ; notre agence est très intéressée au rapport à l'usage, dans le rôle qu'y joue l'architecture. Par exemple, pour les bureaux de la RATP à Paris, nous avons décidé que tous les bureaux auraient un balcon. Le rapport à l'usage et le rapport à la technique sont vraiment les deux moteurs de notre démarche. Ce sont des éléments de conception qui peuvent se modifier au début d'un projet ; des données un peu rationnelles, même si cela est sous-tendu par une esthétique propre à l'agence. On nous dit souvent que nos réalisations sont bien reconnaissables. Mais en amorce du projet, le prétexte, ou l'histoire qu'on se raconte, n'est pas une histoire de forme, de style . Ce sont des implications qui ont un effet sur la matérialité du projet et sur la façon dont il va fonctionner.

Quand vous pensez à la technique, à la construction, est-ce que c'est en termes de détail, de mise en œuvre, de portée ?

Non, il s'agit vraiment de la matérialité ; l'importance de la matérialité du projet tout en cherchant à ce que l'architecture soit présente sans être envahissante. Je trouve que cet enjeu est une vraie capacité de la matière. Pour qu'un espace soit présent, on peut penser le faire triangulaire, pointu, ou je ne sais quoi. Cela peut très vite être envahissant ou empêcher l'adaptabilité à d'autres fonctions. Mais si, spatialement, il est tout simple, que sa présence s'affirme par sa matérialité, donc par la façon dont il est construit, c'est aussi efficace. L'espace commence à avoir une image, une identité, sans jamais être redondant. Par exemple, très concrètement, nous ne posons jamais de faux-plafonds. Pour les bureaux de l'INRIA à Sophia Antipolis, le point de vue consistait à ne placer aucun poteau dans les bureaux. Les poteaux sont donc à l'extérieur des pièces. De ce fait la dalle se prolonge à l'extérieur avec les poteaux et nous créons un vocabulaire un peu méditerranéen, un vocabulaire de creux.

Je place le mur en arrière, en aluminium. On récupère la pierre de la pente, parce qu'on est placé dans la pente d'un talus et les murs pignons font que c'est un bâtiment en béton avec la pierre du site. A l'intérieur, on a construit sans poutres, ce qui fait qu'il est possible d'avoir des surfaces lisses sans faux-plafonds dans les loggias et dans les circulations.



Bureaux de l'INRIA. Sophia Antipolis. Jacques Ferrier, architecte. Document transmis par l'architecte

La hauteur sous plafond est plus grande donc l'air chaud est stocké en hauteur et les pièces sont plus fraîches. Pour les chercheurs, c'est plus sincère. C'est ce que j'aime bien. Ce ne

sont pas de grandes démonstrations d'espace. Ce n'est jamais qu'un couloir élargi, des pièces rectangulaires etc...

Le fait qu'on ait pris la décision de ne pas mettre de garde-corps en barreaudage mais des garde-corps en acier galvanisé. Curieusement, c'est beaucoup plus lumineux, parce que cela réfléchit la lumière. Le fait qu'on n'ait pas mis de faux-plafond et le fait que le couloir fasse 4m50 au lieu d'1m50 de large. Tout cela est réalisé dans l'idée de ne pas faire des choses extraordinaires, mais des choses qui dépendent beaucoup de la façon dont l'architecture est construite. L'exemple du faux-plafond est presque minuscule et en même temps fondamental. Quand on voit les belles écoles Jules Ferry, comme celle où sont mes enfants ; dès qu'il y a un faux-plafond, tout est détruit. Pourtant, il ne s'agit que d'assurer un plenum de 60cm dans un beau volume. Finalement, ce n'est plus un beau volume. C'est donc assez important.

Et le bâtiment avec la terre cuite ; comment est venu ce matériau ?

La terre cuite est venue de façon, je dirais, urbaine.



Laboratoires à Oullins. Jacques Ferrier, architecte. Document transmis par l'architecte

On est à Oullins, en banlieue sud de Lyon. Quand on a visité le site, il n'y avait que des grands bâtiments à sheds en briques. Et lors de nos premiers questionnements, c'est à nouveau la problématique de l'enveloppe qui s'est imposée, pas pour des raisons climatiques cette fois-ci, mais en référence à la mémoire des lieux. A ce moment-là, tous ces bâtiments étaient en cours de démolition dans le but de réaliser un nouveau quartier. La première opération était ce laboratoire. Il y avait des lieux de travail en briques. Je me suis

dit, un peu au premier degré, pourquoi ne pas garder cette qualité de la brique ? Lors du concours, il y avait un patio avec une façade bois qui a disparu lorsqu'il a fallu chercher des économies. Cela procède de ma propension à jeter. Finalement toutes les façades sont en briques. Elle est massive sur les laboratoires et ajourée sur le bâtiment de bureaux en tête. Ce parti de matériau unique est aussi caractéristique de notre démarche. Nous recherchons toujours l'économie de matières et de matériaux (il navigue dans le diaporama)...ce bâtiment est en plastique, il est entièrement en plastique. Bordeaux est en Réglit®, c'est tout en Réglit® ; celui-là est en tôle blanche, c'est tout en tôle blanche.

Et comment sont choisis ces matériaux ? les fabricants ?

Je ne me souviens plus. Pour le bardeau, c'était un fabricant qui faisait cela ; c'était Guiraud.

Il y a quelqu'un qui est spécialisé dans la recherche des matériaux à l'agence ?

Non. Chaque fois on repart de zéro. Pour la brique... A cette époque, nous faisons trois projets en briques, simultanément. Nous avons toutes sortes d'échantillons de briques. Il y avait un collègue dans la Somme. Là-bas, tout est en briques, même les transformateurs, et il me semble que c'était une clause du cahier des charges. On faisait un bâtiment universitaire à Lille, où on a choisi la brique et le zinc. A Lille aussi, nous avons été « pris » par la brique. Et enfin il y avait Lyon avec les bâtiments industriels en briques. Nous nous sommes retrouvés par le hasard des concours à étudier trois bâtiments en briques en l'espace de un ou deux ans. Nous avons vu toutes sortes de briques dont je ne me souviens plus des noms. Je suis allé voir comment on fabrique la brique ; y compris en Belgique. Nous avons vu la brique moulée à la louche. Ce sont les mêmes gestes qu'à la main, sur une bande en caoutchouc. C'est de la brique moulée, mais automatiquement. J'aime bien visiter les usines. Maintenant j'ai un peu moins de temps. Dans le dernier projet que nous avons réalisé pour Air France, il y a des pièces moulées en béton. J'ai visité l'usine de moulage de béton. C'est important de mieux comprendre. J'ai visité le laboratoire de Ductal® . J'ai vu des expériences intéressantes qui auraient pu être exploitées. Toutefois la tour était quasiment terminée, cela n'a donc rien apporté au projet, mais nous avons vu les gens, où cela se fabrique ; c'est intéressant.

Que pourriez-vous ajouter ?

A propos de la technique et de sa signification, j'aime bien citer une phrase de Deleuze. Bien que ce soit sur le cinéma, c'est transposable : « la technique n'est rien si elle ne sert pas des

fins qu'elle suppose mais qu'elle n'explique pas ». Je ne comprends pas forcément tout ce qu'il a voulu exprimer, mais j'apprécie cette idée qui explique toute la difficulté que nous pouvons avoir en architecture à distinguer le rôle de la technique comme moyen et en même temps, comme indissociable du résultat final. C'est un peu ce que nous avons évoqué dans notre discussion. On ne peut pas tout expliquer, tout justifier ; mais en même temps, le tout est déjà contenu dans la technique . Nous sommes déjà engagés dans une option qui ne sera pas de la brique pour de la brique, mais qui sera de la brique pour CE projet. Il y a une sorte de convergence, qui ne se discerne pas toujours très bien, mais qui est déjà présumée, presque dès le départ. Quand autour d'une table, on se dit « il n'y a que des ateliers en brique, pourquoi ne pas mettre de la brique », on ne sait pas qu'on vient d'enclencher un processus. En effet, simultanément on s'interroge sur ce que doit être un laboratoire et sur les différentes fonctionnalités de l'opération. Ce n'est donc pas la brique qui fait le projet, et pourtant, à un moment donné, il va se matérialiser avec de la brique. Et cela apparaîtra déterminant pour le projet.

Annexe N°4

Nicolas Michelin : le rôle des matériaux



Rénovation de la Halle aux farines.

Agence Nicolas Michelin Associés. Document fourni par l'architecte.

Entretien avec Michel Delplace puis Nicolas Michelin – ANMA

Le 31 mars 2006.

17h – 18h30

[Lorsque je suis arrivée pour cet entretien, Nicolas Michelin était très occupé ; nous avons convenu que je commencerai avec son associé Michel Delplace qui suit et gère bon nombre de projets à l'agence ; Nicolas Michelin nous a rejoint plus tard] .

À quel moment, le matériau intervient-il dans le projet et comment ? Avez-vous eu l'occasion de définir des matériaux, par exemple dans le cas de procédures d'ATEX ?

MD

Il est rare que nous réinventons un matériau. C'est plutôt dans sa mise en œuvre que nous réinventons quelque chose. On invente un matériau quand on fait du béton peut-être ; effectivement, en fonction des dosages, on arrive à recréer un matériau.

Mais quand on construit avec de l'acier thermolaqué, par exemple, cela reste de l'acier thermolaqué. On ne réinvente pas les choses. Seule la composition du béton peut varier pour produire des matériaux différents. C'est bien dans la mise en œuvre qu'on obtient des variations sur ce qu'offre le matériau. Je pense que nous avons un processus de conception qui commence par l'établissement du projet, avec une esquisse etc... La réflexion sur le matériau vient ensuite, en réponse aux idées formulées auparavant. On précisera une volonté de matériaux réfléchissants ou mats, plutôt des masses, plutôt des opacités ou bien au contraire plutôt des choses vitrées, très vitrées. Et nous réfléchissons aussi au choix des matériaux en fonction de leur pérennité. C'est un des points essentiels.

Lorsque nous concevons des mises en œuvre de matériaux qui n'ont pas d'antériorité, nous avons recours aux procédures d'agrément. En fonction des budgets, nous utilisons des procédures plus ou moins classiques ou plus ou moins complexes. Quand le budget est relativement faible, nous nous limitons à des procédures traditionnelles. Par exemple, pour l'opération de logements que nous réalisons actuellement à Nantes, le budget est assez modeste. Nous avons mis au point des châssis d'angle coulissants, à partir de profilés de menuiserie standard. Nous avons adapté un châssis coulissant classique, à deux vantaux, en modifiant quelques pièces. Le bureau de contrôle pour cela n'a pas demandé d'ATEX. Nous avons interprété le PV d'essais existants. Il n'y avait a priori pas de risque. Je dis a priori parce que c'est en cours de réalisation. On pourra conclure qu'il n'y a pas eu de risque dans dix ans. Avec cet exemple, nous avons créé une petite plus value technique.

Avez-vous fait faire un prototype ?

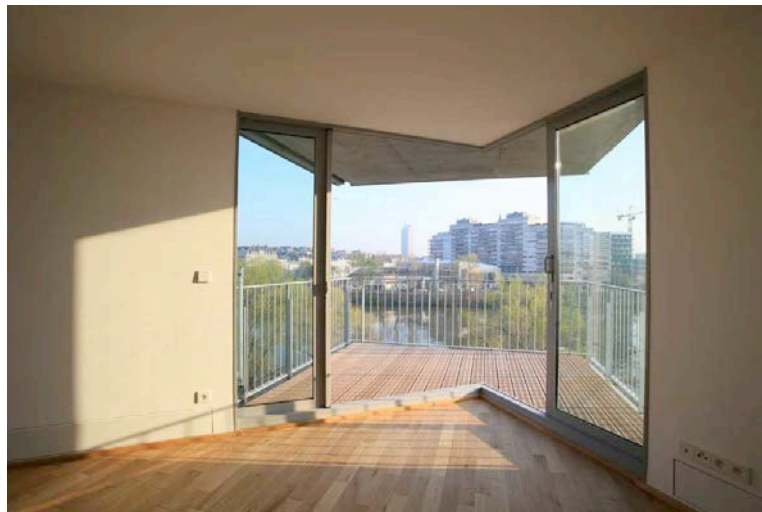
MD

Nous avons commencé par une mise au point technique au sein de l'agence, en conception.

Avec des dessins ?

MD

Avec des dessins joints au dossier d'appel d'offres. Mais pour réussir à faire cette mise au point, nous avons consulté plusieurs « gammistes » ⁽¹⁾ de profilés de menuiserie comme Technal, Schucco, etc. Seuls RC Système a été intéressé à étudier cette mise en œuvre nouvelle avec nous. Nous avons réussi à développer quelque chose de sérieux avec eux. Technal était intéressé, mais leurs gammes ne permettent pas d'avoir des poids de vitrage aussi importants. A l'appel d'offres, ce sont plutôt des entreprises qui travaillent avec RC Système qui ont répondu. L'entreprise adjudicataire a voulu mettre au point un système qu'elle avait imaginé qui permettait d'ouvrir les deux vantaux à la fois. Mais finalement, c'est la réflexion menée au départ qui s'est avérée la plus sûre, pour avoir une certitude d'étanchéité. On est en bord de Loire, dans un estuaire, avec des vents relativement violents. On minimise les risques. Aujourd'hui, l'entreprise a fait son prototype. On a repéré quelques problèmes qui ont permis quelques mises au point. Les châssis sont en cours de fabrication.



Châssis coulissant sur l'angle. Opération de logements à Nantes.

Agence Nicolas Michelin Associés. Document fourni par l'architecte

Par contre, lorsque nous avons fait la couverture de Limoges, nous avons dû déposer un ATEX. Nous avons imaginé mettre des panneaux opaques dans un système de profilés de

¹ Gammiste : appellation des entrepreneurs de serrurerie qui réalisent des menuiseries à partir de gammes de profils standards.

verrière qui accueille habituellement des vitrages. Les recherches ont été réalisées avec un entrepreneur, un façadier. Les verres étaient remplacés par des panneaux sandwich opaques. Cela a nécessité un ATEX pour vérifier comment se comportait le panneau aux effets de la chaleur, aux dilatations et surtout à l'ensoleillement. Les tests ont été réalisés au CSTB. Il y a un laboratoire équipé d'un soleil artificiel qui chauffe fortement la surface du panneau, comme si on était au soleil. On fait alterner des cycles de chauffage et de refroidissement. La procédure d'essai est définie par le CSTB, à partir d'un prototype de 3 m² que nous fournissons. Le CSTB effectue les essais sur une durée de un mois ou deux et fournit un document qui stipule que notre produit fonctionne. Avec ce document, nous sommes assurés, nous et notre maître d'ouvrage. Mais uniquement pour ce chantier et avec cette mise en œuvre précise.

Qui paie l'ATEX ?

MD

En fait, c'est l'entreprise qui l'a réalisé mais au final, c'est bien le maître d'ouvrage.

Nous stipulons dans le cahier des charges qu'il y aura une procédure d'ATEX à réaliser, parce que la mise en œuvre envisagée n'est pas conforme aux DTU. L'entreprise calcule son offre en conséquence, et elle a pour mission d'obtenir cet avis technique expérimental. C'est le bureau de contrôle qui est rapporteur du dossier édité par le CSTB, auprès de la commission des ATEX.

Il nous arrive aussi couramment, je reviens un peu en arrière, de demander des avis de chantier. C'est une procédure très courante. Par exemple, pour les portes. Quand on prescrit une porte dont les dimensions ne sont inscrites au PV d'essais, il faut demander un avis de chantier. L'entreprise fait cette demande par le biais de son fabricant. C'est souvent pour des problèmes de résistance au feu. Le fabricant demande alors une extension de son PV d'essais, un avis de chantier pour préciser, que malgré l'augmentation du format, le PV n'est pas remis en cause. C'est la même chose, quand on place un joint de dilatation dans une cloison en plâtre et non pas une cloison maçonnée. Dans des cas un peu spécifiques, qui sortent du PV d'essais réglementaire, on est obligés de demander un avis de chantier.

C'est toujours l'entreprise ?

MD

On le stipule dans le cahier des charges. Cela se fait auprès de l'éditeur du procès verbal.

Il arrive aussi qu'on ait besoin d'ATEX du fait de l'environnement, dans le cas de façades suspendues ou de structures assez complexes, par exemple. Il faut gérer l'interface entre la verrière et la structure en fonction de ses déformations. Les structures ne se déforment pas toujours de la même façon. Il peut y avoir des efforts provoqués par un ascenseur, ou des

façades différemment orientées, etc... Le bâtiment travaille et le verre bouge. Il faut donc vérifier qu'il se positionne correctement dans les feuillures prévues.

Dans ces cas-là, n'a-t-on pas recours à l'informatique ?

MD

Il y a en effet des modélisations informatiques. Mais nous sommes obligés de donner toutes les déformations de la structure en tous points et de dire comment la charpente se déplace, comment l'ossature de la verrière se comporte, et quels sont les jeux. Ce genre de domaine me dépasse un peu ; c'est plutôt l'ingénierie de l'entreprise qui travaille à ce niveau-là. Mais c'est vraiment propre à la France ; dans les autres pays, c'est l'ingénierie faite par les architectes et ses associés, ses partenaires qui réalisent ces études.

Dans quelles circonstances faites-vous réaliser des prototypes ?

MD

Nous faisons toujours faire un prototype. Pour un voile de béton ; nous demandons des échantillons de 50 cm x 50 cm, fabriqués en laboratoire, qui précisent les caractéristiques de teinte, ou d'aspect quand on a des parements un peu spéciaux. Ensuite on fait un test réel en grand format de 2 mètres x 2 mètres. Parfois, nous demandons un morceau de garde-corps, un morceau de parquet. Quand on fait du logement, on demande une cellule témoin, une petite chambre témoin. Quand on fait un bâtiment d'enseignement, on demande une salle de cours témoin où on voit la porte, l'interrupteur, le raccord entre la porte et les plaques de plâtre, la pose de la plinthe sur la porte, la finition de la peinture, etc. C'est toujours difficile de faire réaliser un prototype complet dans lequel plusieurs entreprises doivent intervenir. Ce n'est pas que c'est compliqué à réaliser, mais il faut obtenir le bon vouloir de tout le monde, bien que tout cela soit stipulé dans les pièces écrites. Dans les pièces écrites, nous stipulons toujours très clairement ce que nous souhaitons obtenir : un prototype d'étanchéité en raccord avec le garde-corps ; un prototype d'1,50m linéaire de chéneau, etc...pour pouvoir vraiment tester ce qui nous semble essentiel. Après c'est de l'échantillonnage, de la quincaillerie, des interrupteurs, etc ...

Et à partir du prototype, y a-t-il des allers-retours ; des essais erreurs ?

MD

Dans certains cas, c'est simplement pour se rassurer. Dans d'autres cas, cela aide à régler des questions de mise en œuvre. Par exemple, sur Nantes, il y a des balcons précontraints. Nous avons profité du prototype pour voir les interfaces avec le balcon, le garde-corps, le bardage, le volet coulissant. Le prototype n'est pas réalisé avec la tôle perforée définitive. Il n'est pas peint de la couleur exacte, mais cela permet de voir comment fonctionnent les assemblages. Au final, cela permet d'adapter les temps d'exécution qu'on avait imaginés et

de les retoucher. Dans certains cas, le prototype est là pour se faire plaisir. Un garde-corps par exemple, si l'entreprise est un peu sérieuse, la définition qui est faite sur papier est suffisante. Mais cela permet aussi de rappeler que les soudures doivent être bien meulées, que ce montant correspond à tel point, etc. Cela permet d'avoir un dialogue avec celui qui va exécuter sur place. C'est très important de pouvoir sensibiliser aussi des personnes qui travaillent sur le chantier.

Les prototypes sont faits sur le chantier ?

MD

Oui. Et le gros problème, c'est de savoir ce qu'on en fait à la fin, parce qu'il faut les évacuer et personne ne veut s'en charger.

A Bonneuil, on a fait un prototype de 3m x 2m. Il y avait du poly carbonate, le raccord sur le mur en béton, le raccord avec le toit, un bout de garde-corps, un bout de toiture, un bout de chéneau, etc... Cela a étonné tout le monde que nous fassions cela pour un bâtiment industriel. Mais c'était satisfaisant pour tout le monde, pour comprendre mieux la mise en œuvre. En tant qu'architectes, cela nous permet aussi d'évaluer le résultat au niveau plastique, de vérifier si c'est cohérent avec notre dessin. Parfois, nous avons des surprises désagréables que nous devons réajuster.

On a le temps, à ce moment-là ?

MD

Cela se fait... de moins en moins. L'architecte, avant, pouvait changer tout ce qu'il voulait quand il arrivait sur un chantier. Aujourd'hui, ce n'est plus possible, parce que les entreprises gèrent l'économie d'une opération de façon très serrée. Mais cela permet de vérifier beaucoup de choses et de rassurer notre maître d'ouvrage. C'est un élément important que j'oubliais ; cela permet au maître d'ouvrage de se rendre compte, en amont, de ce qu'il va avoir et éventuellement de le présenter au Maire, de transmettre l'information à sa hiérarchie, de le présenter à des personnes qui ne sont pas là tous les jours. Et pour Nicolas Michelin, qui suit les chantiers d'assez loin, cela lui permet à un instant t, de dire « je suis d'accord avec tout ce que vous avez mis au point », plutôt que de constater au final que ce qu'on a fait en études ne correspond pas à ce qu'il avait imaginé lui-même.

Et par exemple, à Nantes, où il y a des manipulations un peu spéciales sur les fenêtres et les volets ; est-ce qu'on teste ces manipulations ? leur ergonomie ?

MD

Oui ; je ne l'ai pas dit. Quand on met en place le volet, il vibre. Nous réfléchissons à le lester. Plutôt que de faire un cadre en barre creuse, nous avons idée d'augmenter son poids avec

une barre pleine en partie inférieure. Nous allons bientôt faire ce test, qui devrait éviter le cliquetis.

Avez-vous souvenir d'un projet ou d'une opération, dans laquelle la mise au point de la matérialité était fondatrice du projet ? c'est-à-dire qu'il y aurait eu une conception de matière en même temps que le concept global.

MD

Nous ne sommes pas vraiment des spécialistes de la matière, comme peut l'être l'agence de Jean Nouvel par exemple lorsqu'ils imaginent une tour qui sort d'un cratère noir et devient de plus en plus claire pour se perdre dans l'infini ; ils travaillent sur les matières, avec une déclinaison, de la pierre, de l'acier etc... Ce n'est pas trop notre langage. On peut travailler sur la matière quand on fait du béton, du béton coloré comme à Chatenay Malabry. C'est une partie du projet mais tout le projet ne tient pas sur cette recherche. Quand on prend un inox poli, on ne cherche pas à travailler sa surface. C'est vrai qu'avec les différents types de polissage, on obtient différentes réflexions. On peut réfléchir aussi aux vitrages qui ont des aspects différents. Mais nous travaillons plutôt sur la forme

et sur l'assemblage ?

MD

et sur l'assemblage ; plutôt que sur ces problèmes de... carrosserie, quoi.

Toutefois, nous avons toujours des recherches de matières, pour un sol clair ou un sol foncé par exemple. Mais c'est moins scientifique que ce que font d'autres architectes.

Récemment, nous avons fait du béton sablé à Nantes. Nous avons fait réaliser une quinzaine d'échantillons en laboratoire, de 50cm x 50cm. Lorsque nous avons fait le test en grande surface, le résultat ne convenait pas du tout. On a donc retravaillé la formulation. En laboratoire, on coule à plat, alors que sur le chantier, c'est coulé à la verticale. Le béton réagit différemment.

Le prototype montre toujours quelque chose, même pour un ouvrage simple ou banal. Et quand on n'en fait pas, on le regrette. Le prototype permet aussi aux entreprises de voir comment mettre en œuvre les détails qu'ils ont dessinés ; qu'on a mis au point avec eux. Cela leur permet aussi d'anticiper les difficultés de mise en œuvre, d'adapter les tâches pour faciliter l'exécution et optimiser les temps. Ils voient aussi comment réduire les fixations apparentes, ou optimiser la matière.

C'est un bon endroit de rencontre ?

Oui, c'est un bon outil. Mais on ne peut pas toujours faire un prototype... Cela dépend de l'échelle du chantier. Lorsqu'on refait un appartement, c'est plus délicat. Mais lorsqu'une pièce se répète, c'est dommage de ne pas faire un prototype.

Que pourrait-on dire des bacs absorbants du gymnase de Grenoble ?

MD

Cette opération a été réalisée par Nicolas et Cyril. Je pense qu'ils ont vraiment mis au point la forme définitive de ces baffles à échelle réelle, même si l'objet était défini dans son principe par le cahier des charges. Ce sont trois cercles décalés. En fonction du décalage des cercles, on obtient des géométries différentes, tout en conservant la même prestation. Il y a deux modèles qui s'alternent. Ils ont fait plusieurs prototypes à échelle réelle, qui leur ont permis de définir la forme. En maquette, ce n'était pas possible. C'est une toile tendue sur un arceau métallique. La tension de la toile réagit en fonction du diamètre des éléments ; cela ne se dessine pas.

Est-ce que le prototype a servi la performance acoustique ?

MD

Non. Le prototype a permis aussi de tester la façon de le mettre en œuvre. Par contre, à propos d'acoustique, pour le théâtre de Quimper, nous avons un complexe acoustique sur la paroi. Sur le mur en béton, nous avons placé un isolant acoustique recouvert de vanelles métalliques. Grâce aux tests en laboratoire, qui ont été réalisés à l'école des ingénieurs du Mans, nous avons mesuré les différentes caractéristiques acoustiques de la paroi en fonction de l'ouverture des vanelles. Cela permet d'offrir à la salle de spectacle plusieurs configurations acoustiques, en fonction de la musique. Mais si l'exploitant modifie l'orientation des vanelles sans suivre les spécifications définies au DOE (Dossier des ouvrages exécutés), dans lesquelles sont précisées les positions pour tel type de configuration musicale, on peut avoir des contre-performances. C'est le risque. Nous n'avons pas eu de nouvelles, je pense que cela se passe bien.

Intervention de Nicolas Michelin.

Un des premiers points que je tente de mettre à jour concerne la matérialité du projet. Comment la matérialité intervient dans l'élaboration du projet ; comment elle peut être fondatrice ; à quel moment elle intervient ?

NM

Je peux évoquer l'article que j'avais écrit dans les Cahiers de la recherche « Qu'est-ce qu'un bon bâtiment ». C'est assez long, mais il y a une partie sur les matériaux. Selon moi, un bon bâtiment répond (il fait un croquis) au programme, au site, avec de beaux espaces, une belle lumière. Tous les architectes cherchent cela. Depuis une trentaine d'années, on cherche aussi à ce qu'il soit confortable et durable.

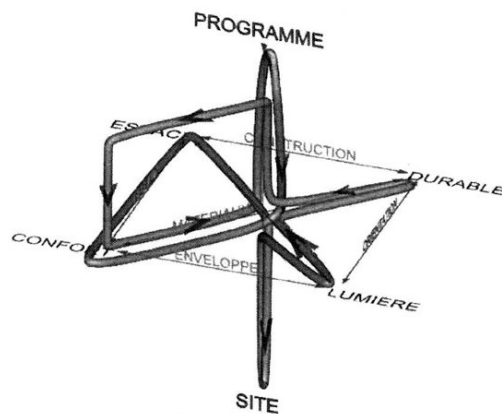


Schéma représentant les allers et retours présents dans la conception.

extrait des Cahiers de la recherche architecturale et urbaine N°13-14 (juil. 2003).

Nicolas Michelin. « Qu'est-ce qu'un « bon bâtiment » ?

La réalisation des beaux espaces et de leur lumière est générée par la structure. C'est là que cela devient intéressant. Si on ne travaille pas une belle structure, on n'aura pas vraiment de beaux espaces dotés d'une belle lumière. Pour être confortable et durable à la fois, ce n'est pas si évident que cela. Pour être confortable, on peut mettre de la laine de verre, du polystyrène, mais ce n'est pas durable. Et pour être durable on peut mettre des matériaux qui ne seront pas très confortables. Il existe des matériaux qui satisfont aux deux critères, comme le bois, par exemple. A cet endroit du projet, le travail porte sur la qualité des matériaux. Le vecteur clé correspond au choix du matériau. Cela peut être du béton, du

bois... . Je le choisis pour la structure, mais je le choisis aussi pour le second œuvre. En effet, pour réaliser un bâtiment qui soit à la fois confortable et durable, je choisis des matériaux qui se recyclent. Ensuite, pour être durable et avoir de beaux espaces, il faut travailler sur l'assemblage, sur la construction. Pour avoir une belle lumière et être confortable, il faut travailler sur l'enveloppe, etc... Le matériau intervient donc, non pas dans un choix esthétique, mais avant tout dans un choix lié à la façon de concilier la structure avec les matériaux pour donner de l'espace, de la lumière, du durable et du confort.

C'est comme cela que se réalisent les projets de l'agence?

NM

Oui, c'est comme cela que je travaille. Par exemple, pour un multiplex de cinéma à Shanghai, on souhaiterait pouvoir économiser la climatisation. Nous réfléchissons à ce que le bâtiment se ventile et garde le frais. Pour cela, on a besoin d'inertie. Bien sûr, il y a un site ; les matériaux dépendent aussi du site. Mais ce n'est pas parce que je suis à Shanghai que le bois doit être prescrit. Il y a beaucoup de possibilités. Etant donné le programme et le site, le projet s'organise avec des jardins qui entrent à l'intérieur des salles pour que l'ensemble soit suffisamment lumineux. Et à un moment, pour moi, le béton s'impose. C'est-à-dire une structure qui donne de l'inertie et qui évite de mettre des panneaux rapportés. Il est nécessaire d'avoir cette masse tout de suite.

Ce qui est intéressant dans un projet d'architecture, c'est que ce n'est pas linéaire. Je pense qu'on a une intuition et puis on a des doutes qui remettent en cause l'idée première, et on fait tourner le doute (il crayonne en rond) dans tous les sens. Sans arrêt, le projet bascule dans un sens ou dans un autre, parce que tous ces critères sont interactifs. Ça tourne.

Le matériau, j'appellerais cela « matériau » plutôt que matérialité, que je vais choisir est un des vecteurs de la conception, je ne dirais pas que c'est le plus important, mais un des plus importants. C'est un des vecteurs qui interagit avec les autres. Je ne dis jamais « je vais construire en bois », ou en béton, ou en métal. Je vais chercher un mixte. J'ai toujours une idée de cet espace, de cette lumière, de ce confort que je veux donner et enfin m'assurer que le bâtiment soit durable. Je cherche la meilleure structure, le meilleur matériau pour y parvenir. C'est assez différent que de penser faire un bâtiment en bois parce qu'on est dans une forêt, ou en Norvège, ou au Vietnam. Parfois le matériau peut être imposé. Ce n'est pas un choix radicalement technique, c'est un choix complexe, qui prend en compte un faisceau d'informations.

Dans un système ouvert ?

NM

Et je peux être prêt à le changer.

Actuellement, nous étudions des logements à Tours. Nous n'avons pas encore travaillé sur la matérialité. On ne sait pas encore si ce sera du béton, du métal, du bois. Nous en sommes à l'esquisse. Je sais très bien où je veux aller, le confort que je veux donner aux gens, une terrasse, des « plus » dans les logements. S'est posé la question des terrasses. Est-ce qu'on les fait en caillebotis ou en bois, ou en béton ? Les choix sont ouverts et dépendent beaucoup de cela (il montre le schéma des données). Il n'y a pas de choix a priori. Michel proposait de faire les terrasses en caillebotis métallique pour préserver la lumière. Mais si la terrasse est perforée, le bouchon de champagne va tomber en dessous. Ce n'est pas possible. On peut alors faire du métal jointif, mais cela sera bruyant. On pourrait faire du bois, etc... . Il y a quarante mille arguments, mais le plus important est d'assurer le sentiment de durabilité, le confort à tous niveaux, notamment visuel, l'espace aussi, dans l'ensemble de la construction de ces logements. Et le matériau s'imposera.

Et avec ce cahier des charges qui se formalise en amont du choix du matériau, n'avez-vous pas la tentation d'inventer une matière qui puisse répondre à tout cela.

NM

Si ; bien sûr que si. C'est constamment. On aimerait bien. Mais il y a ces messieurs-là (il montre les données réglementaires) qui vont nous interdire de mettre en œuvre tel matériau, parce qu'il n'y a pas d'agrément. Il n'y a donc pas de décennale, donc pas d'assurance. C'est un obstacle majeur. Parfois, le maître d'ouvrage stipule qu'il ne veut pas d'ATEX.

Le maître d'ouvrage ?

NM

Bien sûr. Je suis à l'affût de matériaux aux propriétés multiples. Je me souviens d'une visite dans une matériauthèque à New York. C'était fantastique. Il y avait les matériaux classiques mais aussi des quantités de matériaux absolument insensés. Des carbonés, des fibres, des produits verriers incroyables. Des choses que je n'avais jamais vues. Mais le problème vis-à-vis de tout cela c'est que la mise en œuvre sur le chantier est au degré presque zéro. C'est du parpaing, du béton, du métal. Et encore, pas tous les métaux. Si on parle de titane, personne ne sait ce que c'est. Il y a un fossé horriblement frustrant entre les matériaux géniaux qu'on pourrait utiliser et ce qu'il est possible de faire. Ce n'est pas seulement pour des raisons de prix. Il s'agit de l'agrément, de la possibilité de le mettre en œuvre.

Parfois on se demande si les freins sont vraiment techniques.

NM

Je veux mettre une petite girouette actionnée par le vent pour assurer la ventilation naturelle de logements à Dunkerque. Le CSTB n'a pas agréé le dispositif . La maîtrise d'ouvrage l'a

donc refusé. A la MAF, ils me connaissent bien parce que je mets souvent des choses un peu innovantes. De ce fait, on n'échappe pas aux procès. Mais je n'ai jamais été mis en cause, car jusqu'à présent il n'y a pas eu de vraies difficultés.

Ensuite, je fais intervenir un dernier choix, le choix esthétique. J'appelle cela la poétique. Par exemple, à Quimper, l'intérieur du théâtre est en bois.

J'avais envie du bois parce que ce matériau répond à la chaleur, à l'obscurité que je recherchais. En métal, cela n'aurait pas produit la poétique que je souhaitais, en béton non plus. Mais je pense que le matériau s'impose assez vite. Quand on a toutes les données dans la tête, on se dit «je le fais comme cela et pas autrement ». Un autre exemple : le parpaing apparent de la Halle aux Farines. L'espace y est très curieux, très tramé. La lumière vient en second jour avec les pavés de verre, puis zénithalement avec des percées.



Rénovation de la Halle aux farines.

Agence Nicolas Michelin Associés. Document fourni par l'architecte

Tout est en béton, que du béton, le béton de Denis Honegger. Aucun des ouvrages que nous avons rapporté n'est en métal. Cela aurait été une erreur tragique. Même pour les garde-corps. Et pourtant, à l'agence on aime beaucoup travailler le métal. Mais pour cette opération, nous n'avons que du béton et du parpaing, très peu d'enduit. Donc pour moi, le matériau fait partie de tout cet ensemble.

Une des questions contemporaines est celle de l'hyper choix des matériaux, et comment s'y retrouver. Une façon de s'y retrouver, c'est de le créer. Mais cela peut être aussi un chemin critique de décisions qui l'amène et le justifie dans le projet.

NM

Par contre quand je dis « je veux mettre de la brique », comme à Rouen, où cela m'a pratiquement été imposé, nous avons décidé de la mettre à l'intérieur aussi. C'est un projet de hangars en briques. On a choisi une brique, pas des plaquettes, de la vraie brique. On a monté le mur avec un vide d'air, une ventilation, et la brique à l'intérieur.

La couleur de la brique extérieure a été imposée par l'ABF (architecte des bâtiments de France) . Nous avons fait des recherches pour le choix de la brique à l'intérieur. Je cherchais cette brique un peu noire pour obtenir un contraste avec le métal et l'eau qui coule sur un plan incliné pour apporter de la fraîcheur. Pour trouver cette brique noire, sombre, nous nous adressons aux fabricants. Nous cherchons avec eux. On découvre un monde absolument extraordinaire. Mais cette recherche de brique noire ne se fait pas parce qu'elle est belle. Le projet devait être en briques et la conception de l'espace intérieur m'a conduit à envisager une brique sombre. Ce sont ces concepts préalables qui ont guidé la recherche de la brique noire. Et si je pouvais inventer une brique noire, la flammer moi-même, ou travailler les terres, cela serait encore plus intéressant.

On pourrait penser que le choix du matériau précède l'idée liée à l'usage. Cela peut arriver, mais c'est rare. Je ne fais pas un projet pour appliquer un matériau. J'applique le matériau parce que le projet le demande. Ensuite, il y a beaucoup d'arguments pour atteindre une construction durable : la provenance du matériau, l'absence de déchets... . Sur le bois, cela devient infernal. Cela condamne le bois. Dès qu'on prescrit du bois, il faut prouver qu'il ne vient pas d'une coupe sauvage. Si on choisit du bois, comme l'angélique, le red cedar, les écologistes se manifestent et ils ont raison. Mais les forêts ne sont pas déforestées pour le bois ; elles sont déforestées pour l'exploitation.

Je pense qu'il faut continuer à exploiter le bois, comme les écologistes allemands.

Ensuite, on imagine d'autres propriétés. Par exemple des matériaux extrêmement résistants, comme les nouveaux aciers, ou les bétons. Je fais un projet de concours en ce moment. Je veux faire des colonnes, des poteaux. C'est un hall qui fait 12 mètres de haut, et 300 mètres de long, comme une grande halle. J'ai des portées de 20 mètres, mais je ne veux pas de grosses poutres parce que l'esthétique de l'ensemble est une surface pliée qui tient toute seule. Le matériau qui peut réaliser une surface qui tienne comme cela toute seule existe-t-il ? En carbone, cela doit marcher, mais c'est incompatible avec l'économie du Bâtiment. Je prends donc des petites poutres, sur huit mètres de portée ; la poutre doit faire 30cm de hauteur. On va travailler sur l'épaisseur, avec les poutres les moins épaisses possibles. Et je rêve que les poteaux qui porteront cette dalle soient comme des allumettes, sans flamber évidemment. J'imagine que les gens se déplacent dans cette forêt de poteaux, très fins, jamais tramés. Parce que j'ai besoin de porter ces poutres. Celui qui me trouve le matériau pour réaliser cela... Je sais exactement ce que je veux. C'est une question de matériau et de

structure. Les deux sont intimement liés. Si je veux le faire en bois, il n'y aura pas la finesse. En béton, ce n'est pas non plus ce que je cherche.

Quoi que ? les nouveaux bétons ?

NM

Oui. Les bétons de fibres ; très fins. Il ne faut pas qu'ils se plient, même si les charges sont peu importantes. On ne reprend pas d'étage. C'est un auvent. Le kiosque que Sejima a réalisé avec ces petits poteaux.



Image de référence : kiosque de Sejima Source : <http://hino.nu/img-archive/parts/abbs/uchi/sejima3.jpg>

Je voudrais des sections encore plus fines. Mais il ne faut pas qu'ils se cassent en cas de choc. Je sais qu'il y a des bétons maintenant, extrêmement durs qui peuvent reprendre des charges impressionnantes. C'est peut-être un béton plein.

Nous commençons à chercher comme cela. La matérialité résulte de toutes ces recherches. Ce n'est pas dans l'autre sens.

Annexe N°5

Martin Robain. Architecture Studio.
L'innovation constructive,
partie intégrante du processus de
conception.



Vue intérieure du Parlement européen de Strasbourg.

ARCHITECTE : ARCHITECTURE-STUDIO . PHOTO : G.FESSY

Entretien avec Martin Robain – ARCHITECTURE STUDIO

Lundi 29 mai 2006.

14h – 15h30

La première question que j'aimerais évoquer avec vous pour introduire notre entretien porte sur la façon dont la matérialité intervient dans le projet au sein de votre agence, et à quel moment.

Très vite. Dès les concepts. Avant de dessiner le projet, nous définissons les concepts. Nous essayons de définir les grandes idées du projet, y compris la couleur par exemple. Et la couleur sans la matière, cela ne veut pas dire grand chose. On ne peut pas dire simplement « c'est rouge ». On pense déjà à la matière. Cela fait partie des concepts.

Avant de dessiner ?

Oui, cela arrive. Nous définissons très vite les codes esthétiques du projet. Qui dit code esthétique, dit aussi matière. On ne les définit pas complètement. Ce sont de grands principes qui seront développés ensuite. Nous cherchons, à partir de ces principes et de ces idées sur la matière, comment arriver à ce que nous voulons. Parfois, le matériau n'existe pas. Nous sommes obligés de le faire fabriquer, et donc d'expérimenter. Par exemple, pour l'église Notre Dame de l'Arche de l'Alliance. La peau a été réalisée avec ces matériaux qui sont du papier recollé. Nous voulions un brun. Le concept était un cube en bois, ou d'apparence en bois, un bois qui ne change pas d'aspect.



Vue de l'église Notre Dame de l'Arche de l'Alliance. « Le concept était un cube en bois »
ARCHITECTE : ARCHITECTURE-STUDIO PHOTO : GASTON"

Or le bois naturel qui tient à la lumière et à l'eau, cela n'existe pas vraiment, quoi qu'aujourd'hui on saurait peut-être le faire ; mais à l'époque on ne savait pas. Nous avons donc trouvé des matériaux qui n'existaient pas dans le Bâtiment et nous avons expérimenté. Ces matériaux étaient utilisés pour faire des sols de camions industriels. Nous trouvions cela assez beau. En travaillant avec le fabricant, nous avons réussi à insérer des sérigraphies. Nous avons travaillé sur le matériau, avec l'usine, en Hollande. Nous avons modifié le matériau, mais pas le procédé de fabrication. Nous nous sommes servis du processus de fabrication pour y intégrer de nouvelles fonctions qui étaient possibles mais qui n'existaient pas auparavant. C'était intéressant.

Une mise en œuvre originale aussi ; c'est du transfert de matériau.

Oui. Je pourrais citer un autre exemple. Un petit exemple. Je me suis fait une petite maison de 6mètres x 6mètres. Chez moi. Elle est en bois. Je la voulais noire, très noire. J'y suis parvenu avec du bois que nous avons brûlé, nous-mêmes, comme les campagnards d'autrefois qui brûlaient les poteaux en acacia avant de les planter dans le sol pour qu'ils résistent mieux. Le bois noir, par exemple, c'est quelque chose qui n'existe pas vraiment.

Pouvez-vous préciser comment s'exprime le concept dans votre démarche de projet.

Nous énonçons les grandes idées du projet, jusqu'aux références esthétiques les plus importantes, donc jusqu'à une certaine apparence de matériau. Par des mots. Verbalement ou par écrit, cela revient au même. Ce n'est pas forcément LE matériau, mais l'esthétique que nous voulons pour le projet. Quand on dit : « on veut du bois » , cela signifie du bois ou une apparence de bois. Nous ne sommes pas sur la vérité des choses. La vérité nous est complètement égale. Par exemple, l'enveloppe de l'église n'est pas en bois. C'est du papier trempé dans je ne sais quelle résine. Mais c'est beaucoup plus solide que le bois. Cela a une apparence de bois, un petit peu différente toutefois, et cela correspond tout à fait ce que nous voulions. Au démarrage, on ne définit pas LE matériau, on définit l'esthétique d'ensemble . Évidemment la technicité vient après.

Et l'arrivée du matériau qui sera mis en œuvre se fait à quel moment ?

Très vite. L'arrivée du matériau se fait forcément dès qu'on dessine le projet. Cela peut varier. Cela peut évoluer en fonction des études de prix, en fonction de beaucoup de paramètres, mais le matériau arrive très vite. Par exemple, pour l'opéra d'Athènes, c'est du marbre blanc. Nous savions, dès le démarrage, que cela serait du marbre blanc. Nous étions à Athènes , face à l'Acropole. Nous nous sommes dits « nous voulons du marbre

blanc sur du verre », du marbre blanc rugueux, et du verre lisse. Cela a été défini dans les premières semaines, avant de rendre le concours. Pour le rendu du concours, tout cela était décrit.



Maquette virtuelle de la Fondation Onassis à Athènes.
ARCHITECTE : ARCHITECTURE-STUDIO

Aujourd'hui le projet se construit en référence à ces définitions de base. Et quand nous avons des problèmes avec le client, nous ressortons les cinq pages écrites au moment du concours, en rappelant que le projet doit respecter cette définition première. Et c'est tout simple. Pour l'IMA, on le voyait blanc. À l'époque, nous pensions au marbre de Thassos parce que nous le connaissions. Il est un peu comme du sucre. Depuis, nous en avons trouvé d'autres qui sont tout aussi purs. Il existe pas mal de marbres blancs qui sont blancs, blancs, sans veines. Il y a des possibilités, mais pas tant que cela. Ce n'est pas du Carrare. Il est toujours un peu veiné ; plus ou moins, mais toujours un peu veiné.

Et pour passer de l'intention esthétique à la mise en œuvre par l'entreprise, le chantier, comment procédez-vous au niveau des étapes pour atteindre cet objectif. Est-ce que vous manipulez des matériaux ; ou est-ce que vous vous appuyez sur l'expérience ?

Nous aimons bien les deux. Le problème, c'est que quelquefois cela va trop vite. Quelquefois, on n'a pas d'argent, quelquefois le client n'a pas d'argent, etc, etc... Il y a toujours des contradictions, mais dans l'absolu, il est important faire des prototypes. Nous essayons d'en faire. Il est vrai que pour les projets importants, nous faisons des prototypes. In fine, lorsque nous choisissons le matériau, c'est vraiment dans son apparence, avec des

prototypes. Cela donne aussi l'avantage de pouvoir le montrer au client et d'en discuter avec lui. C'est quand même assez rare. Je pense que c'est assez rare parce qu'aujourd'hui, il y a une espèce de coupure, qui n'est pas propre à l'architecture mais assez générale, une abstraction qui vient des spécialistes. Le développement de ces spécialités abstraites exclut ceux qui n'en sont pas et qui ne comprennent pas cette abstraction. Aujourd'hui les plans d'architectes, par rapport à ceux qu'on produisait il y a un siècle ou deux sont devenus complètement abstraits. Ils sont constitués de petits bouts, avec des traits. Il n'y a même plus la globalité. L'informatique parcellise. Il est très difficile d'avoir une vue globale. Donc la compréhension est de plus en plus faible. Il y a une coupure de plus en plus forte qui motive d'autant plus la nécessité de faire comprendre, d'essayer d'expliquer, de susciter des relations. La communication qui s'instaure avec le prototype, les matériaux, avec ces choses relativement simples est importante. Quand on regarde un matériau, tout le monde comprend.

Est-ce que vous avez l'occasion de formuler des matériaux ; aujourd'hui les possibilités de fabrication sont telles pour qu'on pourrait dire qu'on fait un cahier des charges pour chaque besoin de matériau. Vous avez eu l'occasion de travailler avec l'usine pour formuler ?

Oui, oui, bien sûr. Très souvent. Par exemple, à Dunkerque. Notre idée était d'avoir des briques à échelle 10, donc des briques 10 fois plus grandes. Ce n'était évidemment pas possible en terre cuite. C'était des briques de 60 cm de haut, en caissons, placées dans un mur-rideau. La façade était moitié verre, moitié brique. C'était en fait une transposition de la brique et nous l'avons réalisé en béton de fibre. Nous avons beaucoup travaillé dans ce système de béton de fibres, mais nous le faisons aussi pour d'autres matériaux. C'est assez classique de travailler avec l'usine pour mettre au point un matériau.

On est obligés de faire des tests.

De nombreux tests, forcément.

Et cela se fait dans l'usine ?

Cela se fait dans l'usine, toujours.

Vous n'êtes pas conduits à le faire ici ?

Non, ici on peut faire des prototypes pour présenter au client, comme des maquettes grandeur nature. Je me souviens des poteaux de Strasbourg, coupés en quatre. Leur forme est assez particulière, avec des coffrages métalliques complètement lisses et des peaux

d'orange par-dessus, remplis de béton. Nous les avons réalisés dans la nef, là ; Nous avons fait un poteau de 8 mètres de haut.

Avec les vrais matériaux ?

Avec les vrais matériaux, ce qui est vraiment bien. Cela nous arrive assez fréquemment, même des choses moins construites. Je me souviens de la moquette du Parlement. Nous voulions une moquette à fleurs, les fleurs de la prairie au printemps. Nous avons donc une photo prise d'avion d'une prairie au printemps. Mais comment la transformer en moquette ? Nous voulions une moquette à fleurs ; c'était la décision, et nous ne savions pas comment faire.



Moquette à fleurs du Parlement Européen
ARCHITECTE : ARCHITECTURE-STUDIO. PHOTO : ROTHAN

Avec cette réalisation, nous avons appris beaucoup de choses. Nous avons rencontré beaucoup de fabricants, Sommer, des Anglais, et d'autres. Certains avaient des machines extraordinaires. Nous avons découvert toutes sortes de procédés industriels qui permettaient de faire cette moquette, soit par des jets d'encre, soit par de la laine, directement .

Comme tissé ?

Oui, comme tissé. Finalement, c'est Sommer qui l'a réalisée avec une machine très particulière. Depuis, ils se sont séparés de cette machine. Je ne sais pas pourquoi, mais ils ne savent plus faire. C'était une machine étonnante.

Avec la numérisation, on va dans le sens du produit à la demande.

Absolument. C'est l'évolution et c'est évident. On le constate depuis dix ans. Avec l'informatique, les industriels deviennent artisanaux. C'est génial. Ils peuvent répondre à une demande individuelle. L'industriel compétent aujourd'hui peut répondre à une demande individuelle.

Et vous y faites appel souvent ?

Forcément.

Est-ce que cela a développé des compétences particulières dans l'agence ?

C'est l'informatique. Au niveau d'un appel d'offres aujourd'hui ; quand on fait une façade avec des formes courbes qui paraissent un peu folles, avec l'informatique, nous pouvons repérer toutes les pièces. A l'appel d'offres ou même à l'exécution, on est capables de fournir au fabricant les fichiers informatiques du calepinage avec toutes les dimensions. Cela change tout. Avant ces procédures de modélisation, c'était un casse-tête chinois. On ne pouvait même pas dessiner ces formes. C'était trop compliqué. Maintenant, nous pouvons produire une modélisation et leur communiquer directement. Ils le transfèrent plus ou moins directement. Parfois, ils doivent changer de programme, mais ils parviennent à fabriquer à partir de nos données. Même pour les découpes de verre. Avant, il fallait des fenêtres identiques. Maintenant, cela n'a plus de sens. Cela ne coûte pas un centime de plus d'avoir des fenêtres différentes. C'est l'évolution du temps et c'est vraiment bien. Ce n'est pas encore complètement compris, partout. La précision est évidemment très importante. Quand nos fichiers passent directement à la fabrication, ils doivent être parfaitement finalisés. Il n'y a plus d'intermédiaire. Nous faisons la même chose pour les maquettes. Quand on veut faire faire une maquette par un maquettiste, (on ne les fait pas ici), on dessine selon les procédures qu'il nous définit de façon à ce qu'il entre les données et « juuuut », elles sont fabriquées immédiatement. C'est pareil pour le bâtiment.

Avez-vous intégré les logiciels des entreprises ?

Disons, que nous imposons dans notre cahier des charges un certain nombre de logiciels qui sont quasiment des standards. Il y a quelques logiciels très particuliers pour des types de fabrication. À ce moment-là, nous ne savons pas faire. Ils transposent les données.

Parmi les gens qui travaillent dans ces mises au point de produit, y a-t-il d'autres personnes que les fabricants ?

Il y a un certain nombre de personnes, bien sûr. L'entreprise est là quand on est au stade de l'exécution. Mais quand on est à l'appel d'offres, il n'y a pas encore l'entreprise. Ensuite, quand on est sur le chantier, il y a l'entreprise, l'ingénieur, etc... Au stade de la conception, nous essayons de définir au maximum l'ensemble du projet. Nous travaillons plutôt à l'anglo-saxonne. c'est-à-dire nous essayons, bien qu'on ne soit pas très bons en France, de définir le plus possible les données de l'opération avant que l'entreprise n'arrive. Dans les appels d'offres privés, il peut y avoir des relations avec l'entreprise si le client d'accord, mais c'est autre chose. Comme nous travaillons beaucoup dans le public, nos projets sont très définis et précis avant l'appel d'offres. Ce n'est pas très bien vu en France aujourd'hui, il faut être clairs. Les entreprises préfèrent 100 fois plus imposer leurs solutions ou tout du moins déstabiliser le maître d'œuvre en proposant d'autres solutions, en critiquant les solutions qui sont faites, pour des raisons stratégiques évidentes.

De prix ?

Oui, oui. D'introduire le doute pour pouvoir modifier les prix, déstabiliser un peu les uns et les autres

Pour cela, vous travaillez en mission complète ?

Oui, quand on le peut. Pour l'opération d'Angers, on est en mission complète. Nous faisons l'exécution. Le Parlement de Strasbourg a été fait en mission complète. Nous avons fait un certain nombre d'opérations de cette façon, mais c'est très rare. Il y a beaucoup d'architectes qui ne veulent pas le faire. 99 % des architectes refusent la mission complète.

Mais on est dépossédé d'une partie de la maîtrise de l'opération.

Complètement dépossédés. Moi, je suis pour la mission complète. Je suis pour la conception-construction, ce qui a été très mal vu dans le milieu architectural. Je suis favorable à ce système, non pas à cause de la procédure, mais parce que je pense que dans ce cas, on est avec une entreprise forte, car ce sont les grosses entreprises qui y participent, et cela oblige l'architecte à être tout aussi fort, sinon il disparaît. Donc le seul moyen de s'y retrouver, quand on est en conception-construction, c'est d'être extrêmement compétents. Il s'agit de récupérer la compétence pour ne pas se faire dépouiller par l'entreprise. C'est un problème de concepts, ce n'est pas un problème financier. En effet, à la limite, si on ne fait rien, c'est encore mieux financièrement. Je pense que la conception-construction est un processus où l'architecte retrouve obligatoirement la globalité de sa fonction. Mais beaucoup pensent l'inverse. J'ai toujours été favorable car, je pense que c'est

une procédure possible qui oblige l'architecte, s'il veut faire de l'architecture, à aller jusqu'au bout ; sinon il est mort.

C'est le tout ou rien ?

Oui, c'est cela. Mais on a intérêt à retrouver notre compétence. Donc il faut aller à la mission complète, ce qui n'est pas du tout dans l'air du temps. C'est un peu un problème de compétences, aussi.

Cette nouvelle réalité de la pratique d'architecte me surprend beaucoup. Il y a 15 ans, la mission complète était beaucoup plus courante.

Ce phénomène s'est accentué. Mais on peut le comprendre du fait de la démultiplication des problèmes juridiques. Aujourd'hui sur un chantier, la moindre erreur technique, entraîne, ou peut entraîner des horreurs au niveau des procédures juridiques qu'on traîne pendant des années et des années. C'est l'enfer, quoi. Donc, je comprends qu'on n'ait pas envie de prendre ces responsabilités.

Pour en revenir aux mises au point de ces matériaux spéciaux, vous travaillez avant l'appel d'offres. Là, votre interlocuteur c'est le fabricant.

Oui ; l'interlocuteur est souvent le fabricant. Ce sont aussi des ingénieurs très spécialisés qui font un cahier des charges. C'est le cas le plus fréquent. Dans ce cas, il ne faut pas se tromper non plus. Par exemple, quand nous avons fait le palais de justice de Caen ; nous avons de grands brise-soleil blancs sur le bâtiment noir, et le POS à l'époque imposait de la pierre blanche. Donc nous avons fait des éléments en matériaux de synthèse recouverts d'une poussière de pierre blanche. C'était assez compliqué avec une technologie assez pointue, empruntée aux mâts des bateaux. Il y avait des porte-à-faux assez importants sur un mur-rideau. Pour ce projet, nous avons travaillé avec un ingénieur, grand spécialiste de ce matériau, mais on s'est un peu planté ; enfin, il s'est un peu planté. C'était un ingénieur inspiré qui nous avait beaucoup séduit ; il avait l'air du savant cosinus. Il nous avait beaucoup séduit, mais en réalité, il s'est un peu planté dans ses calculs.

Et comment se passent les mises au point ? par exemple, pour le poteau de Strasbourg ; vous avez changé les boulons, optimisé l'épaisseur de la tôle ?

Non quand le prototype a été réalisé, c'était le mieux possible. Cela représentait un aboutissement. C'était la mise en forme d'une idée, concrètement, telle que nous la voulions.

La mise au point s'est faite avant, ponctuellement, avec des petits bouts de prototypes. Le prototype final a servi de présentation au client pour le convaincre.

C'est un élément de communication. Mais le prototype d'études ?

Avant, on avait des morceaux, beaucoup plus petits, sur lesquels on a travaillé les soudures, les vis, la matière... enfin tout.

Comme un façonnage ?

Absolument et en testant la technique. Il y avait deux trois techniques différentes. Nous devons donc les évaluer. Il y avait des systèmes que nous ne connaissions pas bien, avec des accroches de façade sur le poteau . Il y avait deux, trois solutions possibles , des doubles façades, des éléments qui passaient au milieu des poteaux. Nous avons fait deux ou trois solutions avec deux ou trois entreprises différentes. Ces solutions étaient ici et nous les avons mixées. Nous avons abouti une solution originale, différente de ce qui était proposé mais cette mise au point s'est faite en voyant les prototypes. Malgré les connaissances que nous avons, nous n'étions pas suffisamment expérimentés . Ce dispositif n'existait pas ailleurs. Les prototypes nous ont beaucoup servi pour appréhender ces techniques qui étaient difficiles.

Est-ce que le prototype s'arrête à un composant comme un poteau ou est-ce que cela peut être plus ? Un bout d'espace, un bout de pièce ? pour les programmes d'hôpitaux par exemple ?

Oui, oui ; on fait des pièces complètes ; des chambres. Pour l'hôpital que nous avons réalisé en Pologne, avant qu'il ne fonctionne, nous avons fait une pièce complète ; il y avait même les infirmières dedans. C'était pour la communication. Pour le directeur ; il n'y avait pas de faux malades mais presque.

Quand on travaille sur une chambre d'hôpital, on fait des allers et retours dans la mise au point ? on bricole ?

Oui, on bricole... on bricole ? si on se trompe. A priori si on est très bons dans l'étude, on n'a pas ce genre de propos. L'étude est de plus en plus précise, avec l'informatique. On arrive à savoir exactement comment se passe l'éclairage. Un des éléments les plus importants dans une chambre d'hôpital, c'est l'éclairage. Comment le malade vit dans son lit, comment la sonnette, est accessible. Aujourd'hui, avec l'informatique, on arrive à montrer l'éclairage naturel, à voir l'ombre, à voir les ségrégations de chaleur qu'il n'est d'ailleurs pas

possible de voir avec un prototype. On peut évaluer avec l'informatique un nombre de paramètres incroyable. On est de plus en plus précis, de plus en plus pointus. Il n'y a aucun doute.

Donc le prototype a plutôt une valeur de communication ?

Les deux. Il y a des choses qu'on arrive à prévoir si on est bons. Par exemple, l'acoustique. Mais il n'empêche que même si on est très bons en acoustique, c'est très bien de vérifier. L'éclairage, on y arrive, mais il n'empêche que c'est quand même très bien de vérifier, etc... Les couleurs, bien sûr, c'est très bien de vérifier parce que, quelquefois, avec l'éclairage, il y a telle température, avec telle couleur, et l'effet est différent etc... donc, c'est très bien de vérifier. Si ; les prototypes sont très utiles.

Pour la vérification qui fait appel à la perception ?

Oui ; il y a toujours quelque chose qui s'améliore. Il y a toujours une inflexion. Mais on n'a pas beaucoup de temps. Là, on évoque des projet dans des contextes où on a le temps parce que cela ne va pas trop vite encore, bien que cela s'est accéléré. Mais en Chine, ce n'est même pas la peine d'y penser. Les opérations vont trop vite. En Chine, ils font un prototype du logement avant que le chantier ne démarre, et tout est vendu sur ce prototype de logement et puis rien d'autre. ce qui est réalisé n'est pas toujours comme ce qui est présenté. Ce n'est qu'un prototype de vente, commercial. Cela n'a rien à voir avec un projet d'architecture. Ensuite, l'opération se déroule à une vitesse complètement folle. C'est un peu l'évolution du Monde, aussi.

La vitesse ? ce n'est pas forcément irrémédiable.

Non ; rien n'est irrémédiable ; il y aura forcément des allers et retours. Mais aujourd'hui, il y a une accélération dans la construction. Quand on veut faire refaire un ouvrage... Par exemple, en ce moment , nous avons quelque chose qui nous ne plaît pas, une façade. Le prototype est là. Il avait été bien fait et l'entreprise qui a fabriqué a réalisé l'ensemble sans respecter le prototype. Dix mille m2 de façade. Qu'est-ce qu'on fait ? Nous disons qu'il faut recommencer. Le groupe industriel nous répond que c'est la catastrophe parce qu'il lui faut trois mois pour faire sa production. Cela lui fait perdre trois mois, et cela lui coûte je ne sais pas combien de dizaine de millions d'euros. Qu'est-ce qu'on fait ? C'est un problème auquel nous sommes confrontés en ce moment. C'est compliqué. C'est en Chine. Il n'y a qu'en Chine qu'on peut fabriquer différemment de ce qui a été prévu.

Avez-vous mis au point des produits, soit par transfert de technologie, soit in extenso ?

Absolument. Nous avons déposé des brevets. Enfin nous avons laissé déposer un brevet. Nous ne sommes pas pour les brevets. Pour le moment, nous ne sommes pas prêts pour déposer un brevet, mais tout à fait pour permettre le dépôt de brevet.

Est-ce qu'il est arrivé que l'industriel intègre ce que vous avez étudié ensemble dans son catalogue ?

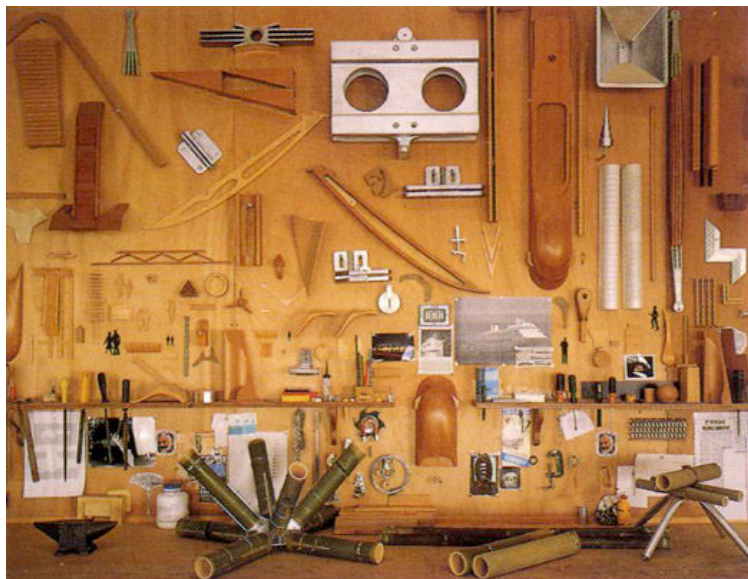
Bien sûr. Justement, c'est ce dont je parle. Mais nous n'avons pas voulu entrer dans ce système. Notre philosophie est différente. Nous ne voulons pas fonctionner sur les royalties parce que notre métier, c'est d'inventer. Si nous commençons à avoir des brevets et des royalties alors que nous sommes architectes (nous ne sommes pas des industriels) nous ne serons plus dans notre logique intellectuelle. Chaque projet est nouveau.

Pensez-vous que c'est l'importance de l'agence qui permet de faire cela ?

Non, parce que, même quand on était petits, on avait cette philosophie. C'est un problème philosophique. Toutefois, il est vrai que maintenant que l'agence est plus importante, nous sommes plus fréquemment sollicités par des industriels pour réfléchir sur des nouveaux procédés. Alors que lorsque nous étions plus petits, nous ne pouvions qu'être incitateurs. Maintenant, c'est beaucoup plus facile pour nous.

Annexe N°6

Paul Vincent de Renzo Piano Building Workshop : la conception architecturale par l'expérimentation



Un mur de l'atelier de Vesima où on assemble et réalise maquettes et prototypes à taille réelle. (Buchanan, 2005). AGENCE RENZO PIANO BUILDING WORKSHOP.

Entretien avec Paul Vincent

RENZO PIANO BUILDING WORKSHOP

Mercredi 20 septembre 2006.

11h à 12h30.

L'agence Piano représente une sorte de parangon dans la recherche sur les matériaux en architecture. Serait-il possible d'évoquer la façon dont cette conception s'opère au sein de l'agence, avec quels partenariats et quand elle intervient dans le projet.

En général, Renzo Piano ne développe pas de recherche en dehors d'un projet. Ce sont les projets qui sont porteurs. Dès le début du projet, il définit un but à atteindre qui correspond à un des éléments fondateurs du projet. C'est une idée qui s'exprime souvent par un sentiment, par un besoin, je dirai sensuel. C'est à partir d'une matière, d'une couleur, d'une vibration, que commence le développement d'un produit. C'est vraiment dans le cadre du projet. Il peut y avoir des exceptions, mais c'est relativement rare. Elles sont dues à un industriel qui vient nous chercher pour développer un produit directement. Nous l'avons fait. Malheureusement je trouve qu'en France les industriels sont très pauvres dans leur approche au niveau du design, à part quelques exceptions. Je suis assez impressionné par le manque de recherche et de créativité au niveau du design chez les industriels. Pourtant, j'ai l'impression qu'il y a une vraie plus-value à faire dessiner les choses correctement. Ils pourraient, par exemple, mettre en concurrence leurs bureaux d'études avec des designers indépendants, comme cela se pratique en Italie. Mais cela n'existe pratiquement pas en France. Ce qui me surprend toujours. En effet, lorsque les produits sont bien dessinés, il est possible de les vendre beaucoup plus cher. La marge est de fait plus importante. Cela progresse tout doucement dans les mentalités des décideurs. Dans l'automobile, il y a de vrais centres de design, dans lesquels les Français sont plutôt en avance. Mais dans l'industrie du Bâtiment, je trouve la production pauvre. Et même dans l'industrie, tout court, je trouve cela attristant en France. Je ne comprends pas pourquoi. C'est un autre sujet, mais c'est quand même symptomatique.

Pour en revenir au travail de l'agence sur le développement de produits ou de matériaux innovants, nous le faisons dans le cadre du projet selon un axe de recherche défini par Renzo. Il a donc un but à atteindre. C'est par exemple la vibration d'une matière, ou la façon dont elle réagit à la lumière. C'est dans cet objectif que nous avons beaucoup travaillé sur la terre cuite. Nous avons cherché à créer cette vibration avec du béton mais nous n'y

sommes pas arrivés. Le point de départ est de l'ordre de l'impression. Ce sont des sentiments qu'il veut développer dans le projet. Renzo est un architecte qui travaille beaucoup en hiérarchisant les points de développement de chaque projet. Les aspects à développer sont toujours en petit nombre. Un, deux ou trois, une dizaine au maximum. Il parle souvent d'ailleurs de Decalog. Se pose ensuite le problème de savoir comment les développer.

L'élément fondateur dont vous parlez, est-il toujours un axe de matérialité ?

Non, cela peut être de la lumière. Cela peut être une volonté d'éclairage naturel. Par exemple, s'il s'agit de l'éclairage naturel dans un musée avec une verrière, nous réfléchissons sur la façon dont on peut faire entrer différemment la lumière : tamisée, discrète, agréable et qui n'endommage pas les œuvres. Ce n'est pas forcément matériel, cela peut être une vibration, une forme de sensualité. J'aime bien le mot sensualité pour évoquer une matière ; la sensibilité, la sensualité d'un matériau. Cela peut être une recherche sur un revêtement de sol, même si on en fait peu. Je pense que, même si ce n'est pas dit, ce sont souvent des sentiments, un besoin de résultats que nous devons retranscrire dans le développement de la recherche sur un matériau. Mais bien sûr, si nous étudions une verrière au-dessus d'une salle d'exposition, nous travaillons aussi à la rendre étanche ! Il peut y avoir des recherches très complexes, comme ce qui a été réalisé sur la ventilation naturelle à Nouméa. Le concept même était d'éviter la climatisation. Il s'agissait plutôt d'un travail sur des techniques que sur les matériaux eux-mêmes. Il s'agissait ensuite d'utiliser les matériaux définis dans le decalog, en quelque sorte le catalogue de construction du projet.

Avec quels partenaires réalisez-vous ces études ?

Les partenaires sont rarement les mêmes, d'un projet à un autre. Il y a deux types d'études. La première se fait ici, dans l'agence, éventuellement avec des consultants qui sont associés à la recherche. C'est un travail qui se fait en amont de l'appel d'offres, pendant les études avec des consultants. Ce sont des bureaux d'études que nous choisissons et que nous animons pour alimenter le processus de création. Pendant cette phase d'études, il s'agit de nourrir le projet. Nous cherchons des références. C'est un point important. Des références qui ne sont pas obligatoirement architecturales, mais qui peuvent être des références sur la nature de cette vibration, de cette sensibilité. Des images de paysage, de nature, des animaux, des coquillages, etc... Cette notion de références permet d'enrichir la démarche, de la faire progresser... .

Quelles compétences ont ces consultants ?

C'est variable. Cela dépend de ce que nous recherchons. Il faut les choisir judicieusement et les motiver. Cela demande beaucoup de temps. Il faut les payer correctement et bien les choisir. Ces consultants interviennent très tôt. Ce sont très souvent des ingénieurs mais sur Nouméa, un ethnologue nous a beaucoup aidé à avancer sur le projet. Même s'il n'a pas participé directement au niveau du choix des matériaux, il nous a apporté son savoir sur la culture kanak dont nous avons tenu compte. Cette étape est comme une nourriture intellectuelle et sensible. Pour continuer la métaphore culinaire, nous faisons prendre une mayonnaise, mais strictement à la main, sans batteur électrique ! A l'issue de ce travail, nous commençons l'étape du prototype. Ici, nous faisons des maquettes. Ce sont des faux prototypes en bois, en carton. Nous parvenons assez vite à l'échelle1. Nous pouvons étudier une pièce d'assemblage en bois, factice, à l'échelle1, au besoin. Puis, arrive un moment où il est temps de demander au client de fabriquer un ou plusieurs véritables prototypes. Cette fabrication est contractuellement prévue. Nous la faisons réaliser par un industriel habitué à fabriquer ce type de travaux. Il en a la compétence. On retrouve ce type de démarche dans l'automobile avec les masters des prototypes.

Comme une sorte de maquettiste grandeur ?

Oui ; mais c'est plutôt un petit façadier ; ou un artisan très compétent et polyvalent qui demande pas mal d'argent. Ce n'est pas cher en soi, parce que c'est un petit ouvrage, mais c'est cher au m2. Comme nous sommes vraiment dans l'expérimentation, il faut un niveau de compétences élevé. Ce prototype sera présenté au client et éventuellement soumis à des essais. Si le prototype est satisfaisant, nous y apportons les corrections nécessaires parce qu'il y a toujours des erreurs. Sinon, avec l'enseignement du premier, nous en réalisons un second, pour nous approcher du but à atteindre. La notion de prototype est fondamentale. On le voit dans l'automobile. C'est un bon exemple. Ils produisent assez vite des maquettes à petite échelle et ensuite, des maquettes à grande échelle qui permettent de procéder à des essais pour tester la réaction des clients potentiels. Ici, c'est un peu pareil. Nous fabriquons des maquettes, beaucoup de maquettes. Ensuite, nous fabriquons des prototypes, des faux dans un premier temps, puis des prototypes qui s'approchent de la réalité pour réaliser au final le vrai prototype fabriqué, la plupart du temps, par l'entreprise du chantier.

Et dans cette graduation de représentations de la matière, quels types de renseignements donnent chacune de ces étapes ?

Cela commence vraiment par la maquette sommaire en carton. C'est une maquette souvent assez je ne dirais pas moche, parce qu'elle est belle justement ... on pourrait dire, assez

brute et conceptuelle. Ce sont les maquettes que je préfère car elles ne sont pas des outils de représentation mais des outils de recherche. D'ailleurs, l'idéal est d'en faire beaucoup, très rapidement, presque identiques. Cela permet de comparer. Renzo aime bien ce mode de représentation du projet en continu. On pourrait appeler cela des maquettes « typologiques ». Très rapides. Leur intérêt est de les positionner les unes à côté des autres. Il s'agit de la première étape du processus.

Cela montre le bâtiment ?

Cela dépend...Ce sont souvent des morceaux. Une maquette, à la limite, devrait ne parler que d'une chose,. Il peut y avoir au départ plusieurs maquettes qui parlent du projet pour pouvoir les modifier. Ensuite, petit à petit il y a des maquettes qui parlent d'un problème donné, à une plus grande échelle. Nous les reproduisons et les faisons évoluer jusqu'à obtenir le résultat souhaité.

Vous pourriez donner un exemple ?

Cela peut-être un détail de couverture, ou un espace de distribution. Cela peut être un lieu, cela peut être un matériau. Ce qui est important, c'est la notion de typologie, c'est-à-dire, d'analyse de la forme qu'il faut faire plusieurs fois pour qu'il y ait une évolution qui permette de choisir. A la limite, une maquette doit être une série. Il faut donc utiliser des matériaux assez sommaires, pour en minimiser le coût. Ce ne sont pas des maquettistes ébénistes, comme ceux qui sont dans l'atelier en bas, qui les font. Il vaut mieux que ce soit les architectes qui apprennent à faire des maquettes rapidement. C'est pour cette raison, qu'il y a deux ateliers maquettes ici. Un pour les architectes qui font des maquettes sommaires et un atelier pour des ébénistes qui font des maquettes de présentation qui peuvent elles aussi être faites en plusieurs exemplaires, pour arriver à faire des choix. Mais ce n'est pas le même niveau de définition, ni de rapidité de fabrication, ni de compétences. Personnellement, je suis très attaché aux maquettes sommaires de début des projets, en carton. Je les trouve presque plus belles. Malheureusement ce ne sont pas celles-là qui sont placées dans les expositions.

Nous partons donc de la maquette du projet, pour aller vers des maquettes d'un problème donné, qui se développent si possible de façon typologique, pour arriver a priori à un prototype. Le prototype n'est pas fait sur le projet, mais sur un endroit du projet. Souvent il y a des pré-prototypes, factices et ensuite on passe au prototype fait par un artisan, parfois même avant la désignation de l'entreprise qui va fabriquer la pièce en question. Et en général, c'est bien d'avoir un prototype final , fait par l'entreprise, qui doit normalement être bon à 95%.

Le prototype factice nous permet de nous assurer avant de lancer le prototype définitif qui coûte cher. Il nous permet de travailler, de discuter avec Renzo, avec les ingénieurs et même peut-être de discuter avec celui qui va faire le prototype définitif. Cela n'est pas une règle du jeu absolue pour tous les projets. Mais c'est un peu notre façon de travailler. Par exemple, quand nous avons fait les briques de Lyon, nous les avons faites en polystyrène, peint à la bombe, avant de les faire en vrai. C'était un peu bizarre, mais cela permettait de vérifier les dimensions, la vibration, est-ce que l'arrondi de la brique était bon, la pièce de fixation prévue était-elle adaptée à la forme du bardage en terre cuite ? Ensuite, pour la brique, c'est difficile parce qu'il faut faire une filière. Il s'agit de brique extrudée. C'est un investissement lourd. Quand on a fait la filière, il est difficile de corriger.

Il faut être très sûrs.

Il faut être assez sûrs du point de vue de la conception. Les industriels eux-mêmes, quand il y a innovation, ne sont pas complètement sûrs de savoir s'ils vont parvenir à produire l'objet prévu. Dans le cas de Lyon, nous sommes directement passés du prototype factice à la chaîne de fabrication. Il n'y a pas eu de prototype intermédiaire fait par un artisan. Nous sommes passés de l'idée de Renzo, à une maquette factice à échelle 1. Nous avons cherché un industriel pour vérifier si cela était faisable en travaillant avec lui. Nous avons donc inventé le système avec lui pour arriver à fixer la brique et nous avons lancé la fabrication. C'est allé très vite car nous étions très pressés. Tout cela dépend aussi du planning de l'opération. C'est un paramètre à prendre en compte. Est-il possible d'inventer quelque chose dans le temps du projet ? Il faut aussi mentionner un autre paramètre, celui du client réceptif, intéressé par l'innovation, qui en comprend les différents aspects, le risque mais aussi l'avantage marketing. Il faut un client qui sache tirer profit de l'innovation et qui y participe. La notion de planning est importante. Celle du client est fondamentale. On ne peut développer des produits qu'avec des clients qui ont envie de les développer.

Quand on parvient au prototype final fait avec l'entreprise, se pose de nouveau le problème de l'expertise du matériau, pour évaluer sa fiabilité, sa résistance, son vieillissement. Faut-il faire faire des essais en laboratoire ? Il y a souvent des problèmes d'assurance, assez compliqués. On essaie de comprendre avec l'industriel si le matériau correspond bien au cahier des charges. En général, il faut produire un cahier des charges techniques de ce matériau qui décrit les modes opératoires de mise en oeuvre, d'entretien. La question du vieillissement et de la maintenance nous oblige aussi à nous interroger sur la possibilité de reproduire le matériau, en cas de besoin. Ou bien est-ce qu'on en fabrique plus et on les stocke ? C'est bien d'innover mais s'il faut payer dix fois le prix pour relancer une petite fabrication c'est ridicule. Il faut donc penser à tous ces aspects-là avec le client et l'industriel.

Lorsque vous parlez de cahier des charges, c'est un document produit par l'agence. Ce n'est pas le cahier des charges de l'industriel ?

Oui. Nous l'écrivons en amont du choix de l'entreprise, entre le faux prototype et le prototype fait par l'industriel, il y a évidemment un cahier des charges qui fait partie de l'appel d'offres. Dans ce cahier des charges, il faut essayer de décrire tous ces aspects de maintenance, de remplacement, de fabrication, si l'entreprise fait faillite...

Quand vous avez commencé la terre cuite, c'était déjà le même industriel ?

Oui. C'était Guiraud, qui est devenu Terreal. Mais avant la terre cuite de Lyon, il y a eu celle de l'Ircam. C'était Guiraud aussi. Et puis il y a eu celle de la rue de Meaux. Je n'y ai pas participé. C'était une entreprise générale. Je ne sais pas qui a posé les tuiles de la rue de Meaux. La difficulté, c'est qu'il faut effectivement faire attention au cahier des charges, mais aussi faire attention à la qualité de l'industriel. Il faut être bien entouré au niveau technique et faire attention au professionnalisme des entreprises et au type de groupement d'entreprises. Dès qu'il y a innovation, je dirais que c'est assez difficile de travailler correctement avec une entreprise générale. C'est un sujet un peu délicat. Il faut bien savoir choisir ses entreprises et avoir le budget pour les choisir correctement. En France les opérations se font avec des budgets de construction qui sont souvent très très bas, qui empêchent de pouvoir choisir de bonnes entreprises. C'est un vrai problème. Si on veut construire bien, il faut de bonnes entreprises et les bonnes entreprises coûtent plus cher que les mauvaises. C'est un vrai souci. Et l'architecte est étranglé en France. Tout bêtement, pour arriver à réaliser sa mission, on lui demande de passer dans des prix très bas. Pour ce faire, il consulte toutes sortes d'entreprises, des bonnes et des mauvaises. Et malheureusement, il est impossible de demander aux bonnes entreprises de construire au prix des mauvaises. Le client choisit, un peu en force, les mauvaises entreprises, et l'architecte n'a pas le choix. Il y a un vrai problème dans l'estimation des coûts de construction puis dans la procédure de consultation et de choix des entreprises. Et de ce fait, il y a beaucoup trop de sinistres, mais cela vient tout bêtement du choix de mauvaises entreprises. Donc, je défends la position qu'il faut que les juges commencent à juger les clients dans les cas de sinistre parce qu'en général, ce n'est pas l'architecte qui choisit la mauvaise entreprise, mais bien le client pour faire des économies pour passer dans son budget. On dit souvent « le client est non sachant », juridiquement. Ce n'est pas vrai, le client est « sachant » quand il choisit une mauvaise entreprise. C'est en général de son fait, parfois avec l'architecte. Mais ce choix est trop grave. Il faut qu'on arrête de choisir des entreprises incompetentes dans leur domaine. En tout cas, il faut responsabiliser les gens qui les choisissent et pas seulement l'architecte. Ce

n'est pas l'architecte qui tient le portefeuille. C'est un point fondamental. Si on veut innover, il faut de bonnes entreprises et un budget correct. On a souvent des budgets qui ne sont pas corrects et de mauvaises entreprises. Je pense que la situation se dégrade et devient assez grave.

En France ?

En France, oui. A l'étranger, les coûts de construction sont souvent beaucoup plus élevés. Il existe des bureaux d'études compétents dans les entreprises. Alors qu'en France ils sont en train de disparaître. Pour moi, on n'est pas bons. Mais évidemment, cela pose des problèmes politiques parce que si on commence à construire plus cher, on construit mieux mais moins de m². Cela ne va pas dans la logique de la construction à 1000 euros le m². C'est même exactement l'inverse. Mais il nous faut faire attention. Parce que si on veut construire pas cher, on va continuer à construire mal. C'est un vrai problème de savoir à quel prix on veut construire et combien de temps on veut qu'un bâtiment dure. S'il doit durer 10 ans et 1 jour, c'est possible. Mais ce n'est pas sérieux. On a un problème de fond. On est un peu pris dans une spirale de la construction qui nous conduit vers le bas. Nous-mêmes nous travaillons en France avec des budgets trop bas. Dans ces conditions, l'innovation est difficile. Pour innover et pour développer des matériaux qui vont se vendre par la suite, comme la terre cuite de Guiraud qui a été un vrai succès commercial, il faut un client qui veut bien mettre un peu d'argent, un architecte qui veut bien passer du temps, donc il y a des honoraires décents. Et puis des industriels qui vont ensuite tirer profit de ça. Il y a toute une mécanique.

Vous n'avez pas évoqué les bureaux de contrôle dans ce processus.

Le niveau de compétences de bureaux de contrôle est en général élevé, quand ils ont le temps de travailler. Le bureau de contrôle, qui est une instance typiquement française, est très intéressant du fait des niveaux de compétences des ingénieurs. Mais ils sont mis en concurrence dans un système libéral qui est très dangereux. De fait, ils travaillent à des prix tellement bas que s'ils développent des matériaux avec nous, c'est dans le cadre d'une opération de mise en valeur de leur travail et de leur savoir-faire comme une opération de marketing. Très souvent, ils sont tellement mal payés qu'ils le font presque à perte. C'est malsain.

Est-ce que leur intervention est parfois apparue comme un frein ?

Non, mais pour cela, j'essaie d'imposer au client de choisir le mieux disant. En général, dans la région où se situe l'opération, il y en a un qui est meilleur que les autres dans le domaine

spécialisé du projet . La difficulté, c'est qu'en général, le meilleur est plus cher. Donc il faut lui demander de faire un effort. Mais, il ne faut vraiment pas prendre le moins-disant. C'est fondamental, mais c'est difficile. On y arrive. Pour cela il faut que l'architecte soit courageux, parce qu'il va aller affronter son client pour que les bureaux de contrôle soient payés plus cher et qu'ils puissent passer du temps. Mais là aussi, c'est un peu comme les entreprises. On est à la limite.

Pour revenir aux tests de l'innovation et aux outils qu'utilisent les bureaux de contrôle, qui sont les avis techniques, dans les projets que vous avez pu faire en France, comment se sont passés ces tests ?

A ce niveau-là, en particulier, il y a le CSTB ; un organisme très intéressant qui instruit les dossiers d'Avis Techniques Expérimentaux. Là-aussi il y a un niveau de compétences incroyablement élevé. A partir du moment où – nous avons eu des ATEX positifs, nous n'avons jamais eu de sinistres. En France, le problème est bien de prévoir dans le processus de création du produit, les essais qui correspondent aux ATEX et si possible aux avis techniques. Pour réaliser l'ATEX, il faut des entreprises capables, avec le contrôleur technique, de déposer des dossiers corrects. On revient à la case départ, au choix de la bonne entreprise. Mais ce qui est sécurisant avec l'ATEX, c'est qu'en cas de mauvaise définition des qualités intrinsèques, il y aura des réserves ou il sera refusé. Ce qui est toujours un peu gênant, car cela représente un coût. Les clients n'aiment pas beaucoup cela. Il a un planning aussi. Cela veut dire qu'il faut intégrer dans le planning, le fait qu'il faudra établir le dossier d'ATEX, le faire présenter par le contrôleur technique et le faire valider par le CSTB. Le processus prend effectivement quelques mois, mais je trouve qu'il est très efficace. Je n'ai pas souvenir de problèmes après des ATEX positifs.

Et dans les pays où il n'y en n'a pas...

Je ne sais pas vraiment répondre. L'ATEX correspond au système français, où le niveau de compétences de l'entreprise est relativement moyen. Dans d'autres pays, assez souvent, il y a de vrais bureaux d'études, extrêmement compétents dans les entreprises. Elles peuvent développer elles-mêmes leurs essais et expérimentations pour produire un produit innovant mais qui fonctionne, au sein de leurs propres laboratoires. Elles réalisent les essais de durabilité, d'usure, etc... ce qu'on fait dans le cadre de l'ATEX. Nous avons construit au Japon, par exemple. Là, l'entreprise a fait elle-même, dans son laboratoire, qui est aussi bien équipé que le CSTB, ses propres essais. Alors qu'en France, on va au CSTB, au CETIM, à Metz faire des essais au feu, etc...

Que peut-on dire d'autre ? On peut aussi insister sur le fait que Renzo Piano ne veut pas tirer profit du développement des produits. Il considère que l'industriel fait un investissement, c'est donc à lui d'en tirer profit. C'est une démarche tout à fait honnête. Ceci dit, on peut se poser des questions sur la notion de brevet. Il y a peu de brevets déposés en France alors qu'il y a beaucoup de chercheurs très compétents. Donc cela signifie qu'il y a beaucoup d'idées développées qui sont volées ou qui sont reprises. C'est un peu ridicule. Cela renvoie à ce que je disais au début. Les industriels français innovent peu, recherchent peu, font peu de design et déposent peu de brevets. C'est dommage parce que les brevets, c'est un peu la vie future de l'entreprise. Quand on voit les chiffres de dépôt de brevet en Allemagne ou au Japon par rapport à la France, c'est attristant. Alors qu'en fait on s'aperçoit souvent que les idées premières, pour beaucoup, viennent de chercheurs français. Que se passe-t-il alors ? Il y a une coupure assez incroyable. Cela signifie probablement qu'on ne dépense pas assez d'argent en développement-recherche dans les entreprises. Ce n'est pas logique qu'il y ait cette cassure, parce que la recherche génère un profit. La terre cuite de chez Guiraud en est un exemple. Elle est vendue dans le monde entier. Ils en vendent même au Japon et ils ont su développer le produit de façon extraordinaire, chez Guiraud, puis chez Terreal, avec différentes façons de le monter. Ils ont continué à le développer. Initialement, il faisait 8 cm d'épaisseur ; il est passé à 4. Il est plus léger. On a même fait des essais en très grande dimension qu'on a monté sur la salle 3000 à Lyon. Il y a donc des gens qui savent faire. C'est vrai que Terreal fait maintenant partie de groupes financiers importants. Mais avant, Guiraud, était une petite entreprise très dynamique. Ils ont un laboratoire de recherche. Ils investissent dans la recherche. Mais il faudrait que des entreprises, même petites, fassent cela aussi.

Pourriez-vous parler d'une autre expérience au cours de laquelle vous avez été travaillé avec un industriel .

Nous avons parfois développé des choses bizarres. Par exemple, les abris des jardins ouvriers de Villejuif. Ce n'est pas du tout un produit industrialisé mais c'est un cas intéressant. Cela a été une vraie recherche. Le département avait décidé de construire des abris un peu plus solides, qui ne soient pas des boîtes fermées parce qu'il y avait de la prostitution. Nous avons développé des abris en aluminium avec une partie de stockage en béton qui a un peu la forme d'une haie dans laquelle on met les outils, qu'on ferme. Et des sortes d'ailes d'oiseau avec des pièces moulées en aluminium, des profils en aluminium qu'on a fait extruder et cintrer ; ils sont très résistants. Il fallait que cela tienne au vent comme un bâtiment. On récupère l'eau pour arroser les jeunes semis. Cela date d'il y a une bonne quinzaine d'années. Cela ne s'est malheureusement pas développé parce que le coût était assez élevé bien qu'on ait mis deux ans à faire les études afin d'atteindre des prix

raisonnables, avec un petit industriel, l'entreprise Banneel . Ils ont laissé ce parc ouvert, sans gardiennage. Des gamins s'amuse à voler les légumes et à mettre le feu le samedi soir. C'est triste. Un produit a été développé, un peu comme une petite maison de Prouvé, à cinquante unités et on le laisse se dégrader parce que j'imagine, qu'un jour un promoteur va essayer de mettre la main sur ce terrain. Là, il y a un manque de culture. C'est bien de faire de l'innovation, mais il faut aussi que l'innovation soit respectée. Il faut respecter un peu plus la recherche. Cela veut dire que si un client construit quelque chose, il ne faut pas le jeter à la poubelle trop vite, surtout si c'est quelque chose d'innovant par ce que c'est une trace importante d'abord dans le travail qu'a fait le client lui-même, puis dans le travail de l'architecte, et enfin dans la recherche tout court. Ce sont des choses qu'on ne doit pas laisser se détériorer surtout lorsque c'est avec du vandalisme. Les abris de Villejuif fournissent un bon exemple d'un élément de recherche vraiment difficile. On a quand même réussi à sortir quelque chose pour des gens très pauvres qui en étaient très fiers. Ils disaient « qu'ils habitaient dans du Piano ! » Depuis, heureusement, il a été décidé de réhabiliter les abris de jardins de Villejuif. La raison l'a emporté. La passion aussi.



Vue rapprochée du prototype de bardage en terre cuite.

Cité internationale de Lyon. RPBW, architectes. Photo N.Hoyet

Annexe N°7

Pascal Rollet : l'architecture expérimentée à échelle grandeur



Expérimentation à échelle 1 aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau. Construction du prototype.
Lipsky-Rollet architectes. Document fourni par l'architecte.

Entretien avec Pascal Rollet

Le 4 avril 2006

17h30-19h.

Pourrait-on explorer, au travers de votre pratique d'architecte, la manière dont le matériau intervient dans le projet; comment et à quel temps cette matérialité apparaît, se concrétise et comment elle interagit avec la conception globale.

Je pense qu'il y a deux grandes familles de projet, du point de vue du rapport du matériau avec le projet. La première famille, la plus fréquente, concerne la conception d'un dispositif spatial, ou d'archétypes constructifs. On met en place une stratégie globale de l'organisation de l'espace qui, à un moment donné, nécessite le recours à une certaine matière, à un certain type de matériau pour s'incarner. Dès lors, on recherche les matériaux qui correspondent le mieux à l'archétype ou au dispositif spatial imaginé. Très souvent, c'est une idée qui prend forme avec le dispositif spatial. Par exemple, si on souhaite quelque chose de très massif, de très lourd, on pourra envisager d'utiliser de la pierre. Mais ce choix est absolument conjoint, j'insiste là-dessus, à la notion de dispositif spatial, aux effets d'ambiance, de confort, d'organisation, de symbolique aussi, imaginés pour le projet. Il s'agit de rechercher le matériau qui correspond à l'idée, au concept général du projet. Je dirais que cela représente à peu près 80 % des opérations que nous avons réalisées.

La deuxième famille concerne les projets qui prennent forme à travers un matériau. On rencontre une matière, et une évidence se manifeste dès l'origine de la conception. Cette évidence s'est imposée par exemple pour le musée du cristal St Louis qui sera incontestablement en bois.

Cela vient du contexte, de l'histoire du projet. Le matériau est presque préexistant au projet. Dans ces cas-là, la présence de la matière est assez forte et la conception se déroule assez facilement. Il est beaucoup plus facile de faire ces projets-là, que d'aller chercher la matière qui correspond à l'idée première. Cela annule toute une série de recherche, de choix possibles parce qu'il y a cette évidence qui s'établit au départ. Le principe spatial et tout le projet vont s'organiser autour de l'idée d'utilisation de ce matériau. J'aime beaucoup ces projets-là parce que c'est un travail de déclinaison à partir d'une évidence très forte. Mais pour les 80 % des projets restants, on dispose d'une pléthore de matériaux et il faut beaucoup travailler sur l'archétype et sur la définition du projet, pour arriver à trouver la bonne matière.



Vue du chantier du musée du cristal St Louis « incontestablement en bois » . Lipsky-Rollet, architectes.
Document fourni par l'architecte

Comment se passe cette correspondance ?

Cela se fait en général, en relation à des notions d'ambiance et d'archétypes : ce qui est massif, ce qui est léger, ce qui est articulé, ce qui est à ossature... Le contexte est aussi important. Il indique la rapidité avec laquelle on doit monter le projet, les types de main d'œuvre disponible. Et enfin, même si ce critère n'est pas toujours envisagé dès le départ, il est surdéterminant ; c'est le sens symbolique de la matière qu'on utilise. Faire un projet en pierres, cela renvoie à des cultures, à une symbolique très forte sur la matière en masse, sur la pérennité, sur la construction séculaire, sur les temples. Faire des constructions en bois, cela renvoie plutôt à des constructions plus légères, à la marine, à une culture plus nordique et en même temps à la cabane, à des objets beaucoup plus transportables, transformables. Voilà comment s'orientent les idées fédératrices du projet, entre l'archétype symbolique et la matière que l'on utilise. Après, il y a un travail de recherche. Il y a les matériaux de base qui sont très simples, les minéraux massifs. En France il y a beaucoup de béton, un petit peu de pierre, jamais de terre. Ce matériau figure en bonne place dans notre catalogue, mais on ne parvient pas à le prescrire en France.

Terre cuite ?

La terre cuite, est moins dans notre culture. Après il y a le bois, l'acier, le verre et tous les transparents. Ensuite, on détaille la recherche dans les matériaux eux-mêmes. Par exemple dans les transparents, il y a un élément clé , dominant, qui est le problème de coût.

Aujourd'hui je fais des façades en polycarbonate destinées à remplacer ce que je faisais en Reglit®.



Façade intérieure du musée du cristal St Louis en polycarbonate . Lipsky-Rollet, architectes. Document fourni par l'architecte

C'était un matériau industriel, peu cher et ignoré des façades nobles. Grâce au travail des architectes, il a changé de statut mais son prix s'est envolé. Il a pratiquement triplé de prix.

C'est un effet d'image. Le prix de revient n'a pas changé ?

Oui. C'est Pilkington qui vend maintenant ce produit trois fois plus cher qu'avant, lorsque ce matériau servait à faire des bandes éclairantes dans les grandes halles industrielles. Lorsqu'ils ont constaté que les architectes s'en emparaient pour certaines façades, le prix a augmenté. C'est comme cela que nous nous sommes dirigés vers les matériaux plastiques légers qui se sont perfectionnés au niveau de la pérennité, de la résistance aux UV, etc...

On fait des façades à peu près transparentes, au moins translucides qui laissent voir un peu ce qui se passe derrière. Cela coûte moitié moins cher qu'avec du verre. À l'origine, cette prescription est motivée par des raisons économiques. Après, une autre symbolique apparaît.

On observe que le prix de certains produits monte en douceur, parce qu'il y a des avis techniques, des références, et si tout à coup c'est à la mode : les prix s'envolent ! Il s'agit donc souvent de mise en forme de matériaux, qu'on dit innovants mais qui sont plutôt des

transfuges d'autres domaines, effectués pour des raisons économiques. De plus, cela ne nous intéresse pas trop d'avoir accès à des chantiers où on aurait carte blanche. La contrainte imposée par une économie stricte nous va assez bien.

Bien qu'un peu contraints et forcés, on va à la recherche de nouveaux matériaux. Et finalement, c'est assez positif pour l'architecture. Cela n'exclut pas les risques que nous devons prendre à certains moments. La ligne de navigation n'est pas facile à tenir dans ces conditions.

Des risques de quel ordre ?

Lorsqu'on fait du transfert de matériaux, on ne sait pas toujours comment il se comportera dans une construction pour laquelle il y a une garantie décennale. On n'a pas toujours les résultats d'essais qu'il faudrait. Il faut passer par les Atex qui demandent beaucoup de travail pour des résultats qui ne sont pas toujours garantis. On prend aussi des risques économiques. En cours d'opérations, l'entreprise avec qui on a envisagé cette nouvelle mise en œuvre de matériaux peut disparaître.

Ensuite, on peut se demander comment on découvre un matériau. Le plus souvent, c'est le fait du hasard, un hasard orienté! Je vais beaucoup dans des salons qui ne concernent pas les architectes, comme par exemple des salons pour l'aviation qui montrent des systèmes de construction amateurs, qui sont un peu de l'ordre du bricolage. Cela peut aussi être l'entreprise qui vient nous présenter un nouveau matériau, ou bien au travers d'une discussion. Cette quête est à la fois empirique et têtue. On recherche toujours à peu près dans les mêmes directions. Il y a aussi les phénomènes de mode avec des matériaux qui apparaissent au goût du jour qui font parler d'eux. On les regarde pour voir s'ils peuvent entrer dans notre système de valeurs.

Quand vous découvrez ces nouveaux matériaux, comment se passe le processus de ré-appropriation et de réinsertion dans le projet ?

C'est très variable. Par exemple, lorsque nous avons utilisé les films dorés aux Grands Ateliers, nous étions à la recherche d'un matériau extrêmement économique, qui filtre la lumière sans être opaque, et qui ait un rendu de façade, avec une matière. On avait vu tous les systèmes de stores intégrés, le cool shed, les mailles métalliques très à la mode à l'époque. On connaissait tous les systèmes de stores et d'écrans, mais rien ne nous satisfaisait. J'avais en tête quelque chose qui fasse penser aux couvertures de survies ou plutôt aux protections des satellites contre les radiations solaires, une espèce de papier doré. En visitant le salon des composites, je suis tombé par le plus pur hasard sur le stand

d'un importateur marseillais d'un film doré, dérivé de ceux de la Nasa. Il le proposait pour faire du pseudo verre réfléchissant en le collant derrière un vitrage. Simultanément à cette recherche, nous avons vu une exposition d'Issey Miyaké au Japon sur le tissu en plis. Il montrait des vêtements plissés, froissés, à partir de couvertures ignifugées, métallisées. En voyant toutes ces images, nos idées se précisaient. Pour le palais de justice de Roanne, nous avons placé le film dans l'épaisseur de la paroi de Reglit®. Comme il y avait de la place, on a eu l'idée de mettre ce film complètement froissé dans le caisson alvéolaire. Sous certains angles, c'est réfléchissant, sous d'autres angles c'est totalement mat. La façade est de ce fait un peu plus sculpturale. Pour les Grands Ateliers, nous avons eu l'idée de le mettre en oeuvre sous la forme de rideaux souples, qui bougent, se froissent et donnent sa qualité à toute la façade. C'est un exemple. La découverte du matériau a été fortuite, mais elle est en même temps très orientée par les images de références que nous avons en tête alors que nous faisons cette recherche.

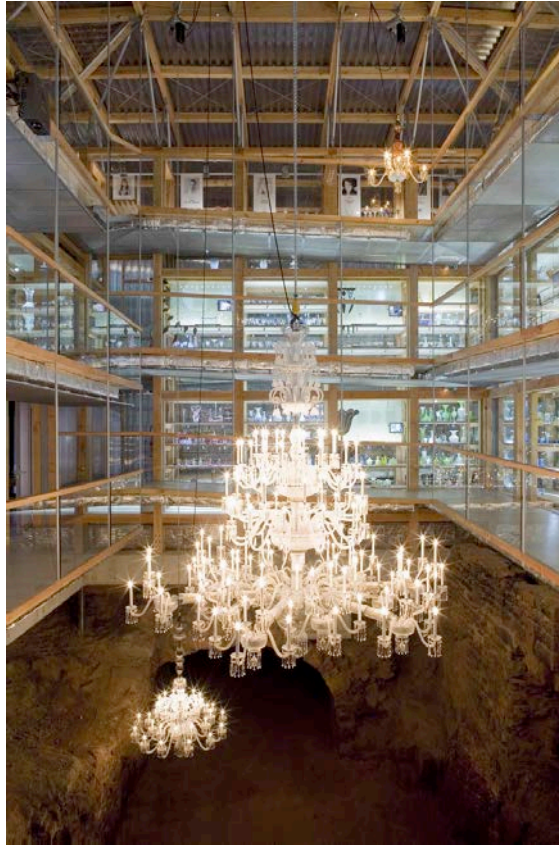
Nous n'avons pas les moyens de faire des recherches systématiques. On est un peu funambules, obligés de développer une forme de regard à l'affût, pour dénicher ce qui pourrait devenir intéressant. On est toujours à cette limite particulière entre bricolage, dévoiement, recyclage, déplacement.

Pour réaliser ces transferts ; il y a une opération conceptuelle qui vise à s'emparer du matériau ; mais est-ce qu'il y a un processus de mise au point, d'élaboration de maquette, puis de prototype. On est dans l'expérimentation de la matière ; on ne sait pas comment elle va réagir puisqu'elle n'a pas encore été employée comme cela. Comment franchissez-vous ces étapes pour arriver au chantier ?

En fait, ce n'est pas du tout un processus scientifique qui consisterait à vérifier tous les comportements de tel ou tel matériau. A un moment donné, nous avons une intuition très forte et tout s'agrège. Ensuite, nous regardons avec les fabricants quels sont les tests à réaliser pour pouvoir faire le transfert. En général, ce sont des transferts qui viennent de champs assez proches, pour faire franchir un pas à un matériau qui est à côté de nous. Quand on n'a pas les vérifications, on essaie de les obtenir. Tout dépend alors de l'intérêt de l'entreprise qui diffuse le produit. Parfois, on est obligé d'abandonner. Mais on parvient aussi à ouvrir une porte à certains matériaux, pour qu'ils entrent dans le champ de l'architecture qui leur était étranger. Ce que nous n'arrivons pas à faire, pour des questions de budget, c'est un transfert total. Quand on est intéressé par un produit qui n'est pas utilisé dans la construction, nous n'avons pas la possibilité de demander à l'industriel de faire la campagne d'essais destinée à le garantir pour de nouvelles applications. Je n'ai jamais eu cette expérience-là.

Ensuite, du point de vue architectural, nous avons beaucoup de travail de vérifications, de tests pour contrôler ce que cela va vraiment donner, sous la forme de maquettes, de grosses maquettes, parfois de prototypes bricolés. Nous demandons au fabricant de nous donner un morceau de façade. Par exemple, pour le lycée Renoir, nous allons utiliser un produit qui existe pour faire des verrières mais on aimerait un film réfléchissant derrière. On va s'en servir comme façade, comme double enveloppe. C'est un poly-carbonate alvéolaire avec des lames qui tournent à l'intérieur des alvéoles. Avec un panneau de 3 mètres par 3, on essaie de voir en vraie grandeur ce que cela peut donner. Depuis qu'on a un outil comme les Grands Ateliers, il est plus facile de faire de la mise en œuvre à plus grande dimension. Jusqu'à présent, nous faisons des bricolages avec des maquettes réalisées dans un local comme celui-ci, avec les simulations d'images et notre imagination. Donc c'est une démarche très empirique. J'arrive, aujourd'hui, à mieux avancer sur des choses plus objectives, grâce notamment aux Grands Ateliers.

Pour le projet de musée de Cristal Saint-Louis, on a pu construire un prototype d'un morceau du musée. C'est une ossature en bois, comme une grande étagère pour présenter des objets en cristal. Nous avons beaucoup travaillé sur le rapport entre l'architecture et l'objet de cristal extrêmement fin, transparent, très pur, qui évoque la perfection et l'immense savoir-faire des métiers de la cristallerie, sur le contraste d'échelle entre l'un et l'autre.



Vue intérieure du musée du cristal St Louis en polycarbonate .
Lipsky-Rollet, architectes. Document fourni par l'architecte

Nous nous sommes demandés jusqu'à quel point l'architecture devait être détaillée par rapport à ces objets qui, eux, le sont extrêmement. Notamment par rapport au projet de présentation de Baccarat fait par Stark qui lui a travaillé en imitation du cristal avec du miroir biseauté, et assemblé.

Pour le musée de Baccarat ?

Non ; pour le show room à Paris. Il a fait des vitrines extrêmement travaillées, pour mettre en scène du cristal. C'est une espèce de redondance. Nous avons préféré partir dans la direction opposée. En effet, quand dans une vitrine, deux miroirs ne sont pas parfaitement assemblés, on ne voit que cela. Et cette approximation, juxtaposée à un objet de facture parfaite, amplifie l'imperfection de l'architecture. Nous avons donc opté pour l'inverse, avec quelque chose de frustré. Cela sera une construction en bois massif, brut de scierie, sans détail. À la limite, on pourrait travailler avec des systèmes japonais qui ne laisse rien deviner des modes d'assemblage. Cela serait parfait, mais c'est trop complexe.

On n'a pas le savoir-faire ?

On n'a pas le savoir-faire en France pour faire ça. Mais c'était l'idée de travailler avec des découpes numériques sur le bois qui permettent d'effacer les ajustages pour ne voir que les objets en cristal. Mais cette idée, même séduisante, devait être testée en vraie grandeur pour convaincre le staff d'Hermès. Ils sont très proches de la matière, des matériaux, que ce soit du crocodile, du poulain, du tissu, de la soie. Ils ont le réflexe prototype, expérimentation. On a donc construit aux Grands Ateliers un morceau de l'étagère pour pouvoir faire la démonstration.

C'est une étagère enveloppe ?

C'est une étagère qui se retourne sur elle-même avec des rampes qui en font le tour. Il y a une enveloppe en polycarbonate tout autour. C'est à l'intérieur d'une grande halle de production. L'ouvrage est structurel et fait à peu près 20 mètres par 5, sur trois étages. À côté, il y a un four à huit pots où les verriers continuent à souffler du cristal. Le musée est comme une nouvelle machine, mais elle va traiter non pas du verre, mais...

... de l'information ?

De l'information, de la culture, de la scénographie, de la muséographie et des visiteurs, alors qu'à côté, ils fabriquent des verres.

Pour moi, cette expérience représente un pas en avant par rapport à notre méthode de travail sur l'utilisation de l'expérimentation. Cela permet de réaliser ce qui se fait sur tous les

grands projets où les architectes ont les moyens de construire un morceau de la façade, un morceau du bâtiment pour montrer à quoi cela va ressembler et valider les échantillons, les couleurs et les matériaux.

En dehors de la validation par le maître d'ouvrage, est-ce que cela a été un instrument de conception ?

Énorme. C'est un instrument de conception d'exécution. Tout d'un coup, tous les détails apparaissent comme si on était l'entreprise. On voit où passe le câble électrique, où se fixent les chevilles, ce que sont les sections exactes des bois, le rendu final. Est-ce qu'on met une lasure ou pas. Et pour les angles de poteaux ; seront-ils adoucis ou au contraire , est-ce qu'on les laisse francs ? C'est un véritable outil de conception.



Construction du prototype du musée du cristal St Louis.
Lipsky-Rollet, architectes. Document fourni par l'architecte

Du coup, on a fait tout un travail de modélisation à partir du prototype, qui est redescendu vers le projet, et l'a modifié. Ce qui fait que nous avons remis aux entreprises un projet presque exécutable.

Est-ce que le prototype a été fait avec l'entreprise ?

C'est nous qui l'avons fait.

Vous vous êtes transformés en menuisiers.

J'adore faire ça. J'étais charpentier avant d'étudier l'architecture. C'était pour moi un retour aux sources.

On a fait cela l'été dernier. Ce sont des choses qui sont très difficiles à faire faire. Parce que l'entreprise suffisamment polyvalente pour faire un prototype demande des prix tellement énormes que cela revient à faire faire un morceau d'exécution. De plus, réaliser un prototype pour pouvoir le modifier, le tester, c'est pratiquement impossible à faire faire à une entreprise. Ce qu'elles savent faire, c'est un échantillon grandeur nature, qu'on appelle prototype pour validation, mais juste avant l'exécution. Ce que j'appellerai vraiment un prototype comme dans l'industrie automobile ou dans le design, c'est la version alpha mais pas encore la finale. D'ailleurs entre le prototype que nous avons emporté à Saint Louis pour le présenter aux personnes impliquées dans le projet, et la réalisation finale, il y aura encore des différences. Le système d'assemblage aura évolué, les sections se seront un peu affinées.

Est-ce que pour les mises au point que tu fais actuellement à Saint-Louis avec l'entreprise, on refait un prototype ?

Non. Notre prototype nous sert de système de référence. Il est là. Cela permet de vérifier avec l'entreprise, sur place. Pour les plans d'exécution, c'est précieux. Nous n'avons pas la mission d'exécution. On est quand même dans un système français ! On a fait toutes les études détaillées jusqu'à faire un prototype. Les détails sont dimensionnés, réalisés au niveau architectural, mais nous ne sommes pas payés pour faire les études d'exécution, donc les entreprises les refont.

Avez-vous déjà travaillé sur la matière même ?

Constituer nous-mêmes la matière ? Non. La seule fois c'était avec de la terre. Mais pour les matières industrialisées, c'est difficile. De plus, je ne crois pas que ce soit notre champ d'application en tant qu'architectes. On peut rêver de matières, de matériaux et les demander aux spécialistes qui les mettraient au point. Mais je situe plutôt notre travail sur les notions d'assemblage, sur la manière de combiner les choses entre elles, avec une palette extrêmement large. Si on demande à des architectes aujourd'hui de dessiner le matériau idéal, on aura beaucoup de réponses semblables. Quelque chose qui puisse être à la fois transparent et opaque, ou bien isolant et léger, ou bien facile à poser en masse homogène, comme en barres ... La polyvalence totale, quoi. Mais ce matériau-là n'existe pas. On est obligé de composer avec plusieurs matériaux.

Mais dans l'évolution de la constitution de la matière et des recherches qu'on fait sur les matériaux, on aboutit à presque constituer le matériau à la demande en

fonction du projet... Un projet, un matériau. En design, cela se pratique, avec les polymères notamment.

Cette méthode de design de matériau pour le projet existe un peu avec les nouveaux bétons. On l'a aussi avec les aciers, mais cela nous échappe. Les chimistes des aciéries travaillent en permanence à mettre au point de nouveaux alliages pour des performances particulières. Mais pour l'architecte, cela ne change pas grand-chose. C'est toujours une barre, plus ou moins épaisse. C'est toujours une pâte qu'on coule. Ces performances particulières sont signifiantes aux extrêmes, comme pour un ouvrage d'art ou un grand bâtiment. Mais pour le bâtiment tout venant, de l'ordre de 1000 euros le m², le tour de force technique est inutile. Ce n'est pas le sujet. En revanche, il y a un très gros travail à réaliser sur les ambiances .

Notre problématique est de mettre les choses ensemble, d'assembler. Oui on fait varier des épaisseurs, c'est vrai. Mais cela n'a pas un impact aussi énorme que sur un petit objet qui sera fabriqué en série, comme une brosse à dents, pour lequel on étudie un plastique pour le manche dont la couleur pourra être translucide. Cela n'a pas un impact aussi fort parce que les archétypes sont très basiques : des plaques, des murs, des poteaux. Là où je vois le plus de transformations possibles, c'est sur les transparences, sur les matériaux d'enveloppe, et sur la notion de peau. Imaginons un matériau à la fois transparent, isolant, respirant, qui peut s'opacifier à la demande en fonction du soleil par exemple, qui soit souple, qui ne casse pas, résistant au vent... ; oui, celui-là aurait un impact très fort. Ensuite il y a une autre donnée qui fait qu'en architecture, la recherche sur les matériaux eux-mêmes a un impact plus limité, c'est la question de l'échelle. Les recherches sur la matière, valables pour des objets comme des vêtements ou des voitures, ne sont plus pertinentes pour des objets de 10 000 m² ou 30 000 m³ où la logique d'assemblage prévaut.

Mais le fait qu'on puisse cumuler au sein d'un même matériau des propriétés qui étaient contradictoires jusqu'alors, comme la résistance mécanique et la finesse par exemple, permet quand même des résultats nouveaux dans le bâtiment.

Oui ; mais toujours aux extrêmes. En ce qui concerne l'architecture pour le plus grand nombre, il y a peu de conséquences. Il faut que les coûts s'abaissent au prix d'une brique ! Or, à mon avis, on n'y est pas. Je ne pense pas qu'on pourrait tout d'un coup fabriquer des maisons en usine avec des matériaux polymères d'après un modèle 3D. Pour quelques cas d'exception, peut-être. On ne peut pas gommer complètement les conditions d'apparition de l'architecture qui sont humaines et basiques, c'est-à-dire habiter, se protéger à des coûts qui ne sont même pas comparables avec ceux d'une voiture. En architecture, nous sommes dans une économie du moyen âge, de la survie, du fondamental. C'est bien différent de la

sophistication d'un ordinateur de la dernière génération. Même si au cinéma, on veut nous faire croire, et on veut y croire tous, qu'on vivra un jour dans l'équivalent d'un ordinateur . Je crois qu'on se trompe complètement. Je pense que cela appelle des choses très différentes dans notre culture.

Mais justement ; ces grands enjeux contemporains qui sont, le développement durable, la construction pour le plus grand nombre... On s'en empare avec ce que nous donne la science et les technologies d'aujourd'hui. On a d'autres moyens, qui ne sont plus les moyens basiques et médiévaux pour y répondre.

Si on prend comme angle d'attaque le plus grand nombre et qu'on regarde ce qui a vraiment changé depuis 50 ans, c'est tout le second œuvre. On peut faire sa plomberie tout seul, les finitions tout seul. On peut entièrement bricoler son intérieur. Il y a tous les produits ; l'hyper choix, il est là. En revanche, dans tout le domaine de la structure, rien n'a changé. Cela s'est plutôt appauvri. Et les grandes découvertes scientifiques ou les avancées technologiques ne sont pas descendues là. La construction pour le plus grand nombre n'a jamais été aussi pauvre. Une maison en briques du XIXe siècle sur catalogue avec des lambrequins, des avancées de toits, était d'un raffinement absolu et elle dure. Je ne sais pas dans quel état seront les maisons témoins Bouygues and Co dans la même durée ; enfin si je sais : elles seront démolies !

Il est vrai que les avancées technologiques sur les polymères, avec les colles notamment, ont fait un bond en avant fantastique. Ensuite, il y a aussi des progrès dans le domaine du confort, la protection solaire, le contrôle de la température, la qualité de la lumière électrique. En acoustique, c'est plus timide.

A votre avis, comment la recherche pourrait-elle être améliorée ?

J'ai beaucoup d'espoir du côté des laboratoires de recherche , qu'ils soient à l'université ou dans les Écoles. Il y a de la matière grise et du temps, mais pas de moyens ou très peu. Il faudrait qu'ils puissent se grouper avec des industriels. Un lieu comme les Grands Ateliers a vocation à cela. Mais ces démarches ne s'installeront que lentement car les esprits sont assez segmentés. Les recherches sur la « matière-matériaux » sont faites par les fabricants qui sont assez équipés, que ce soit dans le bois, l'acier ou le béton. Ils ont leurs laboratoires. Pour les systèmes constructifs, il y a le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) qui peut tester des assemblages d'éléments.

Et soumettre leurs comportements aux diverses sollicitations.

Au feu, à l'hygrométrie, des choses comme ça ; le vent, le chaud, le froid, les rayons ultraviolets, etc. Mais ce qu'il n'y a pas, et ce que les architectes n'ont pas l'habitude de faire, c'est le test d'assemblage multi-matériaux dans l'espace. Pour moi, la vraie expérimentation en architecture est là. Ce n'est pas une expérimentation sur les matières et sur les matériaux sauf certaines, comme les grains, qu'on peut travailler directement sans passer par un processus industriel. Ce n'est pas sur les systèmes constructifs eux-mêmes, quoique quelquefois on en invente quelques-uns, mais c'est plutôt de l'ordre de la construction elle-même. Comment on met tous les éléments ensemble pour en faire un lieu ? Et dans ce type d'expérimentation, on s'adresse à tout le monde. Au spécialiste de la matière on demande si le matériau souhaité à cet endroit peut vraiment être mis en œuvre de cette façon. En ce qui concerne le système constructif, on se demande si les efforts sont bien repris dans cette conformation d'espace-là, avec telle portée, telle épaisseur.

Toutes les études de matières ou de systèmes constructifs sont assez génériques alors qu'en architecture, on ne fait que du spécifique. On est toujours confronté à ce problème-là. Il y a une certaine échelle, une certaine taille, une concrétisation, une incarnation à un moment donné, à un endroit donné pour une situation donnée ; et là, il faut tester. Mais on n'a pas l'habitude de le faire ; c'est le chantier qui fait office de prototype et on voit en faisant. Et les imperfections du premier essai restent car c'est le dernier.

En architecture, on n'amortit pas sur une série ou très rarement ; ou alors sur des modèles, mais on se rend compte que c'est assez pauvre au bout du compte.

Sans aller vers une production massive en série, les outils d'aujourd'hui, pilotés par des commandes numériques, permettent d'introduire des variations, des nuances.

Oui ; qui sont très douces. On est dans une économie pauvre dans le Bâtiment. On ne peut jamais arriver à mobiliser les sommes nécessaires pour basculer dans ce type de production, non-standard, adaptée, avec des outils très souples pour fabriquer des objets spécifiques, comme des objets de design, ou technologiques comme des avions ou des voitures. On ne saura jamais faire. On a du mal à l'accepter parce qu'on est encore fascinés par le modèle industriel et toute sa symbolique. Il nous a fait sortir de l'âge obscur, passer par la science, arriver au progrès technologique, aller dans la lune, se déplacer à toute vitesse entre Paris et Marseille. C'est enthousiasmant mais dans l'architecture, on n'est pas dans cet ordre-là. C'est ce que j'essaie d'articuler et de formuler aujourd'hui ; cela a des conséquences extrêmement fortes sur notre manière d'envisager l'architecture.. L'exposition de Beaubourg « architectures non-standard » nous a montré des choses fascinantes mais c'est une énorme erreur théorique sur la nature de l'architecture. C'est une belle chimère.

Cela n'empêche qu'il y a des modes de conception, comme ce qu'a fait Gerhy à Bilbao, qui travaillent avec des générations de surfaces. Cela peut produire certaines architectures, une certaine forme.

Une certaine forme ; une certaine conception aussi.

Oui ; en même temps ce qui est fascinant dans le travail de Gerhy c'est la forme que cela produit et le processus de conception. Cela paraît très raffiné, mais ce n'est rien d'autre que de la construction navale appliquée à un bâtiment. C'est de la grosse charpente. Les charpentiers métalliques savent faire. C'est la forme qui est complexe mais technologiquement, c'est très basique.

Et comment envisager le développement de ce qui s'amorce aux Grands Ateliers.

Je pense que cela peut se faire à partir d'opérations réelles, capables de drainer des financements compatibles avec l'expérimentation. Il faudrait des opérations un peu manifestes pour mobiliser à la fois les laboratoires des écoles, des étudiants, des enseignants, peut-être des industriels . Ce n'est pas sûr car ces expérimentations sont peut-être trop basiques pour eux. Je pense plutôt à des gens de la promotion qui se posent des questions sur la production du logement par exemple, comme Prouvé l'avait fait pour l'Abbé Pierre. L'expérimentation en architecture est dans des voies très proches de ce que réalisait Prouvé, des choses extrêmement inventives dans la manière de faire avec de la tôle. Constructivement, il n'y a rien de non-standard. Ce qui est novateur c'est l'assemblage. La manière de plier, la manière d'assembler, de penser l'assemblage global.

On fait travailler la matière différemment quand même : tôle mince, pliée.

Oui, mais ce sont toujours des poutres. C'est vrai qu'il a aussi travaillé sur les coques et sur les enveloppes. Mais en même temps les problèmes de coques sont connus depuis bien longtemps. L'originalité venait de ce qu'il expérimentait dans son atelier et des résultats directs qu'il obtenait entre la conception et l'objet fabriqué. Ce que j'aime chez Prouvé, c'est qu'il y a la notion de grande quantité. Il a le rêve de l'industrialisation aussi. Certains des dispositifs qu'il a inventés sont tellement basiques qu'on peut imaginer qu'ils se diffusent assez facilement. Alors que l'expérimentation chez Piano par exemple, est plutôt élitiste, disons pour le moins plus aristocratique. Chaque fois c'est une expérimentation du RPBW pour faire un superbe objet. Ce n'est pas du design destiné à être industrialisé pour être banalisé. C'est de l'artisanat d'art et c'est admirable.

Mais cela va parfois dans le catalogue de l'industriel, comme le parement de terre cuite.

Oui c'est vrai qu'il y a la terre cuite.

On pourrait aussi trouver des exemples qui débouchent sur l'utilisation de matériaux terre-paille ou des systèmes d'enduits. En Allemagne, tout ce qui a été fait sur la terre se développe beaucoup. On trouve des produits en sacs prêts à l'emploi pour faire des enduits en terre ou des tadelaks avec des structures ou des fibres intégrées. On trouve aussi des panneaux en roseaux et terre pour faire de l'isolation dans les maisons écologiques. Ce sont des produits industriels.

Cerner ce qu'est vraiment l'expérimentation en architecture est une question très difficile. Je trouve que la piste la plus cohérente, est celle qu'a tracée Prouvé. En évitant peut-être son écueil qui consistait à l'appliquer à des systèmes constructifs qu'on puisse mettre partout, ayant pour corollaire des dispositifs répétitifs. Il s'agit plutôt de faire un projet. Simultanément, on le teste, on le modifie, on trouve de nouvelles idées qui enrichissent la façon de projeter. Mais à chaque fois, c'est pour un projet différent.

**Emmanuel Combarel et Dominique Marrec :
l'exemple d'une enveloppe en béton Ductal®**



Façade du dépôt RATP à Thiais. Combarel et Marrec, architectes. Photo N.Hoyet

Entretien avec Emmanuel Combarel

et Dominique Marrec (associés)

lundi 20 février 2006

17h45 à 19h15

Comment envisagez-vous l'intervention du matériau dans le projet d'architecture, de l'esquisse au DCE ?

Comment le matériau est-il porteur de création, ou de concept ? Comment la matérialité fait-elle le projet; à quel stade cela intervient-il ?

Un projet représente une telle somme de paramètres à prendre en compte que nous comptons sur la part d'intuition qui viendra alléger le cours des décisions. De plus, les outils de représentation actuels ont supprimé la hiérarchisation dans les dessins. Avec l'outil informatique une échelle donnée n'a plus de signification. On dessine 3cm, cela signifie 3cm. On travaille sur l'échelle 1. De ce fait, le détail peut être très structurant dès le début du projet. Cela peut être de la matière, rien que de la matière. Mais l'idée peut émerger d'un tout autre domaine comme celui qui consiste à se déjouer d'une contrainte réglementaire.

La matière a ses limites qui viennent cadrer des principes possibles. Nous en connaissons certaines par expérience. Nous essayons d'envisager ce qu'il est possible de faire ou pas. Nos projets se travaillent beaucoup à partir de la peau, de l'enveloppe ; d'un habillage souple et continu qui peut s'adapter à toutes formes d'exigences. Cela représente des inquiétudes. Nous faisons des recherches sur ce que pourrait être cette peau et comment elle pourrait répondre aux contingences techniques et physiques, de comportement. Il faut en garantir la pérennité. Les plus gros problèmes pour l'enveloppe sont dans la dilatation du ou des matériaux. On doit redécouper pour que l'ouvrage ne soit pas rigide. C'est la contrainte essentielle. Nos recherches se heurtent aux limites physiques. Ensuite, il y a tout le rôle de la mise en œuvre. Il faut pouvoir déplacer, manipuler, attacher les éléments. La question est de parvenir à s'affranchir de ces limites. Nous faisons actuellement des recherches sur des résines, sur des matières souples pour obtenir des parois plus évolutives.

Dès qu'on sort des registres connus, c'est le parcours du combattant. Outre l'énergie demandée, c'est aussi plus de temps. Cela commence par des interrogations sur la pérennité, sur l'entretien, le remplacement..., interrogations posées par le maître d'ouvrage et par nous-mêmes. Ce sont des questions légitimes. Ensuite, il y a les interrogations des architectes des Bâtiments de France, généralement dubitatifs. Enfin, tous ces matériaux doivent répondre à des paramètres très définis qui sont contrôlés par des bureaux de contrôle. On passe là chez le dernier censeur qui généralement ne part jamais à l'aventure.

Les bureaux de contrôle sont en fait des organismes mandatés par les assurances. Cette étape est assez compliquée. Le plus compliqué étant la sécurité incendie, et le classement au feu. C'est très coûteux de faire faire un avis technique sur un matériau. On peut faire une procédure d'ATEX pour des mises en œuvre un peu particulières. Actuellement on travaille sur plusieurs ATEX pour des bardages en béton à hautes performances. C'est plus simple que l'avis technique, qui en réalité, ne peut se faire qu'avec un industriel qui trouve un débouché suffisamment important dans la démarche pour qu'il ait envie d'investir. Cela représente environ 15000 euros et quelques mois de travail. L'avis technique lui permettra de diffuser son produit sur le marché. Dès que le projet s'inscrit dans un marché est un peu structuré, avec un bureau de contrôle, il est impossible de mettre en œuvre des matériaux qui n'ont pas d'avis technique. C'est vraiment là que se trouve le frein très net à toute innovation dans la mise en œuvre des matériaux.

Mais l'ATEX permet aussi d'expérimenter, et de sortir des chemins connus.

Oui. Face à cette situation, nous avons une réponse que nous utilisons le plus souvent. Cela consiste à aller voir ce qui se passe à côté, dans le monde du vêtement, de l'automobile par exemple. Dans des domaines d'activités connexes où il y a des mises en œuvre de matériaux intéressantes. Actuellement on travaille avec des peintures qui diffractent la lumière. Ce sont des peintures utilisées au départ par des gens qui faisaient du tuning automobile, qui s'amusaient à peindre leur voiture avec des peintures diffractantes, irisées.

Ce sont aussi des laquages ?

On pourrait aussi travailler avec des laquages. Ce cas de figure se présente quand on a la chance de pouvoir travailler en atelier et de poser sur le chantier des produits finis. Cela fait référence à une autre composante, celle du chantier. Il y a deux sortes de travaux. Ceux qui sont faits en atelier, comme par exemple le laquage. Mais une tôle laquée est livrée avec une protection. Elle doit être mise en œuvre avec des gants, parfaitement à la côte, et elle ne doit pas être détériorée pendant la durée du chantier. L'autre solution, c'est de faire de la peinture sur chantier. La qualité en est moins bonne, mais c'est plus simple à mettre en œuvre. La méthode de pose et les modes d'intervention conditionnent la qualité de ce qui est mis en œuvre. Entre une peinture laquée cuite au four, analogue à une carrosserie automobile et une pulvérisation, très bien faite sur un chantier, ce ne sont pas les mêmes qualités de mises en œuvre.

Vous travaillez presque dans la formulation de la matière à l'agence.

Parfois on a des intentions et on essaie de trouver le meilleur moyen pour répondre à ces intentions. On travaille actuellement sur une procédure d'ATEX avec Lafarge.

C'est du Ductal® ?

Oui on est en train de faire un bâtiment à Thiais pour un terminal de bus. C'est une coque en béton, réalisée dans des moules injectés. La particularité c'est que le Ductal® sera utilisé pour la première fois pour faire une façade étanche. Ce n'est pas du parement. Ce sont des complexes d'étanchéité qui suggèrent des contraintes techniques très différentes de celles d'un habillage. On doit créer tous les raccords, y compris avec les profilés de menuiserie. Ce sont des moules assez compliqués qui font l'objet d'une procédure d'ATEX en cours actuellement. L'avantage, c'est que ce matériau commence à être connu. On ne part pas complètement à l'aventure. Nous travaillons avec un groupe industriel intéressé. Lafarge est demandeur de nouvelles utilisations du matériau. Betsinor fait les moules. Ils sont très performants, un peu les stars de la préfabrication, avec les avantages et les inconvénients.

Dans ce cas-là, comment s'est constituée l'équipe ?

On est sur un grand parking qui doit faire deux hectares, tout en béton. Comme il n'y avait rien à quoi se rattacher, nous avons proposé de construire le bâtiment comme une déformation de cette plaque que constitue le parking. C'est un peu comme si on venait glisser un élément dessous en créant une excroissance. Nous voulions avoir une continuité du matériau. Le matériau passe du sol et continue sur la façade sans transition.



Dépôt pour la RATP à Thiais. Continuité entre sol du parking et façade
Combarel et Marrec, architectes. (Photo N.Hoyet - mars 2007)

On a commencé à examiner la question du moule. Si on adoptait des moules fins, il fallait assurer une certaine dureté, pérennité, pour que les bus puissent rouler dessus. On avait plusieurs solutions et l'une était en béton Hautes Performances. Cela intéressait Lafarge. On a commencé à travailler en partenariat avec eux, ce qui n'a pas toujours été simple, mais

finalement ils nous ont suivis sur l'opération. On a fait un appel d'offres, avec deux variantes. Et on a réussi à passer en Ductal®. On est actuellement au démarrage du chantier.

C'est la finesse qui a imposé le Béton Hautes Performances ?

Oui. La finesse et la pérennité. On est aussi dans une mise en œuvre beaucoup plus fine que dans le béton traditionnel. On a un meilleur contrôle sur la qualité.

Le béton que vous envisagez est assez sombre. Vous allez travailler sur la formulation ?

On va essayer. Oui, c'est assez sombre. On le voulait un peu noir. Pour la question de la couleur, Lafarge nous donne des informations qui ne correspondent pas toujours à la faisabilité du chantier. Au début, il semblait qu'on pouvait obtenir n'importe quelle couleur. Ils nous ont apporté un rouge Ferrari, comme la carrosserie automobile. Dans la réalité, une fois qu'on entre dans le détail, on s'aperçoit que c'est complètement irréalisable en production semi-industrielle ou même artisanale. Ce qu'ils savent faire sur un échantillon de 10 cm² n'est pas transposable à cette échelle-là. On a eu beaucoup de mal à entrer dans le concept du matériau. Maintenant, on regarde avec eux comment il est possible d'obtenir une teinte plus foncée sans dérive financière. Je pense qu'on va y arriver, parce qu'ils veulent faire un beau bâtiment et chacun va faire des efforts mais ce n'est pas simple. Au départ, c'était une satisfaction de pouvoir réaliser en Ductal®. Maintenant il nous faut améliorer les possibilités. Et la coloration a fait l'objet d'une discussion assez récente.

Les essais-erreurs pour arriver à la formulation juste se passent chez Betsinor ? Le laboratoire prototypique est chez eux ?

Oui. Cela dit, c'est Lafarge qui produit directement la poudre avec l'adjuvant qu'il faut pour colorer. Le problème, c'est d'obtenir une pigmentation constante. Le mélange est un peu empirique. Il suffit de très peu de poudre en plus ou en moins pour faire varier la couleur. Ils ont très peur de ne pas pouvoir garantir une bonne homogénéité sur l'ensemble de la production, entre un moule fait un jour, le lendemain, etc... L'idée, c'est de mettre l'adjuvant dans le produit même. Voilà ce qui se discute actuellement sur la coloration. Ce qu'on souhaiterait c'est une couleur très sombre, un peu comme un sous-marin russe. Un gris anthracite très mat. Cela dépend du fond de moule. On en discute.

Je suppose qu'il va y avoir pas mal d'essais ; que vous allez voir.

Oui ; il y aura un prototype. Beaucoup de choses seront faites en image de synthèse pour l'instant. Tous les moules sont dessinés en 3D. Les moules sont en courbe et contre-courbe, avec des raccords spéciaux. Tout cela est modélisé et on attend avec impatience de voir le premier échantillon qui va sortir.

On réutilise le Ductal® sur le petit musée qu'on est en train de réhabiliter. C'est un hôtel particulier. Il y a l'étage noble, surélevé d'1m40 par rapport au sol. On a proposé à la ville de faire la même entrée pour tous les visiteurs, quel que soit son handicap éventuel. Cela leur a plu. L'idée est de ne pas faire de prothèse comme un monte-handicapés par exemple, mais d'avoir un jeu de rampe qui permette à tout le monde de passer par la même circulation. On a proposé une espèce de tapis volant qui est la continuité du parcours et on a proposé une rampe qui sort, qui fait environ 40 mètres de long et qui flotte au-dessus du jardin. On voulait vraiment que ce soit un tapis volant, donc extrêmement fin. On l'a fait calculer par Lafarge en Ductal®. On n'est peut-être pas encore dans le prix mais il y a des chances pour que nous le réalisons avec ce matériau. Actuellement la rampe fait 4cm d'épaisseur, pour 1m50 de large. Il y a des appuis ponctuels intermédiaires, mais cela reste d'une très grande finesse. Le problème du béton, c'est qu'il doit protéger les aciers. Le métal doit être enrobé avec 5cm de chaque côté. Il y a donc une épaisseur technique minimum. Dans le Ductal®, ce sont des microfibrilles qui permettent de s'affranchir de cela.

Quatre cm, rapporté à quarante mètres de longueur ; c'est vraiment très fin.

Oui ; c'est bien l'idée du tapis volant. L'idée aussi, c'est que toute l'intervention soit monochrome. On remplace toutes les fenêtres par des fenêtres teintées, avec un film qui permet de gérer un certain nombre de problèmes, comme le traitement des UV, l'effraction, etc..., et nous souhaitons que la rampe extérieure soit du même coloris. On parlait tout à l'heure du problème de coloration avec le Ductal®. Pour l'instant, on n'a pas exactement ce qu'on souhaite mais on va essayer de trouver. On a plusieurs paramètres contradictoires à gérer. L'Architecte des Bâtiments de France ne veut absolument pas de couleur ; la Ville est très favorable à la couleur. On a des problèmes de disposition des œuvres pour que la couleur ne vienne pas interférer avec leur lecture, et de plus la technique du Ductal® ne nous permet pas actuellement d'avoir la couleur souhaitée.

Vous êtes allés auprès de Lafarge et c'est eux qui ont calculé la rampe ; les appuis ?

Ils ont un ingénieur extraordinaire ; il est génial.

(Dominique Marrec entre dans la salle de réunion avec des plans de détail.)

Ce qui est étonnant à Thiais, c'est que tout le bâtiment est précisément dessiné sur ce petit rond. Tout est calé en fonction d'un petit rond qui fait 20 mm. On a une trame de 36mm : 12 de joint et 20 + 2 + 2.

Emmanuel :

C'était d'autant plus complexe qu'on a des coins singuliers qui sont à double courbure. On a ici des arrondis dans les deux sens sur un même moule. On a des problèmes de calepinage des points qui est hyper compliqué. Tout cela semble résolu ; c'est Dominique qui s'en occupe.

Le calepinage est réalisé sur deux hectares ?

On ne reprend que le sol autour du bâtiment, tous les trottoirs. Au départ il y a le bâtiment : c'est le parking qui se déforme. Pour les abris vélos, c'est pareil. Comme si le béton était une moquette (il montre un mouvement en poussant) et qu'il commençait à onduler.

Ensuite, il y a une grande vague qui vient protéger ; comme si le béton était une carpe qui on a plissée. Transformer cette étendue de béton en une espèce de peau avec laquelle on joue. C'est un hommage à un groupe d'architectes qu'on aime bien. SITE. Une réflexion aussi sur la nature du sol. Comment venir inscrire notre intervention dans la continuité d'un existant.

C'est parti ! cela va être drôle.

Et le mur porteur est réalisé comment ?

C'est un béton banché traditionnel. Après on a du verre.

Au début, on devait avoir une forme assez énigmatique avec les prises de jour par des entailles. Les verres sont colorés. L'idée était de mettre en scène. On est en fait dans une zone industrielle assez pauvre. Il y a tous ces bâtiments des années 70-80 avec des verres colorés dans tous les sens. L'idée consiste à reprendre ces verres colorés et à les travailler en ultra-réfléchissants. C'est du verre coloré avec une argenture : des petits pixels en miroir qui font que tout cela se réfléchit à l'infini, couleur contre couleur : les vitrages sont en vis-à-vis. Quand c'est jaune, tous les bureaux sont jaunes ; quand c'est bleu, tous les bureaux sont bleus. C'est un travail sur la couleur intérieure, en verre coloré, assez classique ; si ce n'est que le verre est un peu sophistiqué.

Quand vous vous lancez dans des aventures monochromatiques comme cela ; vous faites des tests ?

Non. On y va par conviction. Cela marche assez bien. On n'est pas trop inquiets. Au début, on se demandait un peu comment cela allait être vécu. On se disait que c'était de belles lunettes de soleil !

On vient de livrer un petit commissariat de police de quartier. A la place de la façade on a fait un grand drapeau français. Les bureaux sont derrière un drapeau qui doit faire 12 mètres de long par 3 mètres de haut ; et on est, soit derrière le bleu, soit derrière le blanc, soit derrière le rouge. Les policiers étaient un peu inquiets au départ. Et finalement, cela marche assez bien. Du fait de l'éclairage intérieur, la lumière est de bonne qualité. Ils ne sont pas dans une ambiance bleue ou rouge... Ils sont très contents. C'est un commissariat, un chantier assez modeste. Dès qu'on caractérise, on prend des options. Le contraire serait de banaliser et de ne pas prendre d'options. Après, il faut trouver le juste milieu.

Avec la RATP, c'était un peu compliqué, parce qu'ils voulaient un bâtiment qu'ils avaient du mal à décrire. Ils voulaient un bâtiment de bureaux, mais en réalité c'est plus proche d'une tour de contrôle. Les 300 bus passent par ce bâtiment. Il y a une rue au milieu. Les chauffeurs arrivent par un côté.

En bus ?

Non à pied. Ils prennent leur ordre de mission ; ils attendent ; ils sont en réserve au cas où il en manquerait un. Ils arrivent à partir de 4 heures du matin et pendant toute la journée, cela circule. Ils déposent leur arrêt de maladie, leur congé ; ils viennent se restaurer à midi ; prendre un café, discuter, faire leur pose, prendre leur feuille de route. C'est une fourmilière. Au départ, on travaillait sur un bâtiment de bureaux un peu bête. Et cela ne marchait pas. On a commencé à dessiner ce qu'ils nous demandaient en temps réel, en manipulant un peu parce qu'on savait ce qu'on voulait obtenir. Finalement, on est arrivé à ce plan carré. La difficulté, c'est qu'il fallait que toutes les fonctions soient imbriquées. Le plan n'est absolument pas réglé. Quand ils ont vu le plan, ils ont été très contents. Après on a fait notre nappé dessus. Et ils ont dit « ce n'est absolument pas ce qu'on veut ». Alors, on leur a fait un petit film. Ils ont vu le film ; on a parlé du film et on n'a plus jamais parlé du projet. Je schématise un peu. En fait, ils ont un directeur remarquable, qui veut le projet. On a un maître d'ouvrage qui suit le projet, ce qui fait que tout cela a pu se faire

Pour revenir aux techniques utilisées pour les verres colorés. Comment faites-vous pour atteindre le résultat souhaité ? Les miroirs pixélisés qui font appel à des techniques particulières ne sont pas forcément dans le catalogue.

Non ce n'est pas dans le catalogue mais ce sont des choses qui sont à peu près connues. Au départ, c'est simple, dans la réalité, c'est un peu plus compliqué.

C'est Saint-Gobain ou un transformateur qui produit cela ?

Il y a deux techniques utilisées. On a un verre feuilleté avec un film butyral coloré à l'intérieur, d'une part. D'autre part, il y a un verre avec de l'argenture. Comme les vitrages se font face, cela se réfléchit à l'infini. Cette technique permet de passer devant les planchers avec le même vitrage sur toute la hauteur ; cela évite les zones opaques habituelles. Les stores seront à la couleur des vitrages, bleus dans les pièces bleues, jaunes dans les pièces jaunes

Vous faites beaucoup de recherches sur la couleur.

Oui. Sur le doré notamment. Lyon-confluent sera doré ; un doré qui change de couleur en fonction de l'incidence des rayons lumineux.

Quel est le fabricant ?

A la base, on travaillait avec Merck qui fait les produits pour l'automobile. Au départ, ce n'est pas pour le bâtiment. Il fallait des applicateurs un peu malins qui s'amusaient avec. Le gars qui nous a fait cela à Argenteuil faisait de la pierre auparavant.

Dominique :

À l'origine, son père était un pierreur. On a consulté longtemps pour Argenteuil, avec des lasures notamment. Le problème, c'est que c'est très joli sur un échantillon comme cela (elle montre un petit carré sur la table) ; mais en grande surface c'est différent. La première passe de rouleau, tout va bien, on fait la deuxième et on voit la trace. Cela signifie qu'il faut impérativement passer ces peintures au pistolet, avec deux passes, trois passes. C'est comme cela qu'on arrive à des finis qui s'approchent de ceux de la carrosserie. On travaille beaucoup sur les méthodes de réalisation, avec des gens qui sont motivés pour chercher avec nous. Cela nous conduit à travailler beaucoup sur les plannings, les méthodologies de pose, de réalisation. À Thiais, c'est assez étonnant. C'est un chantier, à l'inverse de ce qui se fait souvent. On est en train de finir de mettre la peau en place, calée sur cette petite trame de 20x20. Une fois que cette peau sera mise en place, le gros œuvre va suivre. Dans dix jours on a prévu une réunion de synthèse qui va se passer ici, avec le bureau d'études du gros œuvre. En général, on ne fait jamais cela. Curieusement, bien qu'on ait commencé le chantier depuis deux mois, il ne se passe toujours rien parce que c'est cette peau qui conditionne tout ce qui va se faire en gros œuvre. Nous avons mis en oeuvre tous les détails pour pouvoir gérer ce fossé énorme qui existe entre les tolérances du béton qui sont de l'ordre du cm et les tolérances de l'enveloppe qui sont de l'ordre du mm. Le gros-œuvre

s'efface au profit de tout ce qui est parachèvement, finition, clos et couvert. C'est l'essentiel de notre travail de réflexion.

Vous allez mettre en place un joint de tolérance ?

Dominique :

Cela va être très faible

Emmanuel :

On en discute ; on le souhaite le plus fin possible mais il y a les limites du produit. Le problème du Ductal, c'est qu'il chauffe beaucoup au coulage, si bien qu'au séchage il a tendance à se rétracter. On aurait voulu un joint plus fin... on verra ce qu'on aura.. C'est encore en discussion...

Dominique :

Il y a un détail magnifique ici (elle montre le raccord entre la peau et l'étanchéité de couverture). L'intérêt du matériau c'est qu'il est étanche en soi. En terrasse, quand on se retourne, normalement, il y a une couverture qui vient recouvrir le bord. Là on vient mettre en place dans le panneau une petite feuillure qui permet de remonter ici un profilé, avec l'étanchéité qui passe dessous, ce qui fait qu'il n'y a plus aucune pièce complémentaire ; il y aura juste le panneau en Ductal® et la dalle sur plots. C'est assez simple, mais cela demande de la coordination. Et cela montre bien que tout le problème du bâtiment se joue dans les transitions. Comment passer d'un matériau à un autre. Ensuite, c'est une question de synthèse et de volonté pour fédérer les énergies qui permettront que cela puisse se faire. L'intelligence nécessaire est bien souvent en dehors de l'agence, dès l'instant qu'on a mis en place les conditions pour que cela soit possible.

Cette fédération d'énergies ?

C'est Dominique.

C'est au niveau du chantier que cela se passe ?

Non, c'est en amont. Au moment des pièces écrites aussi ; avec les détails. La stratégie qu'on met en place au départ. On fait des projets assez simples

Plus c'est simple, plus c'est redoutable pour l'exécution

Il faut bien concentrer les enjeux sur les points qui semblent singuliers. On le prépare bien en amont, mais c'est vraiment sur le chantier que cela se cristallise.

Comment arrivez-vous à tester au cours de toutes vos innovations, sur la matière notamment. Échantillons ? prototype ?

C'est compliqué. On a des échantillons, mais ce ne sont pas des prototypes et le chantier est un prototype en tant que tel. C'est très difficile d'avoir un budget pour réaliser des prototypes en amont. On peut faire des prototypes sur le chantier, mais en amont, on n'a pas réussi à le faire. On essaie de cadrer suffisamment la conception pour se donner les garanties de la réussite de l'opération. Quand on est un peu exigeant, on essaie de toujours avoir une solution de repli qui soit réellement satisfaisante.

Vous êtes vraiment innovants dans vos recherches.

Je ne sais pas si... enfin... On fait un peu de recherche mais en même temps, pratiquement 100% de ce qu'on utilise existe ; c'est juste un peu transformé...

Dans cet esprit, avez-vous un exemple de transfert de technologies, du stylisme par exemple ?

Dominique :

La découpe au laser.

Emmanuel :

On a fait un petit kiosque à bonbons. C'était un peu kitch... ce qui nous a valu les pires problèmes avec les Bâtiments de France. C'était un motif végétal ; une tôle découpée au laser. C'était en 1993. À l'époque c'était plutôt une technique automobile. L'habillage était constitué d'une tôle découpée au laser. On est toujours en train de regarder ce qui se passe ailleurs.

Est-ce plus dans des emprunts d'idées et d'images ?

Pas forcément. Cela peut être des glissements technologiques directs qui sont toujours un peu compliqués. Même pour les façades, on a des problèmes de tenue au feu, tenue aux UV. qui demandent pas mal de précautions.

Et lorsque vous réalisez cette adaptation, qui fait appel à des processus un peu lourds, vous disiez que vous ne pouviez le faire qu'avec un partenaire. Dans le cadre de l'agence, ce n'est pas possible ?

Non. Il y a deux problèmes. Il y a d'une part le produit en tant que tel ; cela c'est l'avis technique ; et il y a les problèmes de mise en œuvre, c'est l'ATEX.

Le Ductal® avait déjà ses avis techniques ; ses performances étaient connues. Mais si on utilise un matériau qui vient du jouet par exemple, c'est beaucoup plus compliqué. On travaille pas mal sur la mise en œuvre de la résine. Il y a beaucoup de choses encore à faire, mais on a toujours buté sur des problèmes qui nous ont empêché jusqu'à maintenant de les mettre en œuvre.

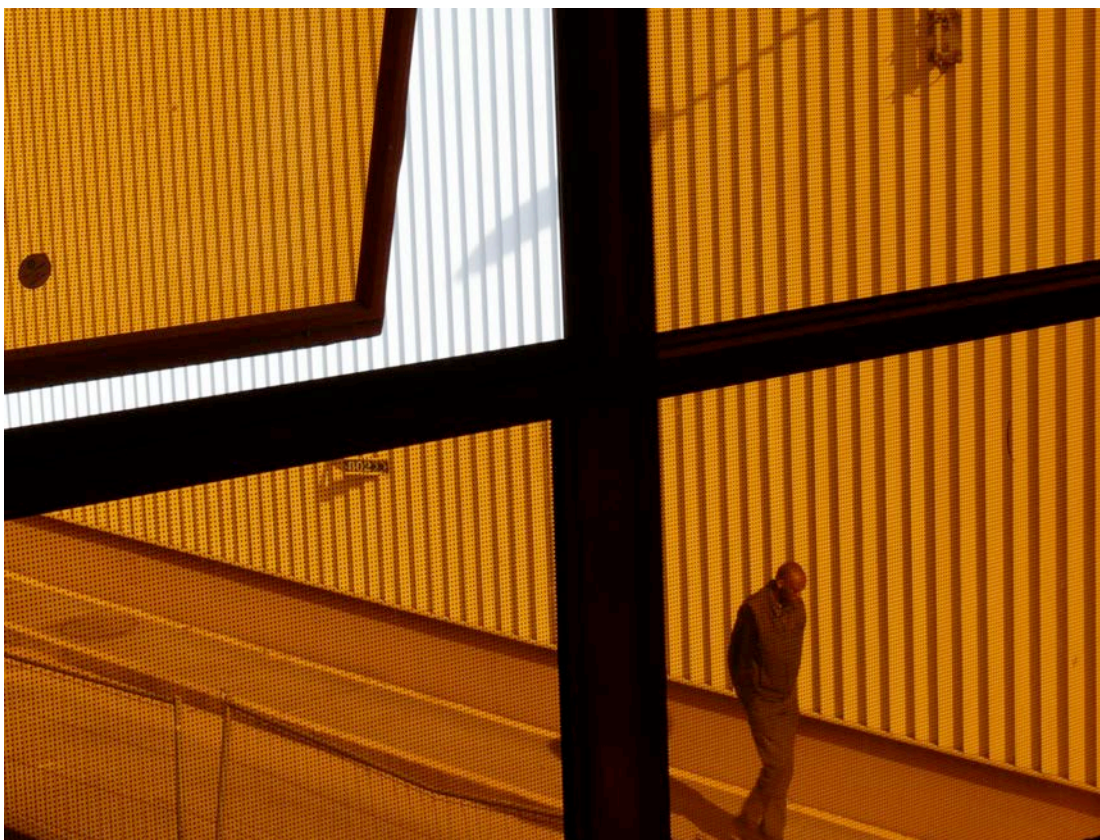
On l'explique ?

Quand on lance l'idée, on trouve toujours des gens soi-disant capables de la réaliser, et dans la réalité, c'est plus compliqué qu'initialement. C'est à la mise en oeuvre que les problèmes apparaissent.

Oui ; mais quand on regarde la question des polymères d'un peu plus près, on s'aperçoit que le matériau et la mise en oeuvre....

.... C'est la même chose.

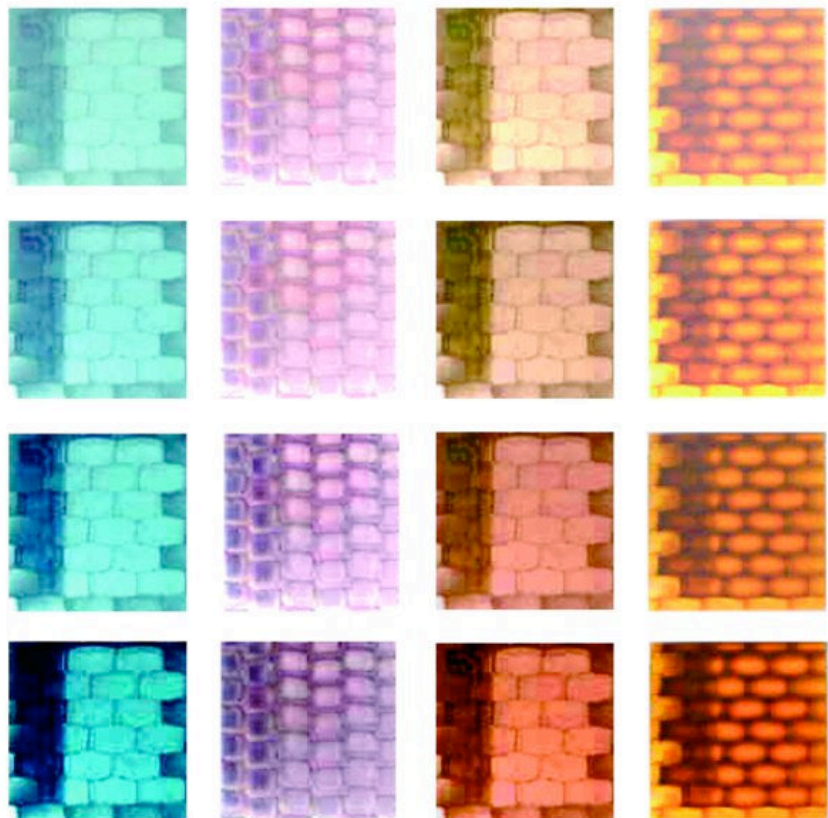
Pour la réhabilitation d'un vieux bâtiment, l'idée était de projeter une couche de polyuréthane de 3 à 4 mm qui vienne plastifier l'objet, qui soit assez souple. On avait le matériau, qui était compatible avec le support mais on n'a pas réussi à avoir une projection qui soit de la même qualité en partie verticale qu'en partie horizontale. Sur le principe, cela marchait et quand on a commencé les essais en partie verticale, lors de la projection, le matériau glisse et coule. Là, on atteint les limites. C'est réalisable, mais on n'a pas encore trouvé le moyen assez satisfaisant pour la mise en oeuvre. On va y arriver.



Fenêtre colorée du Terminal bus RATP à Thiais. Combarel et Marrec, architectes. Document communiqué par l'architecte.

Annexe N°9

Luc Boulais : concevoir avec les composites



Echantillons de panneaux composites en nid d'abeilles. Document Luc Boulais

Entretien avec Luc Boulais. Artificial Architecture.

11 septembre 2006.

De 16h30-18h

Une des hypothèses qui sous-tend la recherche pour laquelle nous avons cet entretien, est que l'élaboration des matériaux provient de la conception de l'objet à fabriquer, à partir des spécifications données par le projet, parce que la fabrication à la demande existe. Avec les polymères, cela est encore plus vrai. Ce sont peut-être ces matériaux qui confirment cette hypothèse, tout comme les bétons.

Aujourd'hui, la différence entre un béton ou un polymère est de plus en plus ténue. Dans les revêtements de sols par exemple, les ragréages ; on ne sait plus si c'est plus de l'époxy ou de la poudre de ciment. Ce matin, un e-mail de Vetrotex® (fabricant de renforcements du Groupe St-Gobain) me fournissait toute la liste des renforts en fibres de verre qu'il est possible d'ajouter aux bétons. A poids égal, ces fibres sont plus résistantes que l'acier. Elles ne rouillent pas. Cela supprime le risque de la couche externe trop mince. Elles sont perméables aux ondes. Finalement avec le béton, on remplace la résine, qu'elle soit polyester ou époxy par du ciment. Quand on met des adjuvants polymères dans le béton pour le modifier ou le renforcer comme le Ductal®, c'est la même démarche.

De ce fait, cela renforce encore l'idée de l'équation une matière = un projet.

Cela serait le rêve ! C'est encore un peu loin des réalités économiques.

Pourriez-vous évoquer au travers des deux pratiques de l'agence, comment se passent les projets, d'une part en tant que consultant en matériaux et d'autre part en tant qu'architecte. Pour commencer, on pourrait se demander qui ou quoi est à l'origine de la définition du matériau dans une intervention dans laquelle vous avez été consultant matériau. Quels sont les concepts généraux qui font que la recherche se met en route ?

Au départ, je pense que le problème est celui de la forme. Quand les architectes abordent la double courbure, ils prennent conscience qu'il faut chercher des réponses vers les bateaux ou les voitures, les avions. Se pose alors le problème du « comment fait on ? ». Comment on fait pour fabriquer et trouver la bonne matière qui va permettre de fabriquer ce que l'on veut faire. À partir de ce moment, j'interviens.

Quand l'architecte est face à une forme trop compliquée, inhabituelle ?

Oui. Dans tous les cas, c'est cette question qui a été à l'origine de ma prestation. Cela peut être à l'initiative de l'entreprise qui n'a pas le temps d'étudier la fabrication avec l'architecte avant l'appel d'offres. L'entreprise n'a pas de budget pour faire travailler des personnes avant l'appel d'offres. Pour la crèche Jean Jaurès, l'architecte avait conçu des coques en résine, suspendues à la façade.



Crèche Jean Jaurès : des cabanes suspendues aux façades. P.J.A.A., architectes.
Luc Boulais, conseillé sur la mise en œuvre des composites. (Document fourni par l'architecte).

Ils avaient commencé à définir quelque chose autour de cela, mais ils étaient incapables d'aller plus loin. Ils avaient gagné le concours avec ce projet de bulles suspendues aux balcons, comme des cabanes pour les enfants et avaient défini un budget très très faible, sans trop se rendre compte du coût réel. Quand le projet s'est précisé, avec sa forme complexe, ils ont réalisé que cela demandait un matériau complexe et de ce fait un peu de budget. A partir de là, ils ne savaient plus comment faire. Ils ont voulu enlever les cabanes. Mais la maîtrise d'ouvrage s'y est opposée. Ils m'ont demandé de les aider par l'intermédiaire de l'entreprise avec laquelle j'avais travaillé pour la crèche dont Marc Dilet était l'architecte.

Que fait cette entreprise ?

Essentiellement des composites. Je travaille beaucoup avec elle.

À partir de ce moment-là, nous avons réalisé un cahier des charges à partir de ce qu'ils souhaitaient. On a essayé de définir un mode de fabrication dans le budget qui était alloué à cet ouvrage. C'était une démarche très intéressante.

Le cahier des charges a été réalisé par l'entreprise ?

Non ; l'entreprise leur a dit qu'ils ne pouvaient pas les aider pour les études. Elle leur a simplement dit : « il faut appeler Luc Boulais et vous mettre d'accord avec lui ; nous répondrons à l'appel d'offres. » Ils ne se sont même pas rencontrés. C'est à l'appel d'offres que les architectes ont découvert l'entreprise.

Avant que je ne connaisse un ingénieur spécialisé dans les matériaux composites, je demandais conseil aux entreprises. Je faisais appel à leur savoir. Maintenant, je fais plutôt appel à l'ingénieur, bien que le dialogue avec le monde de l'entreprise soit indispensable pour passer de l'étape de conception au prototype. C'est une opération qui s'effectue avec leur façon de travailler la matière. Et même s'il n'est pas possible de réaliser un prototype, en discuter avec eux, c'est déjà de l'ordre du prototype. On est entre l'idée et le prototype. Ce lien très proche avec l'entreprise est important, ce qui pose beaucoup de problème avec les marchés d'appel d'offres. Elles s'investissent dans un projet et ne sont pas sûres d'avoir le marché.

Dans ce cas, on comprend qu'elles n'aillent pas jusqu'au prototype.

Non ; et c'est leur savoir. Et même sans prototype, nous passons quand même du temps quand je les consulte. En fait, il y a un vrai manque entre la conception et l'entreprise. Ce lien entre la conception et le savoir de mise en œuvre de l'entreprise représente des études qui ne sont pas prises en compte.

L'ingénieur ne peut pas les assurer ?

Que ce soit les architectes ou les ingénieurs, c'est la même chose. Je pense que l'interaction entre les deux constitue les conditions au développement d'un projet. Tout seul, on a notre savoir ; on a des idées, des formes qu'on développe simultanément avec l'ingénieur. Lors de la mise en œuvre, quand on passe dans la réalité concrète de fabrication de la matière, de la mise en œuvre de la matière, il s'agit du savoir de l'entreprise.

Et si on veut expérimenter, c'est-à-dire faire quelque chose qui n'a pas de précédent, on est toujours obligé de passer par cette liaison qui permet la mise au point. Parce qu'il n'y a pas de références ?

Par exemple (il va chercher une maquette).



Maquette d'étude pour un banc-poutre en composites souples. Luc Boulais, architecte. (document fourni par l'architecte)

Nous cherchions à faire une poutre comme ça, en hommage à Sol Lewitt.(photo) On voulait la faire souple. C'est un banc. Quand on s'assoie il accepte des petites déformations. Cela fait un an et demi que nous cherchons à mettre au point sa fabrication. Nous n'avons toujours pas trouvé l'entreprise qui serait capable, avec des moyens raisonnables, de le réaliser. C'est un moule tellement complexe que personne n'est sûr d'y parvenir. Il faut 1500 pièces. Cela représente un travail colossal pour faire un petit objet, bien que nous soyons parvenu à réaliser un maillon.

Doit-on obligatoirement envisager un moule, avec une forme comme cela ?

Nous avons cherché des assemblages avec des nœuds. Nous avons essayé l'enduction, mais on perd de la souplesse. Donc on cherche... la matière qui nous permettrait de réaliser ce banc. C'est un sujet personnel, interne à l'agence, si bien que l'étude est limitée. Je ne peux pas passer un an à y réfléchir et tout mettre au point. Quand je formalise une idée, je contacte des entreprises qui me disent s'il est possible de la fabriquer et dans quelles conditions. Il m'est difficile d'investir de longues études.

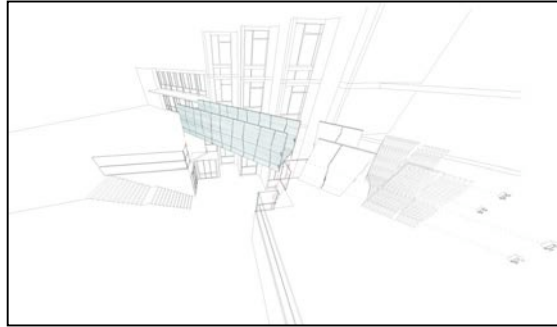
Qu'a apporté l'ingénieur, depuis qu'il est associé aux études ?

Énormément de précision. Par exemple, cette passerelle.

Quelle est la spécialité de cet ingénieur ?

Il est spécialisé en composites ; il a beaucoup d'expérience. Il dessine des avions de A jusqu'à Z. Donc, il calcule. Dans le cas de cette passerelle prévue pour une école à Paris, le projet a été imaginé, non pas grâce à lui, mais avec lui. Elle fait 10 mètres de long, avec ce

profil (il montre un morceau de la passerelle en maquette). Ce sont deux poutres de chaque côté, avec le tablier au centre. (photos et dessins)



Projet de passerelle pour la rénovation du groupe scolaire Chomel à Paris. Vue perspective et maquette. Luc Boulais, architecte (documents transmis par l'architecte)

C'est à l'échelle ? (les garde-corps me semblent très hauts).

Oui, il faut des garde-corps de 1m80 de haut parce que nous sommes dans une école maternelle. C'est pour cette raison qu'elle est translucide, pour éviter qu'on soit trop enfermés. C'est une passerelle piétonne pour relier deux cours d'école.

Ensuite, pour avancer dans le projet, c'est toujours pareil. Nous mettons en œuvre de la résine ; quelle résine ? avec quel procédé ? Un jour, Herzog a dit en conférence « j'ai inventé la résine ». Cela m'avait fait doucement rire parce qu'on n'invente pas la résine. Elle existe depuis pas mal de temps. Toutefois, il est vrai que sa mise en œuvre permet de créer, d'inventer et de développer des choses nouvelles. Pour ce projet, nous avons conçu un nid d'abeilles. S'est posé le problème du dessin du nid d'abeilles qui permet de tenir la passerelle. Nous n'avons pas encore les dessins définitifs parce qu'il y a d'autres contraintes. Au commencement du projet, nous avons prévu cette passerelle en métal. Elle pesait 3 tonnes. En composite, on est à moins d'une tonne. Elle sera livrée en un seul morceau et directement posée. Donc entièrement fabriquée en atelier et monobloc. Ce sera un objet continu, une matière continue avec une translucidité qu'on n'aurait qu'avec du verre, certainement pas avec du métal. Ensuite, nous avons réalisé des essais, des échantillons de matière pour voir quels types d'aspect il était possible d'obtenir.

C'est un des projets de l'agence ?

Oui. C'est la mise aux normes handicapés du groupe scolaire Chomel dans le 7^{ème}.

Notre étude, pour cette passerelle, s'est portée sur la trame du nid d'abeilles. Comment arriver à une trame continue, qui soit à la fois résistante et avec une espèce de jeu...

Formel?

Oui, formel. À la fois structurel et formel. Il y a eu pas mal de maquettes d'essais.

C'étaient des recherches de trame, esthétiques. Y avait-il des recommandations particulières pour réfléchir à ce nid d'abeilles?

Nous savions qu'il nous fallait une continuité de matière. A l'origine, on ne pensait pas pouvoir faire une passerelle monobloc. Nous pensions qu'il fallait passer par la technique des moules, avec des éléments assemblés. Mais il était impensable d'avoir douze moules différents. Nous avons donc étudié une forme qui se retourne et qui donne cette espèce de diversité sur toute la longueur. Dernièrement l'entreprise a proposé de faire la passerelle d'un seul bloc. Tout notre travail destiné à obtenir une trame qui corresponde au nid d'abeilles structurel et des moules qui s'emboîtent et se répètent, tombe à l'eau ! Pourtant dès l'appel d'offres, elle était dessinée comme ça. L'accès sur le site est difficile. C'est dans un patio existant. Nous avons prévu qu'elle serait montée avec douze modules, facilement manipulables. L'idée, était de tendre la passerelle avec quatre câbles.

L'idée première était la translucidité ?

Oui. En bas, il y a le patio avec la cantine. On voulait opacifier le moins possible le patio, qui sert de puits de lumière aux réfectoires. Donc, toute cette recherche a été faite par rapport aux conditions du chantier. D'où l'idée des petits modules qu'on assemble. On met 4 câbles ; on la précontraint et on la pose. Mais en fait, cette technique que l'on a imaginée avec un ingénieur habitué au métal, n'est pas si évidente en composite. Parce que cela veut dire qu'aux points de fixation, il est nécessaire de renforcer les poutres. Ils ont craint qu'il y ait trop de sollicitations, sans trop nous expliquer. S'ajoutaient à cela les problèmes d'oscillations avec les câbles, qu'un ouvrage en métal pouvait encaisser, mais pas en composite. D'où la préférence pour un élément d'une seule portée qui sera beaucoup plus léger et beaucoup plus résistant. Ce qui a été intéressant aussi, c'est qu'au cours de la discussion, l'architecte des Bâtiments de France a trouvé qu'il serait souhaitable de reprendre les couleurs de la cour, pour essayer de faire un lien entre la passerelle et la cour. Avec les résines et l'aspect translucide, il est possible de chercher des matières qui pourraient rappeler le dessin du carrelage. Maintenant, il nous faut préciser les modes de fabrication avec l'entreprise. Jusqu'à maintenant, nous avons plutôt travaillé de manière autonome.

La passerelle. On peut dire que cela d'abord été une question structurelle, une hauteur de sécurité, la translucidité, le dessin de la résille et après la mise au point : le choix de la résine ; la fabrication de la résille.

Oui, la tenue aux UV aussi.

À chaque fois, quand se pose la question de la fabrication de la forme complexe, le travail est toujours un peu le même. La question est celle du démoulage. Par exemple, comment réaliser le moule pour faire un œuf ? Est-ce qu'on le fait en deux, trois, ou quatre parties ? Comment aller à l'économie qui consiste à réaliser le moins de moule possible. Normalement dans l'industrie, on fabrique un moule pour réaliser une moyenne de 500 pièces. Dans le Bâtiment, on fait des moules pour une seule pièce ! C'est pour cette raison que les projets sont trop coûteux et tombent à l'eau. Avec mon expérience, je peux dire comment faire très peu de moules, ou faire des moules perdus. N'utiliser la matière, par exemple, que dans son aspect lisse. En général, la face lisse est contre le moule. L'aspect opposé est rugueux.

C'est pour éviter d'avoir un contre moule en fait.

Oui, pour éviter de travailler en injection, par exemple, beaucoup plus coûteuse. On y arrive par des choix. Par exemple, pour la passerelle, toute la partie intérieure va être lisse au toucher et toute la partie extérieure sera rugueuse comme une peau d'orange. C'est un aspect de surface qui peut être rebutant de prime abord, mais c'est la matière qui est comme ça ! Une écorce d'arbre n'est pas lisse non plus. Pourquoi ne pas l'accepter ? Dans la crèche avec Marc Dilet, nous avons procédé de cette façon. À l'intérieur, c'est lisse et à l'extérieur, la paroi est peau d'orange. Il faut aller jusqu'à cette définition dans le cahier des charges, pour que l'entreprise puisse répondre et chiffrer au plus juste. C'est ce qui nous permet de rester dans les prix et de gérer le coût d'un objet. La passerelle aujourd'hui ne coûte pas plus cher que si elle était en métal, alors que si on n'avait pas bien défini le cahier des charges, on risquait d'arriver à des aberrations. Des entreprises peuvent interpréter cet objet comme une coque d'avion et imaginer un moule qui va coûter le prix de la passerelle. C'est pour cette raison qu'il est important de s'approprier le savoir de l'entreprise. Maintenant j'ai acquis une autonomie de ce point de vue-là, y compris pour l'estimation. Il y a cinq, six ans j'en étais incapable. Qui m'a appris ? C'est l'expérience avec l'entreprise. Je suis allé les voir, sur place. J'ai fait des stages. J'ai utilisé de la résine, je l'ai mise en œuvre. J'ai fait de petits reportages pour comprendre.

J'ai appris que dans toutes les formes en composites ou en plus généralement en plastiques, il n'y a pas d'angle droit, sinon la matière casse. Mais comment réaliser un assemblage quand il n'y a pas d'angle droit ? La fibre ne se plie pas. Comment faire une

arête vive en résine ? Ce sont des choses qui s'apprennent quand on est témoin de leur fabrication. Quand on dessine un panneau de façade, il faut savoir que toutes les arêtes seront légèrement courbes. Il est vrai que cette particularité peut changer l'aspect de la façade. C'est bien là que se place tout le travail de la matière qui réalise au final, la qualité du bâtiment ou pas...

Et la nature du matériau ?

Ensuite, on recherche un classement au feu selon les utilisations. Il n'est pas possible d'obtenir tous les classements au feu avec les résines translucides. Cela conduit à des choix de matière. Par exemple, si on choisit l'époxy, on augmente la résistance mais le prix double (voir quadruple). De plus, il faut un étuvage. Pour la passerelle, cela signifierait que l'entreprise ait l'outillage pour étuver une pièce de 10 mètres de long. Nous avons rencontré ce problème pour la crèche Jean Jaurès. Parmi les deux réponses à l'appel d'offres, une des entreprises proposait de réaliser les coques en époxy parce que son atelier se situe dans un lieu urbanisé où il est impossible de mettre en oeuvre du polyester (qui dégage une odeur forte). Mais ils n'ont pas de chambre d'étuvage. Il est possible de se passer d'étuvage pour de petites pièces non technique, mais pas pour des pièces de 3 mètres de diamètre. Bien qu'ils prétendent pouvoir réaliser l'ouvrage dans ces conditions, je pense que si on n'étuve pas l'époxy à une certaine température, sa résistance n'est pas satisfaisante. Comment l'entreprise peut-elle garantir un ouvrage, si elle ne le fabrique pas selon les bons modes opératoires ? Sur ce point, j'étais catégorique. Dans les conditions matérielles de son atelier, cette entreprise ne pouvait pas réaliser correctement le chantier autrement qu'en fournissant la preuve de ses capacités à obtenir la résistance finale. Ensuite, se pose la question de la fabrication du moule, de son usinage, donc de sa conception. Toute forme aléatoire correspond à une géométrie que nous maîtrisons avec des logiciels. L'objectif de l'agence, que nous allons bientôt atteindre, est d'être capable de fabriquer les fichiers de découpe 3D, que nous envoyons directement à l'entreprise qui va usiner la matière. On dispose de différentes matières pour fabriquer les moules, des mousses, du bois... Il s'agit de choisir celle qui permet d'arriver au résultat avec le moins de travail. Le moule et sa préparation avec les différentes couches et lustrages pour obtenir une surface lisse représentent toujours des coûts importants.

S'il fallait trouver des améliorations pour aller plus loin dans le développement des innovations, que pourriez-vous imaginer ?

Il faudrait qu'il y ait plus de maîtres d'ouvrage qui aient envie d'expérimenter dans le cadre de leurs opérations. Pour les deux crèches auxquelles j'ai participé, ce sont les architectes

qui ont financé l'étude. L'idéal serait que l'appel d'offres prévoit une recherche sur l'utilisation de matériaux pour optimiser les formes complexes par exemple. Cela signifie qu'il y ait des maîtres d'ouvrage qui acceptent d'aller jusque-là, vers un peu d'innovation.

Beaucoup financent des projets HQE. Pour moi, la légèreté est un vecteur de la haute qualité environnementale.

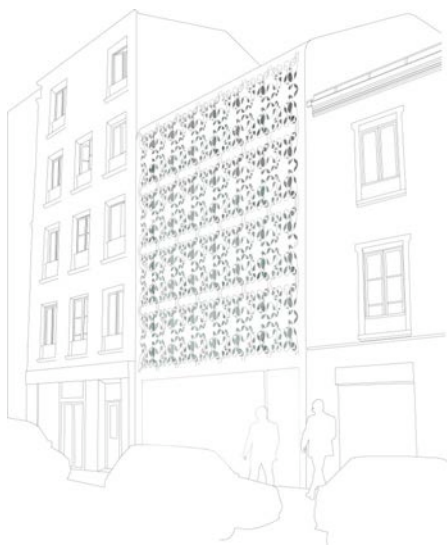
On utilise moins de matière.

Oui. C'est moins pénible à manipuler sur le chantier. C'est plus rapide. Pour la passerelle, on passe de trois tonnes à 750 kg. Il y a une énorme différence entre un ouvrage soudé sur place, assemblé, boulonné, et un objet dont la livraison et la pose s'effectuent en une journée. Dans la réalité, il y a toujours des contraintes qui font que ce n'est pas tout à fait vrai. Mais dans l'absolu, il faudrait un peu plus d'argent pour réfléchir et mettre tout cela au point. Pour l'entreprise, c'est tout aussi vrai. Elle est enfermée dans le cycle infernal de la production à tout prix, ce qui l'oblige souvent à conserver les mêmes habitudes. Par exemple, je travaille avec des entreprises qui font des stands. Elles travaillent plutôt le bois, avec des panneaux qui sont très lourds. Je leur ai suggéré d'utiliser deux parois de bois très fines avec un nid d'abeilles en âme, un nid d'abeille carton, tout simple, pas cher, selon le principe de la porte isoplane. Je ne sais pas s'ils le font mais ils ont maintenant un stock de nid d'abeilles carton chez eux, alors qu'ils ne connaissaient pas le produit avant qu'on en discute. Ce n'est pas seulement en conception qu'il faut travailler. Le monde de l'entreprise a aussi besoin de gens capables d'apporter de nouvelles façons de voir pour fabriquer. La coupure est trop grande entre les architectes et le monde de l'entreprise. Je pense à l'entreprise italienne qui travaille avec Gehry. Quand ils ont l'opportunité d'un chantier avec lui, ils lui donnent carte blanche, même si cela dépasse le budget. Ce qui leur importe c'est de développer et de faire un bond en avant important. C'est l'occasion d'apprendre à gérer les formes complexes et d'intégrer un nouveau savoir dans l'entreprise qui permet de répondre à d'autres éventualités.

Pour Créa Diffusion avec qui j'ai étudié une façade en Corian, c'est la même chose. Ils ont un fonds de roulement avec la vasque Corian qu'ils posent dans les Mac Donald ou sur les bords d'autoroute et parallèlement, ils travaillent avec des designers ou des architectes avec des conditions qui permettent que des innovations soient possibles. Grâce à cet investissement de leur part, ils sont pratiquement les premiers en Europe à mettre en œuvre le Corian en exploitant autant les possibilités de la matière.

C'est une politique de développement basée sur un échange de savoir.

Chez Créa Diffusion, il y a une volonté de faire venir les designers dans l'entreprise pour mettre au point avec eux les moules, les processus. Aujourd'hui, ils ont inventé la machine à plier le Corian. C'est la première machine dans le monde. Je pense que cette invention n'est pas sans rapport avec les demandes des concepteurs de courber du Corian dans tous les sens. Maintenant, cela leur est utile pour les plateaux et les plans qu'ils font pour les hôpitaux ou les Mac Donald. Il y a un premier pli, là, (il montre le bord de la table) et puis un deuxième derrière. Auparavant, il fallait couper, coller, assembler, poncer. Maintenant en 1/4 d'heure, la machine fait les deux plis. Elle chauffe et elle plie.



Projet de façade en Corian. Dessin de la façade et prototype. Luc Boulais, architecte (documents transmis par l'architecte)

Le temps du projet est parfois difficilement conciliable avec ces recherches ?

Oui. J'ai du mal à développer des projets de recherche personnels par manque de temps et de budget. Il faudrait plus de partenariat avec les entreprises. Elles sont prêtes à faire des prototypes gracieusement. Mais elles ne peuvent pas financer les études.

Et comment cela se passe-t-il avec les Avis Techniques ?

Et bien jusqu'à maintenant, ça passe pas mal. (sourire). C'est une petite fierté. Pour chaque projet je parviens à bien définir les choses avec les termes précis, de résistance, de calcul de structure, d'aspect de surface et de classement au feu, à l'usure... Ils constatent que c'est maîtrisé et approfondi ; les termes du cahier des charges doivent leur parler. Pour l'instant, je n'ai pas rencontré de blocage.

Dans le cadre d'un appel à idées pour des nouvelles maisons, on a proposé des composites. Cela fait deux ans ce projet est bloqué au Ministère du Logement. Ils veulent du HQE, donc du bois ou de la terre cuite. C'est un peu dommage qu'on n'ait pas envie de chercher d'autres solutions. Je suis convaincu qu'il en existe. Quand on construit un avion aujourd'hui, on le construit entièrement en matériaux composites. On ne se pose pas la question de savoir s'il faut mettre du bois ou pas, parce que ça va faire HQE.

Pour le logement, on est prêts à faire des bonds en arrière de 20 ans ou 30 ans pour essayer d'avoir le HQE, mais...mais...

C'est faire fi des découvertes ?

Oui ; et je trouve cela un peu dommage. Même au niveau de l'isolation. Je ne dis pas que tous les matériaux composites répondent entièrement à des critères HQE mais si on veut les faire évoluer vers les résines végétales par exemple, à base de maïs, d'amidon, il faut d'abord faire évoluer le bâtiment vers ces matériaux légers.



Recherche sur des structures légères en matériaux composites.
Etude effectuée aux Grands Ateliers, animée par Luc Boulais . (document transmis par l'architecte).

Il faut commencer par ceux qu'on maîtrise, même si dans un premier temps ils sont fabriqués à base de pétrole. C'est comme l'univers du sac plastique. Aujourd'hui on serait capable de remplacer tous les sacs plastiques par des sacs à base de maïs. Mais, même Carrefour n'est pas prêt à le faire. Parce qu'ils coûtent le double du prix de ceux qu'il achète aujourd'hui. En fait, les politiques ne sont pas encore dans cet objectif et ses conséquences qui exigent beaucoup de recherche. Si demain, on veut réaliser une maison, entièrement en résines végétales, avec les moyens financiers nécessaires, je pense que cela touche beaucoup de gens. Cela concerne des tas d'entreprises, aussi bien dans le calcul, la conception que dans la mise au point de la fabrication. Je ne sais même pas s'il est possible

de fabriquer des résines végétales pour le bâtiment aujourd'hui mais les ingénieurs qui les utilisent ne doivent pas être très nombreux. Cela concerne tout un milieu. Je pense qu'aujourd'hui les freins à l'innovation sont très importants, même si on arrive quand même à faire des petites choses. Par exemple, j'ai voulu déposer un dossier à l'ANVAR. Ils sont prêts à vous aider uniquement si vous avez un produit commercial à vendre, mais pas si vous apportez des idées et de la matière grise. J'avais essayé de contacter le Ministère de la Recherche pour savoir s'il y avait des aides possibles mais je ne suis jamais arrivé au bout. Il n'y a pas de financement pour développer des structures de recherche ou alors il faut être au sein d'une école, peut-être. Mais dans le cadre privé, même si je n'ai pas trop cherché, je n'ai rien trouvé pour l'instant.

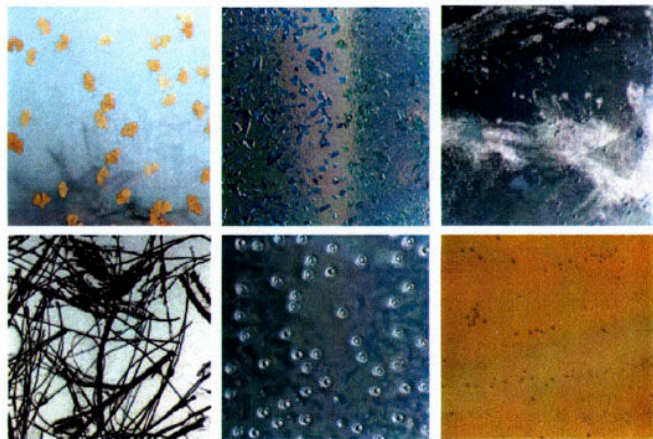


Recherches effectuées par Luc Boulais. (document transmis par l'architecte)

Annexe N°10

Jean De Giacinto :

une gamme de vêtements en matériaux composites



Extrait du catalogue « Peaux composites » (document Jean de Giacinto)

Entretien avec Jean de Giacinto

Le 1 novembre 2006 à Bordeaux

Pour introduire notre entretien, pourriez-vous évoquer comment la matérialité apparaît dans le projet.

Pour la majorité des projets, nous privilégions le travail avec des matériaux qui sont en relation avec l'environnement géographique du site. Dans un premier temps, nous nous interrogeons sur ce que le territoire, nous offre et met à notre disposition. C'est la première démarche vers laquelle se construit un projet d'architecture, définir le concept et les premières réflexions qui vont nourrir et enrichir les pistes d'orientations d'études. En effet, nous qualifions nos projets d'architecture vers une approche contextuelle, en relation directe avec la géographie et les matières. Le projet commence alors à se dessiner par des choix et des orientations de travail. Deux ouvertures s'offrent à la lecture et à la réalisation :

Soit nous établissons un vrai lien entre l'architecture du projet et la problématique des matières liées au site géographique, soit nous optons vers une déconnexion totale pour imposer une intention architecturale.

Par exemple, dans les deux derniers concours rendus, les matières du site ont été déterminantes dans la conception du projet. On y retrouve la thématique de l'eau et de la roche, de la forêt ; des éléments architecturaux volontairement mis en scène. Puis il faut construire, et il n'est pas toujours possible de mettre en oeuvre des matières liées directement au site. Nous faisons alors appel à des matériaux industrialisés ou fabriqués à l'extérieur du territoire spécifiquement pour l'opération. Cela répond à des exigences structurelles ou économiques, ou bien encore à la recherche d'une expression architecturale et technique, comme le souhait de laisser pénétrer la lumière à l'intérieur d'une structure tout en répondant au souci thermique, lier à la fois la translucidité et la "thermicité". C'est à ce moment-là que les nouvelles matières interviennent.

Mais bien que nous fassions appel aux nouveaux matériaux, je crois que la matérialité du projet procède toujours d'une réflexion sur la géographie du site, de l'identité de l'environnemental sur les liens présents dans une région. Matières que l'on ne perçoit pas toujours physiquement mais qui sont l'essence même du fondement du projet.

Certains projets vont apparaître très contextuels et d'autres à l'inverse totalement déconnectés des atmosphères du territoire. Dans ce dernier, le projet exprime son autonomie architecturale, il est sculpturalement une identité, une "oeuvre" qui parle d'elle même. Mais parfois les intentions de départ ne peuvent pas être conservées, pour des raisons économiques ou techniques. Cela a été le cas pour la forêt des Landes en Aquitaine. Une région composée essentiellement de pins mais qui ne possèdent pas Toutes les qualités requises pour être mis en oeuvre.

Pourrions-nous maintenant essayer d'explorer la façon dont le projet se construit ; la façon dont on introduit des matières avec des matériaux qui vont exprimer ce qu'on recherche.

Le projet prend forme avec attention, écoute. Nous travaillons par séquences, avec des réflexions globales, des idées, des regards, des envies, avec lesquelles nous nous positionnons par rapport au programme, au contexte géographique, économique et aux approches plastiques.

Puis, comme un entonnoir, le travail se resserre vers les éléments constitutifs du projet architectural. Je souhaite toujours élaborer un projet d'une manière très globale afin de ne pas se laisser enfermer par un matériau, un parti pris qui peut conduire à une voie sans issue ou une démarche réductrice. Dès que les grandes lignes se mettent en place, issues souvent de paramètres personnels, plusieurs façons d'aborder le projet architectural se dessinent. Cela peut tenir à un élément émotionnel ou une sensibilité.

Lorsque l'on traduit un programme on a envie de donner du sens, d'apporter au projet une dimension qui est la nôtre. C'est à partir de l'analyse et des questionnements préalables que la personnalité de l'architecte joue son rôle, chaque architecte traduit une identité au projet que l'on peut inscrire dans une démarche architecturale personnelle.

Les concours d'architecture en sont une belle démonstration. Pourquoi la même demande génère-t-elle des projets tellement différents ? Les maîtres d'ouvrage sont surpris par la créativité des équipes. Chaque architecte a une démarche spécifique et a besoin d'introduire des notions de sensibilité, des pulsions, qui se traduisent et se concrétisent par des technologies, des structures et des matières. Et la question fondamentale c'est de savoir comment s'y prendre pour que ces notions de sensibilités se métamorphosent dans une architecture concrète ? Les notions de légèreté, de transparence, vont inévitablement se concrétiser vers des technologies ou matières translucides, aériennes, lumineuses à l'inverse; un projet lourd, opaque va s'orienter vers la masse et la densité.

C'est à partir de cette phase que se met en place la recherche des structures, des matières des enveloppes, des peaux qui vont donner corps au projet pour rejoindre l'idée du fondement, de l'émotion, des sensations que l'on cherche à exprimer à travers l'œuvre. Mais un projet c'est aussi une technicité. Il est évident que la partie architecturale, plastique est importante, elle tisse un lien avec l'homme et sa culture, elle est force d'émotion, elle est de toute évidence l'essence du projet. Cependant, la concrétisation reste une phase délicate qui demande une grande rigueur et une technique irréprochable, qui touche à la structure, à l'équilibre des forces, aux portées, aux qualités physiques des enveloppes, à l'orientation, au climat, à la thermique. C'est à ce moment que se décident les choix de matériaux qui répondent à ces caractéristiques. En général, nous recherchons des réponses techniques

simples, c'est-à-dire que nous n'utilisons pas de matériaux contre nature. On essaie simplement de traduire l'idée avec l'utilisation de deux à trois matériaux, afin de rester harmonieux et respectueux de l'essence de chaque matière. Plus le projet est minimaliste sur le choix des matières plus il sera homogène et d'une lecture claire.

Chaque matière : bois, aluminium, béton, aciers, a sa propre identité et l'alliage entre elles relève parfois d'une véritable alchimie. Et il nous revient de valoriser cette identité et de savoir habilement les assembler en rapport au concept de départ. Il est important de bien comprendre la subtilité de chacun d'elles et de les définir dans leurs spécificités. Il y a l'identité de poids, de masse, de volume, de densité, de transparence, de lumière... Certaines identités touchent à d'autres sensations telles : la noblesse, la rudesse, l'étrange, l'unique. Tout l'intérêt du projet d'architecture est la mise en scène, en créant un dialogue entre les éléments du projet et leurs propriétés.

Cette scénographie des matériaux, pour parler de la matière est déjà un élément déterminant du projet. Interviennent ensuite les tendances architecturales, les styles dus à la création et aux recherches de nouveaux matériaux. Ces matériaux utilisés peuvent s'inscrire dans des mouvements, tout en rentrant dans un vocabulaire très différent.

Personnellement, le matériau composite a suscité une curiosité que j'ai expérimenté dans la réalisation de nombreux ouvrages, et l'intérêt de celui-ci fut aussi de le développer, de l'associer, de le mettre en oeuvre avec d'autres matières et vers d'autres domaines : le mobilier urbain par exemple.

Il y a encore une dizaine d'années, très peu de projets utilisaient le matériau composite en oeuvre. Aujourd'hui, il se manifeste davantage dans notre quotidien et se développe de plus en plus. C'est un matériau issu de l'industrie de naval et de l'aérospatiale. Il a été inventé au début du 20^{ème} siècle, son transfert technologique vers l'architecture, le sport, le design est apparu depuis les 20 dernières années sans oublier le domaine automobile aujourd'hui. Ces nouveaux matériaux permettent de répondre, au-delà de l'esthétique qu'ils peuvent apporter, à des exigences de durabilité et de résistance.

Entre les recherches initiales du projet évoquées en début d'entretien, et l'immense choix offert, on peut se demander si on est pas face à une fabrication de matériau à la demande, pour chaque projet. L'architecture ne prend-elle pas aussi forme dans la conception même du matériau?

La recherche de fabrication du matériau qui donne corps à l'architecture est incontournable. L'exemple du projet de la médiathèque de Pau, étudié par l'architecte Zaha Hadid puis abandonné le démontre bien. Son enveloppe tout en composite, constituée d'une gigantesque coque de carbone fut un projet difficilement réalisable pour des raisons

économiques certes mais aussi pour des raisons de caractéristiques propres au matériau. En effet, la fabrication d'une matière induit dès l'origine une forme architecturale, ou induit une des dimensions plastique du projet ; à l'inverse, nous pouvons avoir la démarche de nous diriger vers le matériau qui répondra à la forme dessinée et souhaitée. Je classifierai ces démarches en deux grandes familles : la première est celle d'une projection d'une forme artificielle, issue d'une vision ou d'une sensation purement plastique qui doit ensuite s'adapter et répondre techniquement à la construction. Une démarche suivie par de nombreux architectes, tel le projet de l'architecte Franck Gerhy pour la fondation Vuitton avec le dessin d'un vaisseau en verre. La deuxième famille est celle d'une démarche vers un dialogue entre le site et ses matières et de comprendre ce que cela implique.

Le matériau présent acceptera-t-il une quelconque forme? Jusqu'où peut-on aller ?

Ces deux approches montrent la place de la matière dans le langage architectural.

Dans le premier scénario, la matière répond aux caractéristiques de la forme avec ces exigences. Il faudra donc que les types de fabrication et de technologie puissent aussi répondre à la forme. Dans le deuxième scénario c'est la matière qui induit la création de la forme, elle fait corps avec elle. Ce sont deux approches philosophiques différentes.

Et que dire alors de votre attirance vers les composites ?

Nous avons évoqué ensemble tous les matériaux à notre disposition. Il est vrai qu'aujourd'hui, on observe une tendance à la multiplication des matériaux. L'étendue de la palette disponible nous encourage à en jouer. La complexité du projet architectural s'accroît du fait de la richesse et la diversité des matières à notre disposition.

Les projets monolithiques sont de plus en plus rares. Les réalisations de l'architecte Peter Zumthor l'illustrent ; à l'inverse, les réalisations de l'architecte Rem Koolhaas montrent, la multiplicité des matières entre-elles.

De tous ces contextes divergents, j'ai eu envie d'exprimer dans l'architecture, une légèreté, une certaine esthétique de nombre d'objets poétiques qui touchent à la voile, au vent, tels les catamarans, les voiliers, les éoliennes ...

Un des grands domaines de l'architecture est d'être confronté à la gravité, au poids, à la masse.

L'expression est toujours bridée par cette réalité des lois physiques. Le composite utilisé dans l'architecture navale donne l'image d'un matériau qui fusionne avec le vent, l'eau, l'air, et de surcroît inaltérable. Je ne suis pas navigateur mais cette image m'a toujours inspiré et fait rêver. Le bâtiment en général est lourd, pesant et chargé de problèmes techniques.

Mon interrogation s'est tournée vers de nouvelles matières, légères, délicates, discrètes, aériennes répondant aux exigences de la construction. Un regard un peu curieux sur son environnement, s'ouvrant vers d'autres domaines que l'architecture.

Une démarche que tout créateur développe en fonction de sa sensibilité. La beauté d'un arbre, d'une forêt, d'une peinture, d'une voile, d'une sculpture, ou encore l'objet volant qui se déplace dans l'espace. L'architecture s'exerce et reste sur terre. La tendance actuelle des constructions de tours, toujours plus hautes, ne correspond-elle pas à ce désir de s'élever dans l'espace ? L'élévation des tours dans nos grandes capitales européennes est certes physique mais aussi un symbole. L'homme cherche à s'échapper de cette pesanteur terrestre. J'ai essayé de traduire ce besoin, par des recherches sur ces nouveaux matériaux composites. J'ai exploré, expérimenté, transcrit une quête personnelle, vers une architecture porteuse de symboles et de sens nouveaux. Il est vrai que lorsque l'on se lance dans ces recherches, on peut être déçu, entre le rêve et la réalité il y a toujours un écart qui peut nous décevoir.

Toutefois parmi toutes les recherches que j'ai effectuées depuis une dizaine d'années, je pense que ces matériaux m'ont permis au travers de différents projets, de traduire des sensations, des images et des rêves que je n'aurais pu réaliser avec l'utilisation d'autres matériaux.

L'exemple de l'opération Clos de Hilde au sud de Bordeaux, l'un des tout premiers projets expérimenté avec l'utilisation du composite m'a permis de transcrire une surface bleue, variable, capable de symboliser l'eau. (façades bleu céruléum). Je rêvais d'un bâtiment EAU mais l'obligation était de réaliser une façade solide et non liquide. J'ai réfléchi à une métaphore de l'eau, en relation avec la fonction de ce bâtiment industriel qui est une station d'épuration. J'ai cherché une peau qui symboliserait la beauté d'un plan d'eau avec ses variations de surfaces et de couleurs. Cette référence à l'eau qui a été à mon sens magnifiquement interprétée dans ce contexte industriel reste malgré tout un bardage.

Toute œuvre architecturale, même parmi les plus grandes est soumise aux mêmes contraintes. La tour Eiffel, conçue en acier demande une grande protection contre la fragilité de sa matière. Mais l'innovation de Gustave Eiffel a permis, à travers ce matériau, d'exprimer cette dimension d'élévation, d'apesanteur, et du rêve tel un magicien.

Le composite peut aussi répondre à cette volonté d'apesanteur et de magie, certains projets s'y prêtent, toute la subtilité est de trouver la solution technique pour y parvenir...

Justement. Serait-il possible d'évoquer très concrètement un des projets et d'en détailler les étapes.

Oui. Nous pourrions prendre l'exemple de l'extension de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux réalisée en 2003. C'est un bâtiment d'enseignement et de recherche qu'il fallait implanter en frange de propriété. L'école a été construite dans un ancien parc. La particularité du site est d'être bordée par une haute rangée de peupliers d'Italie. Ce paysage fut un élément d'inspiration : un alignement de peupliers, dont une partie coupée à l'endroit

où le bâtiment devait prendre place. Arrivé sur le site, le premier point qui m'a interpellé a été d'établir un lien entre le paysage spécifique de ce lieu, espace résiduel en frange de l'école, et le futur projet architectural à concevoir. Comment créer ce lien entre architecture et paysage ? Quels échanges et quelles connexions était-il possible d'établir, dans une symbolique avec pour sujet une école d'architecture et de paysage ?

La création architecturale doit stimuler autant les jeux techniques que les jeux d'esprit. Le bâtiment était déjà implanté dans son organisation urbanistique, linéaire, avec une grande façade sud-ouest qui longe la rangée de peupliers interrompue. J'ai donc cherché à établir un dialogue par la mise en place d'une continuité entre l'architecture du bâtiment et son paysage. Le composite s'est prêté à créer une cimaise, une façade artificielle qui assure le lien entre le naturel et l'artificiel. Construit derrière la cimaise, ce bâtiment technique répond à des besoins précis (studio, laboratoires, salle de travail...).

Une façade en composite, constituée de panneaux plans toute hauteur, posés en écaille, simule la rangée de peupliers tel un miroir. Cette façade Sud était contraignante pour des raisons thermiques et acoustiques (proximité de la rocade). Pour cela, une double enveloppe a été conçue pour protéger les espaces de travail.

Derrière la cimaise composite les coursives d'accès au bâtiment, vitrées et non chauffées créent un espace tampon. Mais comment imaginer une peau sensible à la lumière qui réponde à un cahier des charges que nous avons établi et qui consistait à créer une nouvelle allée de peupliers virtuels ? Pour y parvenir, nous avons fait appel aux technologies photographiques et d'impression numérique sur textiles. Nous avons mis au point ces composants avec des entreprises spécialisées "ARC INDUSTRIE" et CTA (Conception Techniques Avancées) un bureau d'études.

Ces nouveaux matériaux se construisent à la carte, résine translucide, tissu de verre, impression numérique. Avant le choix définitif de la technique du textile imprimé, nous avons fait l'essai de prototypes avec inclusion de matières végétales (feuilles). Ces essais ont permis de définir une esthétique des panneaux satisfaisante, en termes de pixellisation de l'image de translucidité et d'aspect de matières.

Sur le plan technique, différentes solutions ont été modélisées. Le logiciel CATIA a calculé la tenue mécanique des panneaux. Ces calculs théoriques ont permis de se dispenser des essais physiques (soufflerie), notamment pour les essais au vent. Les modélisations ont montré la nécessité de renforcer les panneaux par un raidisseur pour résister aux contraintes de déformation. S'est posée la question du dessin du bracon et du raidisseur et du choix du matériau pour les réaliser (fonte d'aluminium ou composite). Le choix s'est porté sur le composite afin de conserver une unité plastique sur l'ensemble de la façade.

L'entreprise Arc Industrie a réalisé les prototypes et nous avons pu modifier le dessin du raidisseur et définir le motif de la pixellisation des peupliers.

Cette expérience entre industriel et architecte a permis d'envisager de créer une ligne "Peaux Composites" pour industrialiser la technologie et continuer à développer ces recherches d'alliance entre les matières.



Prototypes d'inclusions végétales dans des panneaux composites (document Jean de Giacinto)

Annexe N°11
Mouloud Behloul, Groupe Lafarge
le Ductal® nouveau béton



Fluidité du Ductal® (document Lafarge)

Entretien avec Mouloud Behloul. Groupe LAFARGE.

61 rue des belles Feuilles. 75016 Paris.

Le 14 septembre 2006 à 11 heures.

Lors des enquêtes que j'ai déjà pu effectuer auprès d'architectes, plusieurs d'entre eux m'ont parlé du travail réalisé avec vous pour la mise au point de projets innovants. Pourriez-vous préciser les conditions qui vous ont conduit à les rencontrer.

La première expérience de travail avec un architecte date de la passerelle à Séoul qui fait 120 mètres de long, dessinée par Rudy Riccioti. J'étais alors chez Bouygues dans le département génie civil. L'idée de l'architecte consistait en une passerelle très légère. Il voulait un pont de singes. Cette image me semblait ne pas correspondre à la vocation de l'ouvrage ; cela me paraissait un peu dégradant, trop éphémère. De plus, la forme en arc inversé ne correspondait pas au matériau. J'ai proposé alors à l'architecte de retourner l'arc. Cela lui a semblé possible et c'est dans l'échange que nous avons trouvé les formes les plus adéquates, tenant compte à la fois du dessin de l'architecte et des propriétés du matériau.



Passerelle de la Paix construite par Bouygues à Séoul. Architecte : Rudy Riccioti.

(In <http://en.structurae.de/photos/index.cfm?JS=35150> – consulté le 3/09/07)

C'est à partir de cette expérience que j'ai apprécié la collaboration avec les architectes qui nous encouragent toujours à aller au-delà de nos habitudes. C'est au démarrage du projet que c'est le plus riche et le plus fructueux. Lorsque le projet est trop avancé, il n'est plus

possible de revenir en arrière pour explorer des solutions auxquelles on n'avait jamais pensé.

L'ingénieur conçoit et calcule des ouvrages qui se situent dans un périmètre connu (il dessine un carré sur la table). Ses compétences se réfèrent à cet univers duquel il ne sait pas sortir. Il n'a pas été formé à cela. L'architecte est toujours en dehors de ce périmètre (il montre un point, loin du carré). L'échange consiste à rapprocher ces deux points de vue éloignés au départ. Pour l'ingénieur, c'est toujours très enrichissant. Les solutions existent dès l'instant qu'on explore plus largement dans tous les registres des solutions techniques qui sont à notre disposition. L'architecte nous y oblige. Il a le devoir de garder ce rôle. C'est grâce à cela que nous pouvons innover.

Comment se sont passées les échanges que vous avez pu avoir avec les architectes avec le groupe Lafarge auquel vous appartenez maintenant.

A la demande de Léopold Lombard, le responsable des relations avec les architectes, j'ai rencontré une centaine d'architectes pendant une année, tels que Dominique Marrec, Manuelle Gautrand, Nicolas Michelin, etc... qui cherchent à innover au sein de leurs projets. Nous les rencontrons à leur demande, à la faveur d'un projet à étudier. Nous les aidons à préciser les caractéristiques de l'ouvrage en fonction du matériau et de ses capacités. Mais le suivi d'un projet est très long. Cela dure souvent deux ou trois ans et mobilise beaucoup de temps. Nous n'avons plus la possibilité de le faire.

Mais votre rôle a pourtant été déterminant dans les projets que vous évoquiez. Qui peut transmettre ce savoir autour du matériau et de ses capacités à réaliser un ouvrage autrement, si vous ne le faites pas ?

Dans les bureaux d'études, les patrons sont souvent très ouverts. Leur souci est d'avoir les compétences nécessaires pour répondre à la demande. Ils sont très informés de ce qui se passe. Et progressivement les savoir se constituent.

Et comment se passe le travail de formulation de la matière ? Il s'agit ici de votre savoir spécifique. Par exemple, sur le projet de Thiais, Dominique Marrec et Emmanuel Combarel me disaient que la formulation était en cours.

En effet, nous avons travaillé sur la couleur. Mais notre formulation est assez limitée. On a deux ou trois formules auxquelles on ne touche pas beaucoup. La formule qu'on a utilisée pour le chantier de Thiais est une formule Ductal® avec fibres organiques. Cette formule a fait l'objet d'une évaluation technique par le CSTB. Ce travail a duré trois ans. On ne peut

pas changer tout cet acquis. On a là tout un référentiel, toute une base de connaissances sur le produit, son comportement, le vieillissement dans le temps. Tous les tests ont été faits. Cette évaluation technique permet de garantir au niveau des assurances. Lorsque l'assureur fixe la prime d'assurances, il se base sur le référentiel qui est fourni par le CSTB. C'est la problématique du nouveau matériau. Donc on a peu de latitude sur la composition même du matériau. La seule petite latitude qu'on a, c'est la couleur. C'est le cas ici, où l'architecte souhaite la couleur « du sous-marin qui sort de l'eau ». C'est un gris vert qu'on a su faire.

Après il s'agit de faire l'élément. Je ne parle pas de la conception qui est faite en amont avec l'architecte et qui permet de s'assurer qu'il y a une adéquation juste entre le matériau et le projet. Il faut aussi que le pré-fabricant sache faire l'élément. Cela représente un savoir-faire spécifique. Comment concevoir le moule, comment le remplir. Comme le matériau est nouveau, ce ne sont pas tout à fait les mêmes techniques, même si c'est la même famille technique. Il y a un savoir technique important pour mettre en œuvre le Ductal®, qui ne ressemble pas au béton basique, sous peine d'erreurs. On fait des structures très fines ; les peaux coffrantes sont plus sophistiquées, à base de silicones, ou de polyuréthanes. Il est donc nécessaire de former ces pré-fabricants. Ce que nous faisons. Nous assurons aussi un suivi pour éviter qu'il y ait des contre-performances d'utilisation du matériau. En général, avec le pré-fabricant nous intervenons en amont. Avant même de lui vendre la matière, nous visitons ses installations pour s'assurer de la qualité de son travail. Nous veillons à ce qu'il emploie des protocoles qualité, et qu'il possède le savoir-faire. Il s'agit de la pré-qualification. Lorsqu'il démarre un projet, il y a toujours quelqu'un de chez nous sur place, et nous assurons un suivi ensuite, par téléphone ou sur place pour répondre aux problèmes qu'il rencontre. Pour lui, ce sont des problèmes parce qu'il doit faire face à des situations qu'il n'a pas encore rencontrées. Pour nous ce ne sont pas des problèmes. Ce sont des points techniques à résoudre.

J'appartiens à Lafarge « groupe » pour développer le Ductal®. En France l'équipe est constituée de 5 personnes, de même qu'au Canada. Dans l'équipe France, il y a un technicien, responsable des pré-fabricants. Il ne fait que cela. Il y a un responsable technique qui s'occupe de la pré-qualification. Il y a deux technico-commerciaux qui conseillent les architectes sur les choix techniques et reviennent vers moi lorsqu'il est nécessaire de définir mieux les projets. Ils accompagnent les architectes tout au long du projet. En effet, dans la chaîne de construction, il y a beaucoup d'intervenants et forcément beaucoup de points de blocages, potentiellement autant que d'intervenants. Les commerciaux essaient d'anticiper les blocages possibles et aident à les résoudre.

Dans une opération de construction, si je résume, vous avez l'appel d'offres du client pour choisir un architecte ; à cette étape, nous n'avons pas de souci. Ensuite, l'architecte lance l'appel d'offres auprès des entreprises qui vont répondre. Il faut que les entreprises

acceptent de répondre sur un matériau qu'elles ne connaissent pas. Il est nécessaire de les rassurer, de les informer de nos expériences passées, de nos références. Il suffit juste de montrer une centaine de références pour rassurer. Aujourd'hui, nous ne sommes déjà plus dans le domaine des nouvelles applications. Ensuite, les entreprises répondent. C'est un point auquel on fait attention.

Si nous n'avons pas travaillé correctement avec l'architecte, qu'on lui a caché la vérité des prix, il fera un budget trop faible. Et si, à l'ouverture des plis, il y a un appel d'offres infructueux, l'architecte perd la face vis-à-vis de son client et nous aussi. Nous faisons très attention à cela. Nous conseillons l'architecte s'il veut faire une estimation du prix. On a suffisamment d'expérience pour donner un prix réaliste sinon, nous consultons un des pré-fabricants avec qui nous travaillons. Comme cela, il n'y a pas de surprise et c'est très important pour toute la suite de la chaîne. Ensuite, il y a le choix du pré-fabricant. Nous devons convaincre nos partenaires de répondre à l'appel d'offres de l'opération. Nous devons aussi nous préoccuper du bureau d'études de l'opération. Il faut qu'il connaisse un minimum le Ductal® et ne le rejète pas. Là encore, il faut le former, il faut l'aider. Enfin, il y a le bureau de contrôle. Pour qu'il puisse contrôler correctement, il faut qu'il connaisse bien le matériau. Il y a donc toute cette chaîne-là. Cela prend beaucoup de temps. Par chance, tous les grands bureaux d'étude, bureaux de contrôle, entreprises, etc... connaissent le Ductal. Mais il y a toujours des entreprises plus petits qui ne connaissent pas. Cela nous oblige à toujours être vigilants. Et les gens oublient vite aussi. De temps en temps il faut faire une révision avec eux. En conclusion, tout cela représente beaucoup d'énergie.

Pour envisager une construction autrement. Parce que le Ducta®/l permet de penser le béton autrement.

C'est vrai ; on peut réfléchir sur d'autres modes constructifs. On peut évoquer le projet avec Jacques Ferrier par exemple. Il a été missionné par EDF pour réfléchir à une construction mixte de logements et des bureaux, sous l'angle énergétique. Nous avons eu connaissance de cette recherche et comme nous nous intéressons à la construction durable, nous l'avons missionné pour réfléchir à une tour, « la tour hypergreen ». Ce n'est pas un projet de construction, c'est une recherche théorique dans laquelle nous avons testé la façon dont il est possible d'intégrer les énergies nouvelles. La façade est orientée. D'où l'idée d'une résille avec une densité différente selon l'orientation. Petit à petit, la conception a progressé : une façade est faite d'éléments fortement comprimés. La compression est une des meilleures propriétés du Ductal®. En échangeant avec Jacques Ferrier et Jean Marc Weil, l'ingénieur structure de ce projet-là, nous sommes arrivés à cette idée de résille autoportante qui stabilise également le bâtiment contre le vent, aux efforts horizontaux. C'est un choix architectural assez important, innovant, qui surprend les ingénieurs. Cela sort de leur

périmètre ! En ce moment Jacques Ferrier répond à un concours à la Défense dans lequel il reprend quelques idées.



Présentation de la tour Hypergreen. (Document Jacques Ferrier, architecte)

La résille extérieure n'est pas en Ductal® mais en béton. Je ne suis pas sectaire. Le béton, j'aime bien aussi. Pour l'anecdote ; j'aime bien l'odeur du béton. La meilleure façon de sentir le béton, c'est au moment du décoffrage. Les premiers jours il y a une odeur particulière que j'adore. Une structure en acier, ça sent la peinture. Le matériau béton vit, contrairement à l'acier. Il y a la réaction de l'hydratation qui continue pendant un siècle. Cela ne bouge pas beaucoup, mais un petit peu. Il y a aussi un peu d'eau qui entre et sort. Il vieillit, il se bonifie avec l'âge. C'est un matériau qui respire.

Pourrait-on évoquer un projet à l'étude à l'agence Combarel-Marrec ; il s'agit d'une rampe très fine, à la façon d'un tapis volant, qui fait 4 cm d'épaisseur.

Ah oui ; de couleur rose. Elle veut du rose je crois. Mais là je vais la déconseiller de mettre du rose. Cela ne fait pas béton. C'est venu d'une réflexion comme cela, informelle, lors d'un pot, on est parti là-dessus. Pourquoi ne pas faire un tapis. On a dessiné et on a constaté que cela était faisable. Je suis spécialiste des passerelles. C'est un projet qui me plaît bien. C'est dans mon périmètre (rire). C'est une belle idée. On a impliqué Betsinor pour réfléchir à la

fabrication des éléments. La passerelle est assez longue. Comment les fabriquer, comment mettre les appuis, etc, etc...

Je comprends que parmi les points à résoudre pour installer un nouveau matériau, il y a deux facteurs importants. D'une part la multiplicité des acteurs et d'autre part une façon de procéder ; il s'agit de sortir de l'habitude et d'être très à l'écoute de ce peut apporter l'architecte.

Je dirai que l'architecte doit être persévérant. Il doit insister jusqu'à la limite.

J'ai entendu beaucoup d'entre eux dire que c'est très long et que cela demande beaucoup de temps et d'énergie.

Oui ; il faut une énergie fabuleuse. Il faut y croire pour tenir sur une longue période.

J'ai toujours pensé, depuis que je travaille dans ce domaine, qu'une alliance forte entre le fabricant de matériau et l'architecte est fondamentale pour arriver à des résultats qui sont en dehors des habitudes.

Mais cela dépasse aussi le matériau. Par exemple, je me souviens d'un débat entre Betsinor et Combarel sur l'espace entre panneaux. Les architectes voulaient 5 mm ; le pré-fabricant répond, 20 mm sinon, je ne vous le fais pas. Et petit à petit cela s'est resserré. Mais on a eu du mal. Il y a aussi les habitudes de chacun. Cela fait partir des blocages. Il leur fallait confronter leur propre expérience au nouveau produit. C'est la difficulté d'adopter une nouvelle solution ; ils n'en connaissent pas trop les limites ; ils se méfient. Il faut du temps et il est aussi important que le tempérament des gens soit ouvert à l'expérimentation, pour pousser les limites. C'est bien cela, toujours pousser les limites. Si on n'a pas cette volonté-là, on n'avance pas. On ne fait que ce que l'on sait faire.

Pourtant Betsinor a été très innovant avec le CCV. Le ciment de fibres de verre n'est-il pas un peu de la même famille que le Ductal® ?

Nous avons essayé de travailler avec eux il y a 4 ou 5 ans. Mais c'est resté infructueux. Ils restaient sur le CCV. Ils sont venus nous voir il y a deux ans. On développe petit à petit avec eux. Nous faisons le bâtiment pour la RATP à Thiais et des lames pare-soleil. C'est un peu dans l'air du temps pour le confort d'été. On s'est associé avec un designer. On a dessiné des formes. Betsinor a commencé à travailler sur la solution technique. Un prestataire spécialiste dans les processus de fabrication, nous aide à mettre au point une méthode de

fabrication pour injecter le Ductal®. Les lames font 4 mètres de long. C'est de la technologie. On a mis au point la solution qui est presque prête maintenant. Betsinor a travaillé sur les systèmes de fixation avec un autre prestataire. Il attend la première commande. C'est un travail très riche. Il y a de nombreux interlocuteurs : le designer, le spécialiste des processus, le prestataire pour les fixations, Lafarge, Betsinor. Sur d'autres applications, on a le distributeur.

Et pour améliorer le système, vers quoi pourrait-on aller pour que l'expérimentation – innovation puisse s'effectuer plus aisément afin de répondre aux nouveaux enjeux, tels que le développement durable, la construction pour le grand nombre... On imagine bien que les réponses d'aujourd'hui sont à enrichir ; certaines sont peut-être caduques... Il faut innover.

Innover. Si je reprends la chaîne des acteurs. Dans le cas de l'architecte, c'est évident. C'est une signature, il veut faire avancer les choses. La volonté chez l'architecte est là. Il veut toujours innover. Il n'y a pas de soucis. Ensuite, l'entreprise reste l'élément majeur. Le bureau d'études et le bureau de contrôle sont au garde-à-vous. C'est l'entreprise qui décide. L'entreprise innovera si, à l'intérieur, il y a une volonté forte et si elle est structurée pour cela. C'est un problème d'organisation. Par exemple, lorsque j'étais chez Bouygues au sein du département recherche et développement, on développait des nouvelles solutions, des nouvelles techniques. Par ailleurs, il y avait les équipes chantier dans lesquelles le responsable de chantier était très autonome. C'est une sorte de petite filiale indépendante. C'est assez bizarre. Ils sont prêts à prendre toute solution innovante dès lors qu'elle ne vient pas de l'entreprise, mais de l'extérieur. C'est assez curieux. Une sorte de méfiance. Donc, à l'intérieur de l'entreprise, il est très difficile d'innover parce que les gens chargés de l'innovation sont un peu coupés des opérationnels, du fait de l'organisation. Le chef de projet est complètement responsable de son projet avec un objectif de rentabilité et la direction générale ne peut pas lui imposer de prendre des solutions techniques en développement. J'ai pu constater que chez Vinci, c'est pareil. Chez Eiffage, c'est un peu différent. Les gens de la R&D sont un peu plus intégrés aux opérationnels. Lorsqu'une structure est trop liée au fonctionnement des opérations courantes, elle ne peut pas innover. Mais ce n'était pas le cas il y a 20 ans par exemple. A ce moment-là, la technique dans les entreprises de construction leur permettait de se démarquer. Bouygues a fait des tas de choses extraordinaires. La technique était la vertu de l'entreprise. Maintenant, c'est plutôt la rentabilité. L'aspect financier est dominant. C'est malheureux.

Antinomique du développement de la recherche ?

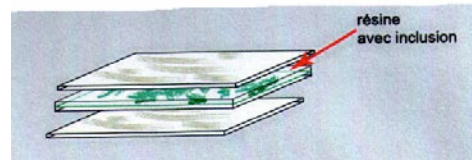
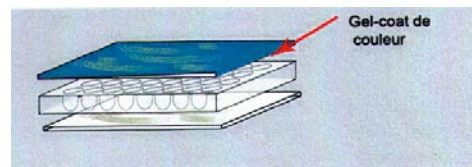
Oui, on recherche la rentabilité plutôt que la technique. On accepte l'innovation qui permet de gagner de l'argent. Cela a été le cas du téléphone chez Bouygues. Mais l'innovation ne peut pas être rentable au début. On doit faire des essais. On dépense plus d'argent qu'on en gagne. C'est normal. Quelques grands patrons sont conscients de cela. Chez nous, Bruno Laffont est conscient de cela, donc il met l'argent de départ pour l'innovation en espérant que le développement suive. Cela a été le cas d'Agilia, par exemple, le béton autoplaçant. Il fallait y croire au début. Maintenant le produit marche tout seul. On ne fait quasiment plus de R&D sur Agilia. C'est un produit du commerce.

Que faut-il améliorer ? Ce n'est pas facile à dire. L'innovation est fortement tributaire de l'organisation des entreprises. C'est souvent la volonté d'un individu. Il faut des grands patrons qui décident d'y aller, de mettre les moyens nécessaires pour développer la solution. Aujourd'hui, dans l'esprit des gens du monde de la construction, innover, se résume souvent à rechercher la solution la moins coûteuse pour réaliser un ouvrage. Mais innover, c'est faire mieux, trouver de nouvelles fonctionnalités, tout en essayant de trouver des économies.

Annexe N°12

Patrick Plécy : Cp concept

Peaux composites



Extrait du catalogue « Peaux composites »
(document Cp Concept)

Entretien avec Patrick Plecy, associé de la société CP concept.

Le 15 juin 2007.

11h. à 12h.15

Pouvez-vous décrire votre projet d'entreprise de fabrication de matériaux composites pour le Bâtiment pour lequel Jean De Giacinto a participé.

Pour répondre à cette question, je vais aborder plusieurs points de vue.

Dans un premier temps, précisons **l'exploitation de connaissances et des savoir-faire.**

Les composites sont connus depuis longtemps pour leurs performances. Christian Chevalier avec qui je suis associé dans cette opération les met en œuvre depuis longtemps dans des domaines plus traditionnels que le Bâtiment, comme l'architecture navale par exemple.

Depuis bientôt trois ans, nous nous sommes interrogés à leur mise en œuvre dans des secteurs nouveaux où ils n'étaient pas présents. Nous avons un objectif de rentabilité recherchant des secteurs dans lesquels on peut gagner de l'argent assez rapidement. Nous avons donc exploré les marchés solvables ce qui nous a conduit à exclure un certain nombre de domaines. Nous en avons retenu deux : le meuble et le Bâtiment, en nous orientant pour ce secteur vers les vêtements, les façades. Plus récemment, nous avons abordé l'architecture intérieure, c'est-à-dire les revêtements muraux, les cloisons, etc.

Nous avons mis longtemps à mettre sur pied une gamme de produits et à ce jour, c'est encore en évolution. Ces deux années d'activités ont été dévolues à l'investissement de recherche. Nous plantons le décor au plan commercial sans avoir encore obtenu de résultats en termes de marché. Cela vient aussi du fait que nous mettons des moyens limités dans la prospection commerciale. Comme nous n'avons pas de produits définitifs à présenter, nous n'investissons pas trop, mais nous serons toutefois présents à Batimat en novembre prochain.

Sur le plan des produits, nous sommes partis de notre compétence dans le domaine des composites. Nous commençons avec un produit très classique, facile à travailler : une résine polyester avec un renfort de fibres de verre qui se présente soit sous forme de tissu, soit de mat. Nous avons aussi beaucoup travaillé l'inclusion grâce au savoir-faire que nous avons acquis en particulier à partir des travaux réalisés par Jean de Giacinto et Arc Industrie en Gironde, avec qui nous avons loué des accords techniques et commerciaux. Décrit rapidement, cet accord signifie que nous transformons ce qui est fait à un stade artisanal en une vraie entreprise industrielle. Nous nous appuyons sur eux en acquérant leur savoir-faire.

Commercialement, ils auront les marchés des petites séries. Nous ferons les grosses séries ; ils réaliseront les prototypes et les moutons à 5 pattes puisqu'ils font tout à la main. Nous travaillons plutôt à fabriquer avec des moules automatisés, des processus. Nous avons une capacité d'investissement en méthodologie et en ingénierie de production. Il y a donc un partage aussi bien commercial que technique dans lequel tout le monde devrait y trouver son intérêt.

Du point de vue technique, l'inclusion dans le composite qui se présente comme un stratifié doit être quelque chose de plat. On ne peut pas faire l'inclusion de n'importe quel objet comme dans le plexiglass qui est une résine volumique. Cela peut être des plantes, des minéraux. Jean a fait pas mal d'expériences mais je pense surtout au tissu imprimé d'une image numérique. Ces tissus de coton se laissent très bien imprégner par la résine. Ils sont le support d'un motif indéterminé, qui a été imprimé auparavant. Nous croyons beaucoup à ce produit, mais curieusement, cela n'accroche pas beaucoup commercialement. Je ne sais pas pourquoi. Parmi tout ce que je montre, ce n'est pas ce qui retient l'attention au premier abord. J'aurais cru que cela soulèverait un très grand intérêt au niveau du meuble et du bâtiment. Cela n'a pas l'air d'être tellement le cas.

Regardons maintenant **les types de produits** que nous pouvons fabriquer.

Notre première démarche consiste à proposer des produits qui peuvent être fabriqués d'une part à la demande, et d'autre part en séries importantes. Il nous faut donc trouver l'outil adapté. Pour le premier point, nous avons défini un certain nombre de produits, présentés sur une plaquette que nous avons commencé à diffuser. Il y a six produits différents qui se caractérisent de cette façon.

Premièrement, il y a les produits monolithiques ou sandwichs. L'inconvénient du monolithique, c'est son poids, préjudiciable en grande dimension, surtout quand il est mis en œuvre de façon asymétrique. Cela crée des effets de couple qui le tordent. Pour les grandes dimensions, nous sommes obligés de renforcer l'épaisseur, ce qui le rend de plus en plus opaque. En effet, plus il y a de résine, plus le matériau est opaque, surtout quand il est chargé de fibres de verre. On a donc rapidement intérêt à prendre un sandwich, c'est-à-dire un panneau avec une peau de chaque côté et un remplissage. Si on veut que le produit soit tout à fait translucide, on réalise le remplissage avec un joli nid d'abeille comme celui-ci (il montre un échantillon bleu). C'est un nid d'abeille en polycarbonate que nous devons acheter et qui coûte assez cher. Si on veut un produit opaque, on met un gel coat sur une face, éventuellement sur les deux s'il faut un double parement, et on réalise le remplissage avec une mousse ou un nid d'abeille plus ordinaire.

La deuxième caractérisation, c'est l'opacité ou la translucidité. Ce ne sont pas les mêmes produits. Translucides, ils peuvent remplacer le verre dépoli. En cloison, les produits opaques peuvent être vendus aux cloisonneurs. Ils fixent un panneau de part et d'autre du

système d'armature traditionnel, rempli de laine de verre. Ils mettent des dispositifs de fixation en haut et en bas et les dispositifs à joints creux pour les assemblages entre panneaux. Dans ce cas, on fournit un matériau au cloisonneur. Une autre manière de caractériser notre produit serait de le définir par ce que l'économie en fait. Il peut être utilisé tel quel pour remplacer le verre ou il peut entrer dans la composition d'un produit final, comme la fabrication d'une cloison. On peut l'appeler tantôt matériau, tantôt semi-produit.

La dernière caractéristique technique consiste à faire une inclusion ou pas.

Dans cette matrice à plusieurs dimensions, on voit que certains cas de figure s'excluent d'eux-mêmes. On ne peut pas mettre un tissu imprimé sur un panneau sandwich translucide réalisé avec un nid d'abeille. Cela n'aurait pas de sens.

Voyons enfin ce que sont nos **marchés potentiels**.

Quand nous rencontrons les populations qui représentent notre marché : les architectes pour la vêtue, les architectes d'intérieur pour les cloisons, les space planneurs, les cloisonneurs....., nous nous apercevons qu'il y a énormément d'intervenants. En fonction des projets, ils jouent à chaque fois un rôle différent ; et à chaque fois, ils envisagent les différents produits avec leurs propres critères.

Certains sont intéressés par le matériau, d'autres par la performance technique, d'autres par la versatilité en termes de décoration. Nous n'avons pas encore bien vu une évidence au niveau du marché. Dans toutes ces possibilités, nous n'avons pas vraiment vu le produit ou les deux produits qui feraient fureur et qui nous permettraient d'abandonner les autres, sachant qu'on ne peut pas tout faire.

En termes de prix, nous n'avons pas trop de problème parce que notre approche industrielle nous permet d'envisager des coûts inférieurs à ce que pratique la concurrence. Les australiens par exemple, proposent ce type de fabrication avec des machines énormes qui représentent un investissement industriel en proportion. De plus, en travaillant avec Arc Industries, nous avons une versatilité bien plus grande, alors que les autres vendent du panneau. Nous sommes aussi bureau d'études. En fonction d'un cahier des charges, nous pouvons définir le produit, lui donner la teinte, le décor, avec toutes les nuances. On peut faire le produit qu'on veut.

Pour l'architecture intérieure, nous vendons les panneaux au m2, réalisés ou non en fonction d'un cahier des charges. En architecture extérieure, les produits sont plus spécifiques. Nous faisons des cassettes recouvrantes pour masquer les fixations. Notre point fort, c'est le matériau et sa décoration. Concernant la forme du produit et son mode de fixation, nous ne faisons qu'imiter ce que font les autres, dans l'aluminium, le métal laqué. Nous ne cherchons pas à inventer la poudre. Nous sommes plus légers et inoxydables.

Du point de vue des **questions techniques**, il faut ajouter deux paramètres supplémentaires : il ne faut pas oublier que le matériau brûle en intérieur, et il faut qu'il résiste aux UV en extérieur. Tout cela se gère, mais c'est difficile. Pour le comportement au feu, il n'est pas possible de faire une équation à partir des caractéristiques des différents matériaux qui composent le produit. Non. Le CSTB et la loi disent qu'il faut faire un test à chaque fois. Cela veut dire que lorsque nous mettons en œuvre des produits spécifiques comme le permet la technologie, avec des couches différentes selon des configurations originales, il faudrait un avis technique à chaque fois. Evidemment, il n'en est pas question. Nous réalisons actuellement un programme de certification, avec une aide de l'ANVAR. C'est un processus très long. Nous sommes confrontés à cette durée pour la commercialisation. Il arrive qu'on nous commande le produit qui justement est en cours de certification. Vous savez bien, vous qui êtes architecte, qu'avec les architectes, les décorateurs, on est beaucoup dans l'art. C'est ce produit-là qu'il faut et par celui-ci. J'ai beau expliquer que celui qu'on peut fournir en ce moment possède les mêmes caractéristiques que celui qui est choisi, ces explications ne suffisent pas pour faire affaire. Alors que dans le monde industriel ou des services, on s'adapte plus. Le téléphone portable est comme il est, un point c'est tout ; chez les concurrents, c'est à peu près toujours le même. Il faudrait que les gens prennent tout de suite pour argent comptant, un des échantillons qu'on a parmi ceux qu'on présente. Nous sommes très loin du catalogue de produits standards dans lequel les gens vont pêcher.

Au niveau de la **fabrication industrielle**, nous n'avons pas encore fait l'acquisition de notre site. Cela vient du fait que nous ne sommes pas complètement d'accord entre nous sur les produits qu'il faut faire. Mais tant que nous n'avons pas l'outil de fabrication, il est difficile de vendre et inversement.

Notre philosophie est celle de petites unités de production reproductibles et duplicables, comme la franchise dans le commerce. Nous allons faire du semi-industriel. Cela ne sera pas comme Arc Industrie qui travaille avec un pinceau dans une main, et un pot de résine dans l'autre, ni de la plasturgie avec ses fabrications intensives. Notre créneau est celui de l'outil qui coûte dans les 400 000 euros, maîtrisable par deux compagnons et qui tient dans un petit local. C'est étudié pour produire 20 000 m² de panneau. S'il faut faire 40 000 m², on fera une autre unité, soit chez un sous-traitant, soit au Maroc. On peut tout imaginer. Nous voulons maîtriser correctement une petite unité de production qui fonctionne dans un environnement HQE.

Actuellement, nous travaillons des produits thermodurcissables. Quand le produit est fini, on ne peut rien faire d'autre que le broyer, le mettre en poudre ou l'incinérer à de très hautes températures. C'est un souci. Chaque fois qu'on parle de polymères, on a tout le monde sur le dos. Le développement durable est devenu une obsession. On ne peut pas s'occuper trop

du problème du recyclage pour l'instant. On prétend déjà fabriquer en ne polluant pas. Cela peut se faire avec des installations en moules fermés avec de bons systèmes d'extraction pour piéger le styrène, etc... . Au niveau de l'outil de production, rien n'est encore fait car les aspects financiers bougent encore.

Pour fabriquer, il y a plusieurs possibilités. Soit par épandage sur une table, mais c'est très polluant ; soit avec une presse avec un moule et un contre-moule. On est moins flexible pour les dimensions, mais on ne pollue pas. L'idée, c'est d'avoir un système de production avec des presses. C'est de l'injection lente. C'est du RTM ⁽¹⁾. Ce ne sont pas forcément des presses. Cela peut être des bâches sous vide. C'est aussi très performant. Pour aller dans le monde de la cloison, il faut pouvoir faire des panneaux de 3m x 1,50m. La bonne pression pour cette surface sous-entend d'énormes presses. Et les coûts de presse montent de façon asymptotique en fonction de la force développée. Il faut donc aussi pouvoir se limiter. Qui dit injection lente, dit une dizaine de produits par jour. Cela nécessite donc un très bon ordonnancement de production. Il faut utiliser la flexibilité, concevoir des processus avec des temps masqués. Quand on fait le gel coat d'un côté, on envoie le chariot sous la presse de l'autre côté ; un troisième va en cabine d'étuvage qui accélère le temps de polymérisation. On est dans la très haute volée industrielle même si ce n'est pas pour 10 000 m2 d'usine.

Pouvez-vous préciser l'intervention de Jean de Giacinto dans ce processus ?

Nous avons un potentiel à faire des produits. Nous n'avons pas encore de produits en termes du commerce. Pour l'instant nous vendons un matériau, un semi-produit. Ce n'est pas un produit. (il montre la plaquette de présentation)

Nous avons toutefois dépassé le stade du matériau, sinon nous ne pourrions pas le vendre. Mais rien n'est très défini encore car nous ne connaissons pas encore ce qui va marcher.

Nous proposons une taille maximale, des caractéristiques techniques, des conditions d'utilisation, des classements au feu, et des images. Il y a un concept général que nous avons travaillé avec Jean ; il commence à y avoir des références. C'est une plaquette que nous avons faite ensemble.

Pour vendre les vêtements, pensez-vous proposer un système complet.

Nous ne pouvons pas répondre pour l'instant. Il est clair que nous ne sommes pas des façadiers, mais si le marché demande un produit qui inclut des systèmes de fixation, nous le ferons. Nous nous associerons avec des gens qui savent le faire. Nous avons déjà des contacts. Si nous nous engageons dans cette voie, il y aura un travail technique préalable

¹ RTM pour Resin Transfer Molding. Procédé de duplication de pièces en matériaux composite par injection, utilisant un moule fermé et rigide.

car notre panneau est plus léger, plus rigide qu'un autre, il conviendra d'adapter les systèmes de fixation, voire de les inclure si le marché se précise dans cette voie. Mais nous n'en sommes pas là.

Pour faire des produits composites en forme, avec des joints intégrés par exemple ou avec des systèmes de recouvrement, il faut faire des moules. En revanche, si on fait des produits plats, c'est beaucoup moins onéreux. Dans le premier cas, c'est la toute petite série. Il s'agit de la technologie du composite qu'on connaît bien. Ce n'est pas compliqué ; c'est de l'étude, de la main-d'œuvre et du temps à passer. Avec le travail de bureau d'études et d'ingénierie en amont, on peut réaliser un moule qui ne coûte pas forcément très cher. L'inconvénient, c'est qu'il va être bricolé et peu résistant. Un moule en composite s'abîme. Si on veut faire des séries plus importantes il faut un moule en métal ; c'est un long travail. Un moule en métal coûte des milliers d'euros ; si on veut travailler le parement, c'est un moule différent à chaque fois. On n'est plus dans le matériau, on est dans le produit fini. Vous comprenez qu'il faille réfléchir à deux fois avant de lancer une fabrication.

En ce moment, nous avons une potentialité immense avec nos matériaux, ou nos semi-produits. Lorsque le marché aura fait le tri, nous n'aurons plus que quelques solutions qui seront des produits. A ce moment-là, nous serons sur des rails. On ne pourra plus nous en faire sortir.

Annexe N°13
Terreal

Philippe Malé, directeur du département produits
Pierre Le Bot, responsable développement façade



Mise en œuvre du bardage en terre cuite. Terreal

(photo N. Hoyet)

Entretien

avec Philippe Malé, Directeur du Département produits
et Pierre Le Bot , Responsable Développement Façade - décoration

groupe TERREAL

Le 15 mars 2007 à Paris

Pouvez-vous évoquer la façon dont les innovations se formalisent au sein de la société Terreal.

Philippe Malé.

Nous avons deux approches pour créer de nouveaux produits. L'initiative peut venir de l'extérieur. Nous mettons alors au point des produits dans le cadre d'affaires spéciales, en relation à une opération d'architecture. Cette approche est apparue avec la mise au point de nouveaux produits d'enveloppe. Mais le plus souvent, l'initiative est interne à la société, et la démarche suit un processus propre à notre centre de compétence de la terre cuite , le CRED (Centre de Recherche Etude et Développement). Avant de détailler ces deux démarches, il me semble important de rappeler d'où nous venons.

Terreal est issue du regroupement de plusieurs sociétés : les sociétés TBF, Lambert, et Guiraud dans lesquelles il y avait une très forte politique d'innovation donnant lieu au développement d'une très large gamme innovante de tuiles , briques et parement. Par exemple, la société Guiraud a eu l'idée de la création de la brique hauteur d'étage, n'hésitant pas à créer une usine pour fabriquer le produit, alors que le marché ne lui était pas encore vraiment acquis. Elle pensait que la terre cuite ne pouvait pas se limiter à la brique maçonnée. Elle a eu l'idée de cette brique de hauteur d'étage destinée à réaliser des cloisons sèches en terre cuite. Cela a eu pour conséquence de faire des investigations sur de nouvelles matière premières et de nouveaux procédés de fabrication ; c'est à cette période (il y a 30 ans) ,qu'a été créé le C .R.E.D..

Au cours des années, la société a poursuivi des innovations fortes dans des produits à plus larges fonctionnalités (coffre de volets roulants , bardages de grandes longueurs). Nous fabriquons aujourd'hui des éléments de plus en plus complexes, dont nous maîtrisons de mieux en mieux les caractéristiques. Les dernières générations de systèmes d'enveloppe en témoignent. Aujourd'hui, le contexte a changé. Nous appartenons à un groupe important. De ce fait, nos capacités en recherche et développement ont augmenté. Nous avons des moyens en amont, qui nous permettent de mieux maîtriser le processus. Mais les opérations se font en se garantissant des risques. Il faut un marché pour étudier un nouveau produit.

Pourriez-vous détailler la méthode que vous avez mise en place pour ce type d'études.

Philippe.Malé.

Depuis 2002, nous avons restructuré la R&D en adéquation avec la direction marketing composée de quatre segments de marché : « la couverture », « le gros-œuvre », « les produits de façade rapportée » et « les produits de décoration ». Nous avons élaboré un guide du développement des nouveaux produits qui donne, à chacun une méthode. Lorsque l'idée d'une innovation se précise, nous mettons en place un projet qui réunit obligatoirement les trois entités: marketing, CRED, et usine de production. Le projet est piloté par un coordinateur qui fait équipe avec ces trois acteurs. Au démarrage, le marketing donne un cahier des charges fonctionnelles, à partir duquel le CRED établit les « spécifications techniques du besoin » mis à jour. Cela nous permet de décrire précisément les moyens qu'il est nécessaire de mettre en place pour développer le produit.

Quels types de besoins sont énoncés par le marketing?

Philippe.Malé.

Le plus souvent l'innovation vise la recherche de produits économiques : produits faciles et rapides de mise en œuvre , intégrant de nouvelles fonctionnalités valorisables , à coûts réduits ,....Par exemple une diminution des masses/m2 des produits en optimisant les performances. Nos produits sont commercialisés au travers d'une chaîne complexe où chaque acteur doit s'y retrouver en terme de marge : distributeur, entreprise générale, entreprise de pose , maître d'ouvrage , maître d'œuvre , bureaux d'étude technique et de contrôles.

L'innovation vise aussi des recherches sur l'esthétique où la demande est particulièrement forte actuellement. Nous avons déjà 6 ou 7 couleurs de coloris en gamme et avons donné l'impulsion depuis le dernier salon BATIMAT 2005 de développement de produits avec des modénatures de surface. Aujourd'hui, c'est juste à la hauteur du besoin et il faut aller plus loin. Les tendances évoluent vite dans le métier de la façade. Il faut donc être très à l'écoute. Un autre vecteur d'innovation est la recherche de solution de finition des ouvrages ; développement d'accessoires pour les points singuliers des façades, au niveau des ouvertures notamment.

Comment cela se passe-t-il lorsque vous travaillez avec un architecte ?

Philippe.Malé.

La mise au point du système d'enveloppe en terre cuite, posé à sec, a commencé en 1993, année où nous avons travaillé pendant huit mois, avec Paul Vincent de l'agence Renzo

Piano, à la conception d'un bardeau de grande longueur pour la Cité Internationale de Lyon. Cela a représenté un investissement recherche très important qui s'est fait en étroite collaboration avec les chefs de projets architectes. Ils avaient des idées très précises sur la forme du produit et les systèmes de fixation. Nous avons commencé la production de la première tranche dans notre usine de Lasbordes qui fabrique les briques hauteur d'étage. Ce produit s'est imposé. Il a fait référence et nous devons beaucoup de sa notoriété à l'agence Piano qui a su communiquer dans le monde entier sur ce chantier.

En 1996, à l'occasion de la deuxième tranche de la Cité internationale, nous avons transformé l'usine de Revel qui était spécialisée en carrelage pour fabriquer les produits de façade. Aujourd'hui, cette usine produit 180 000 m² par an, uniquement des produits d'enveloppe.

De 1996 à 2000, nous avons fait évoluer la dimension des bardeaux : de 20 cm de hauteur, nous sommes passés à 30 puis 42cm et avons diminué l'épaisseur du produit alvéolé en passant de 7 à 4 cm (ce qui a eu pour avantage une réduction de 30% en masse/m²). Le travail de recherche avec les architectes est très riche et nous recherchons aujourd'hui à reconstruire des relations avec eux pour développer la créativité.

Nos efforts portent aujourd'hui sur le développement de la capacité des usines tout en ménageant une certaine flexibilité pour être également capable de produire de l'innovation.

Au début des nouvelles fabrications (année 80/90) , lorsque nous mettions au point l'outil de production pour un nouveau produit, nous pouvions avoir jusqu'à 50% de rebus. Aujourd'hui ce n'est plus le cas, car nous maîtrisons de mieux en mieux le processus de développement et d'industrialisation. Nos prototypes sont réalistes et notre savoir-faire de développement est de plus en plus performant. C'est un système plus confortable, où les risques ont considérablement diminués, qui est en cohérence avec notre gestion financière. De ce fait, les investisseurs ont confiance et nous donnent les moyens de nous développer. Mais nous mettons plus de temps à valider une hypothèse ce qui nous rend peut-être un peu moins réactifs. Pour les affaires spéciales, cela nous pénalise. La part de risque y est toujours plus importante.

Pourriez-vous détailler votre savoir-faire de développement.

Philippe.Malé.

Lorsque la forme du produit est précisée, à partir des différents cahiers des charges, nous l'étudions en CAO. Nous avons des outils très puissants qui nous permettent de modéliser et de prédire le comportement des produits en fonction de leurs caractéristiques. L'évaluation de la résistance mécanique par exemple est intégrée à la conception. A partir de cette modélisation en 3D, nous fabriquons un prototype en résine à partir de l'ordinateur. Nous

avons investi depuis deux ans dans une machine d'usinage qui nous permet de faire du prototypage rapide.

Cela nous a fait faire un énorme bond en avant. Avec le prototype en résine, nous testons le produit sur la ligne de production pour vérifier qu'il passe bien à tout les stades du processus de fabrication. Le prototype nous sert à valider le cahier des charges fonctionnel. C'est aussi un moyen d'impliquer les équipes projets. C'est motivant parce que cela met déjà le nouveau produit dans l'usine. Il faut bien dire qu'un nouveau produit, c'est toujours perturbant. Avec ce moyen, on implique les gens. On les motive. Après cette étape, cela va très vite. On entre en phase d'essais au cours de laquelle on valide toutes nos hypothèses par l'expérimentation. Nous disposons d'une ligne pilote avec laquelle nous pouvons reproduire les vraies conditions de fabrication. Cela nous permet de fabriquer des produits en terre cuite qu'on peut alors tester en performances. C'est à ce stade que nous faisons venir les architectes. On peut dire que nos études nous permettent d'être justes à 85%. Les ajustements qui restent à faire sont mineurs. On est passé de l'évaluation empirique à un processus de prédiction et de validation par l'expérimentation. On peut dire que Terreal a engagé des moyens importants en R&D depuis 5 ans pour nous permettre d'atteindre ce niveau de maîtrise .

Est-ce que le processus est identique pour les affaires spéciales ?

Pierre Le Bot .

Oui ; du point de vue du développement. Par exemple, pour l'opération de la Cité du Millénaire réalisée à Aubervilliers avec l'agence d'architecture Arte Charpentier, nous avons fabriqué un système à la demande de l'architecte.



Cité du Millénaire à Aubervilliers. Arte Charpentier, architectes. Un bardage aux dimensions coordonnées avec les menuiseries. (Chantier Terreal ; photo N. Hoyet)

Ils voulaient une dimension précise, qui se coordonne avec la largeur des fenêtres, et une couleur précise, un rose qu'ils avaient vu sur une brique italienne.

La question de la dimension a été facile à régler. Nous sommes partis d'un système existant, en double peau, fixé sur un rail continu. Nous avons créé un produit plus résistant pour les parties basses, en prévention des chocs. La différence se trouve dans la constitution des parois internes de la brique.



Les deux types de bardage : à 2 parois pour les parties courantes et renforcé pour les parties basses.

Les dimensions extérieures sont constantes. La mise au point de la couleur nous a obligé à faire de nombreux essais. La couleur de la terre cuite dépend de la matière qui réagit différemment à la cuisson. La production d'une couleur nécessite obligatoirement des essais sur les conditions de fabrication. Pour ce cas précis, nous avons produit 12 couleurs, avec des terres de provenances variées. Nous en avons retenu 4. A partir de ces quatre échantillons, nous avons fait choisir les prescripteurs. L'évaluation finale du produit est cruciale pour nous. De ce choix, dépend toute la mise au point de la production. Il doit donc être irrévocable. Mais quand les décideurs sont nombreux, ce type de décision est toujours problématique. Dans ce cas, nous avons fait venir la totalité des gens concernés autour de l'architecte. Cela représentait une douzaine de personnes. A la fin de la journée, le choix était définitif.

Il y a un autre aspect important pour les affaires spéciales. C'est le suivi du projet. Il faut rester très vigilant car la prescription peut rapidement basculer. Dans ce cas-là par exemple, nous tenions régulièrement informés de l'avancement de nos études, les architectes et les ingénieurs, le bureau de contrôle notamment. Il faut être tout le temps disponible, mais cela en vaut la peine. Ces opérations sont importantes pour l'entreprise car les produits de façade représentent une bonne part de notre notoriété, véhiculée dans le monde entier. Et

même si ces produits ne sont qu'une petite partie du chiffre d'affaires, ils sont à très forte valeur ajoutée et la production croît chaque année de manière significative.

Les opérations que vous effectuez avec les architectes vous apportent-elle autre chose qu'une simple commande ?

Philippe.Malé.

En effet, nous sommes très demandeurs des échanges avec les architectes. L'innovation est tributaire de notre créativité. Pour innover, nous devons changer nos habitudes. Ce n'est pas toujours facile à réaliser en interne. Récemment nous avons réalisé un produit spécial pour une des salles du Palais de Chaillot qui est en rénovation. C'est un produit de parement courbe. Nous avons pu le fabriquer grâce à notre ligne pilote. Cette expérience n'est pas significative par rapport au marché qu'elle représente mais elle nous a fait réfléchir sur notre mode de production avec des points de vue que nous n'aurions pas abordés seuls. Cela nous fait progresser. Dans un autre ordre d'idée, je pense qu'il nous faudrait mener une réflexion de fond sur la tuile. La couverture pose beaucoup de questions nouvelles avec les problèmes énergétiques. Or les innovations qu'on nous demande aujourd'hui consistent à retrouver l'image des toits anciens. C'est un peu en décalage par rapport aux grands enjeux qui se posent par ailleurs. J'ai le sentiment qu'il faudrait aborder ce produit de façon nouvelle.

A quel terme les innovations sont-elles projetées ?

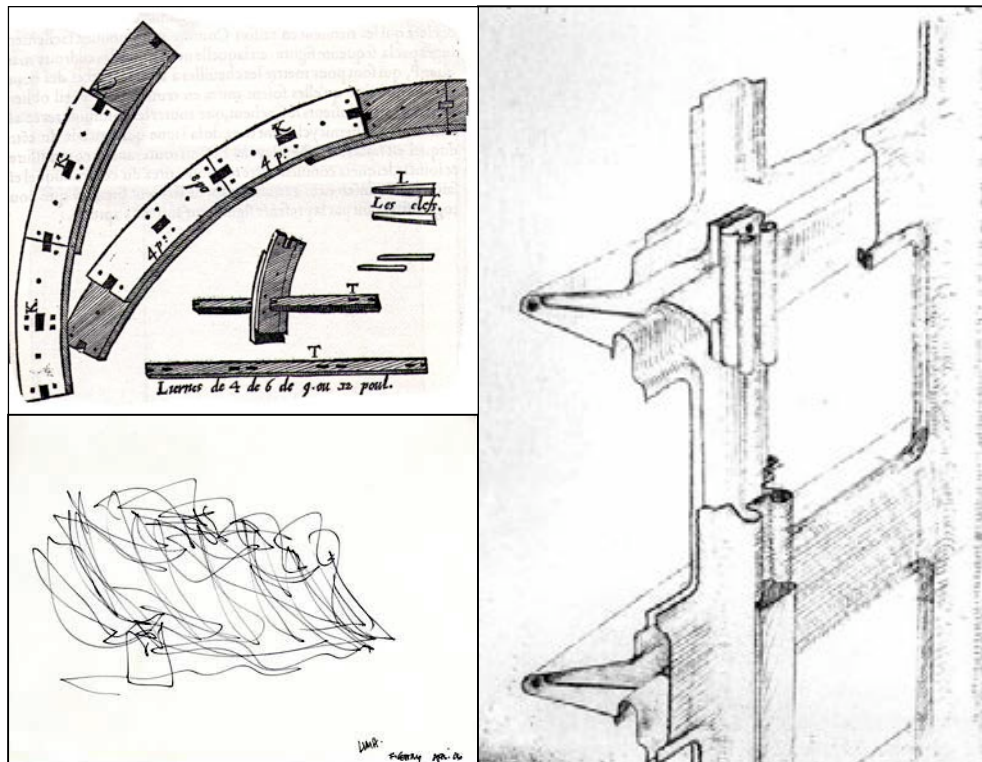
Ph.M. Nous travaillons avec une visibilité sur deux ans et une projection à 5ans

Deuxième partie : études de cas

Philibert de l'Orme

Jean Prouvé

Franck O'Gehry



le cas de la charpente à bois courts de Philibert de l'Orme.

INVENTIONS POVR BIEN BASTIR. 42



Lorsqu'à l'âge de 30 ans, Philibert de l'Orme inaugure en présence de François 1^{er}, le château de St Maur commencé trois ans plus tôt à l'initiative de Jean Du Bellay, il est déjà en pleine possession de son art. Un ou deux voyages l'ont conduit en Italie à l'adolescence et le Pape Paul III lui a demandé de travailler à son service depuis une dizaine d'année déjà. L'année suivante, il devient conducteur général des ouvrages et fortifications de Bretagne, et sa charge de surintendant des bâtiments royaux, lui donne l'occasion de réaliser des opérations de toute nature, diversement disséminées sur le territoire.

Il s'attribue le mérite « d'avoir porté en France la façon de bien bastir, osté les façons barbares et grandes commissures » (Pérouse de Montclos, 1988). Le château de St Maur, conçu à son retour d'Italie inaugure un parti constructif qui rompt avec la tradition gothique. « Les grandes « commissures », ce sont les joints épais de l'appareil médiéval que l'inventeur de la stéréotomie a réduits au trait fin de la géométrie. L'apport technique est mis au même plan que l'apport stylistique ». (idem)

Il connaît parfaitement le travail du bois, en charpente comme en menuiserie, voire en ébénisterie lorsqu'il réalise les décors du cabinet de la Reine à Fontainebleau ou les stalles de la chapelle du château de Vincennes. Les travaux de génie civil lui sont familiers. Il fait réaliser les charpentes pour la construction du Pont St Michel à Paris et des ponts de Poissy et St Germain en Laye. En 1561, à l'âge de 47 ans, lorsque Charles IX accorde son privilège pour l'impression des « Nouvelles Inventions », Philibert de l'Orme possède une expérience très complète de l'architecture. Les programmes variés qu'il a dirigés ont été l'occasion de maîtriser toutes les techniques de construction en cours à l'époque. Et ses connaissances savantes, notamment en géométrie, lui donne les moyens d'anticiper et d'inventer.

Faire face à des ressources qui se raréfient.

Vous n'avez plus affaire de grands arbres pour faire des Pannes, Chevrons, Jambes de force, & autres grosses pièces, mais seulement d'ais (¹), desquels on se sert à faire portes et fenêtres, et ne sont bons à mettre en œuvre, qu'ils n'aient pour le moins trois ans passés .

¹ des planches

C'est par cette mise en garde aux architectes, maçons et charpentiers, que Philibert introduit son traité « Nouvelles inventions pour bien bastir et a petits frais ». Il dénonce la raréfaction de l'approvisionnement en bois de charpente.

En effet, en France et dans toute l'Europe, « les civilisations d'avant le XVIIIème siècle sont des civilisations du bois et du charbon de bois » (Braudel 1967). Le bois, matière première universelle, est exploité comme une ressource inépuisable.

« C'est en bois que sont fabriqués les moyens de transport terrestres et maritimes, les ustensiles et les outils. (...)C'est en bois que sont la plupart des instruments aratoires. » (Duby, 1975) Les engins de guerre font appel aux meilleurs bois ; les arsenaux vident les forêts. La combustibilité du bois n'a encore que peu d'égal ; il reste la seule énergie capable de chauffer efficacement. « le bois sert à la cuisine, au chauffage des maisons, à toutes les industries à feu (...) les bouches à fer, fourneaux à fer, verreries, tuileries et atelier de carbonisation » (idem).

Matériau polyvalent et combustible à la fois, le bois est puisé dans les immenses forêts, aux essences diversifiées. Mais cette exploitation grandissante a des effets dévastateurs. La forêt de François 1^{er} voit sa surface réduite de moitié en un siècle. Car son exploitation ne se limite pas à l'usage du bois. « Ces gaspillages forestiers ne sont pas les seuls, ni même les plus dangereux à long terme. Sans fin, le paysan, particulièrement en Europe, déracine les arbres, « essarte », pour étendre les labours » (idem). La renaissance agricole tend toujours « au défrichement » plus qu'à l'innovation.

La croissance démographique et les besoins amplifiés rendent l'approvisionnement des chantiers, en particulier près des villes, de plus en plus problématique.

Philibert l'a probablement constaté à ses dépens. Son génie inventif le pousse à y trouver remède avec les moyens qui sont les siens, c'est-à-dire, la conception architecturale et technique d'un nouveau système de charpente. Son propos est sans ambiguïté. Il s'agit bien d'adapter les modes constructifs aux réalités économiques.

Dans un premier temps, il s'agit de chercher une alternative aux grandes pièces de bois qui ont disparu des forêts :

Mes amis, ce qui m'ému de chercher cette invention, na point été pour lucrative, ni moins pour porter dommage à personne qui soit [...] mais plutôt pour la nécessité des grands bois qui ne se trouvent plus en France, et si aucun s'y trouvent, ils sont fort rares.

Dans un deuxième temps, le concept aidant, Philibert s'adresse à tous ceux qui construisent et pourront le faire à moindre frais étant donné les avantages du système :

mais aussi à vous tous, pour avoir la commodité de faire plus pour cent écus que vous ne pourriez pour trois cents. Par ce moyen vous gagnerez plus que vous ne

faites, avec ce qu'il ne vous faudra d'engins et cordages, ni si grandes voitures, comme vous aviez accoutumé : qui vous sera une grande épargne.

Le problème des ressources auquel il entend porter « remède » est probablement à l'origine de son invention. Avant d'être une réponse technique, son traité pose la question du système de production, de l'état des ressources et des moyens d'approvisionnement des chantiers. Philibert de l'Orme propose un mode constructif des charpentes adapté à une pénurie profonde. Pour se renouveler, la forêt exige entre 30 et 50 ans, selon les essences. La parfaite connaissance qu'il a de l'état des forêts, présence et nature des bois, et des modes d'approvisionnement tributaires d'un réseau viaire insuffisant, élargit encore la portée de son analyse. Ainsi, lorsque Philibert met au point, au milieu du XVI^{ème} siècle, sa charpente à bois courts, il y a urgence à rechercher des matériaux ou des techniques de substitution aux charpentes traditionnelles.

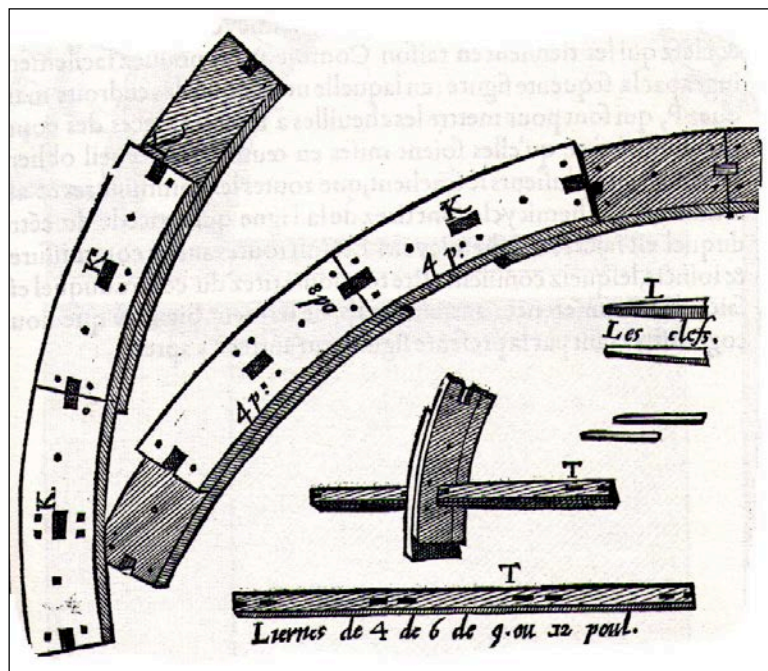


Figure 1 (annexe 15) : Détail de l'assemblage des planches courbes

Un nouveau principe constructif de charpente

Philibert décrit son invention au moyen de dessins de montage extrêmement précis, « une illustration qui rappelle étonnamment le dessin industriel » (Potié).(fig.1) Les commentaires qui accompagnent les illustrations fournissent toutes précisions utiles à la mise en œuvre, nature des matériaux appropriés, façons de montage, provenance des planches... . Le principe consiste à assembler une double rangée de planches, maintenues entre elles par un système de clavetage. Les fermes en berceau, construites selon le principe statique de

l'arc, sont reliées entre elles par les liernes, elles-mêmes maintenues aux fermes par des clés taillées en biais, enfoncées au marteau. (fig.1) Les liernes font office de contreventement horizontal des fermes en arc. Leur système de fixation par clés assure le placage des deux rangées de planches entre elles.

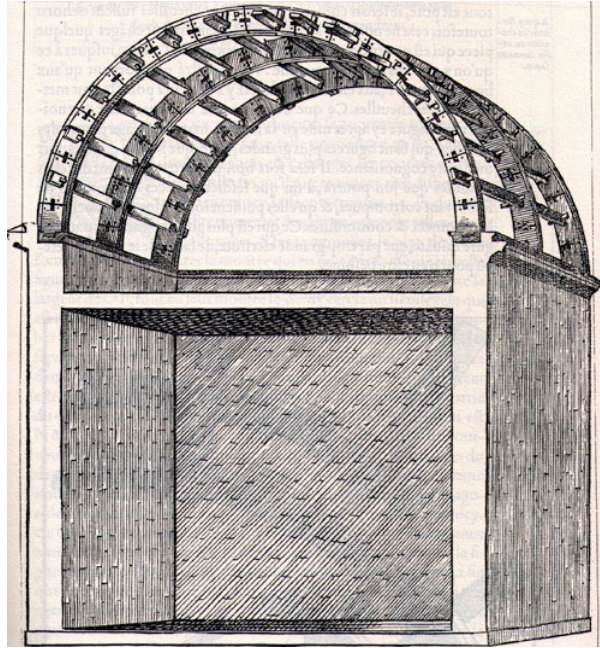


Figure 2 (annexe 15) : Construction d'une charpente

L'avantage architectural majeur de l'invention réside dans sa capacité à franchir de grandes portées sans appuis intermédiaires. Philibert a inventé l'arc en « lamellé plaqué » (fig 2).

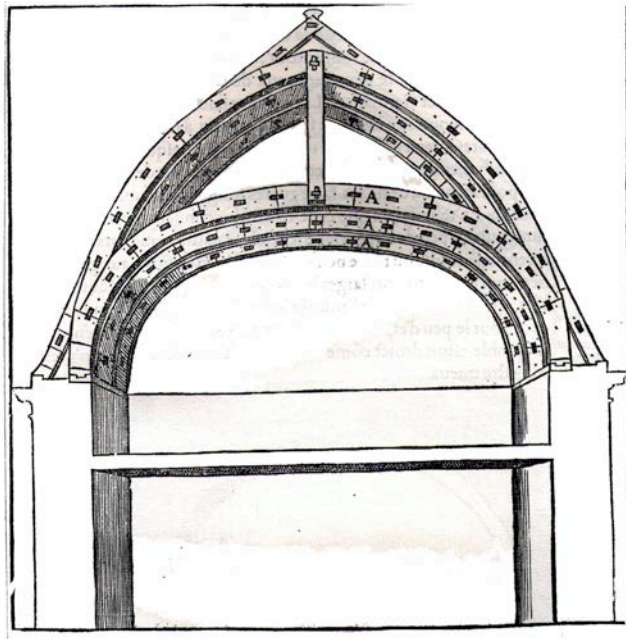


Figure 3 (annexe 15) Adaptation de la charpente à la largeur du bâtiment

Il propose des variations formelles destinées à adapter le système de charpentes aux différents usages. Il prévoit ainsi des types pour adapter le système de couverture à la largeur du bâtiment, la difficulté provenant d'un rayon de courbure trop important pour les petits bâtiments, incompatible avec la pose des ardoises ou des tuiles. (fig.3)

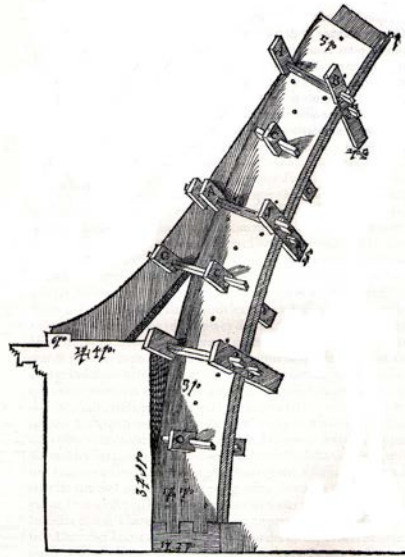


Figure 4 (annexe 15) : détail de rive : confection d'un coyau

Il réalise des détails spéciaux, notamment de rives, de coyaux, ou lanterneaux en faîtage de galeries... (fig.4)

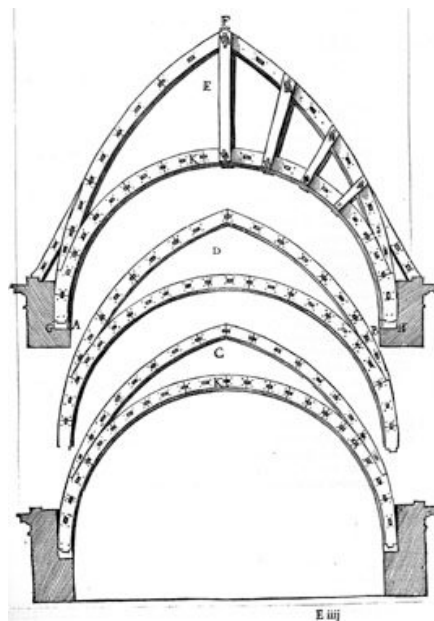


Figure 5 (annexe 15) : Variation des formes de charpente pour satisfaire à différents styles

Il prévoit de dissocier la forme intérieure de la couverture, c'est-à-dire l'espace sous comble, de la forme de la couverture tributaire du style souhaité. (fig5)

6.1.1.1 Déclinaison de système. Le prototype de la poutre à petits bois.

Les études sur les différentes formes de charpente sont l'occasion de la mise au point d'un arc surbaissé qui introduit à la conception « d'une poutre de plusieurs pièces », objet de la deuxième partie du traité. (fig. 6)

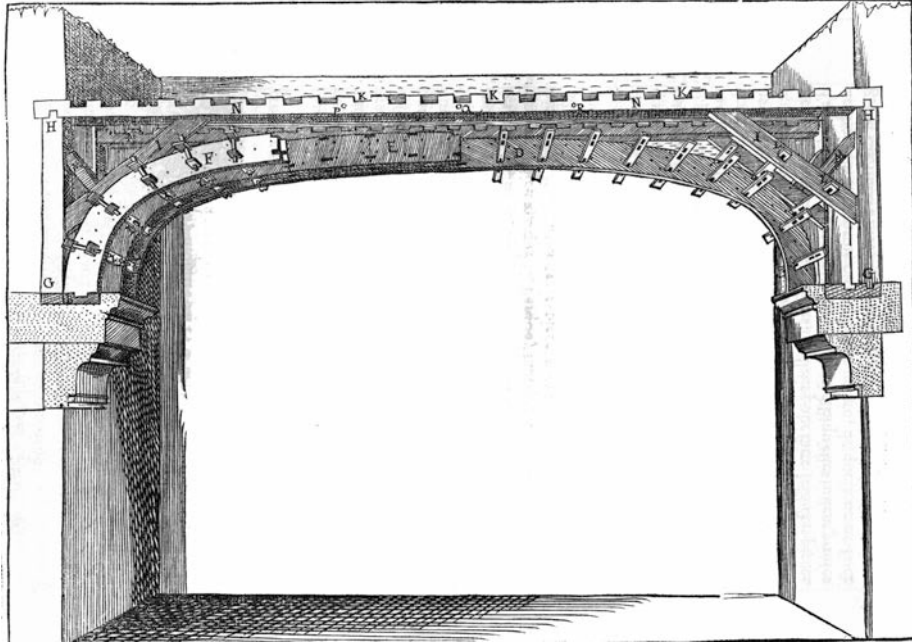
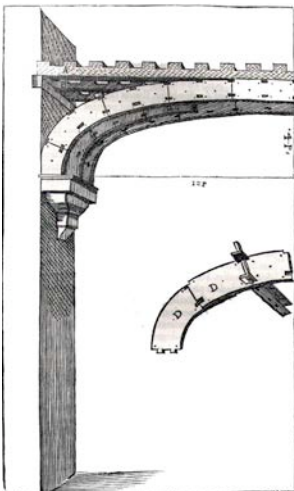


Figure 6 (annexe 15) : réalisation d'un plancher avec le système de charpente à bois courbes

Pour faire la preuve de la qualité de son invention, Philibert fabrique un prototype « en son logis près les Tournelles à Paris » qu'il teste « en la présence de sadicte Majesté et d'autres princes et seigneurs ».



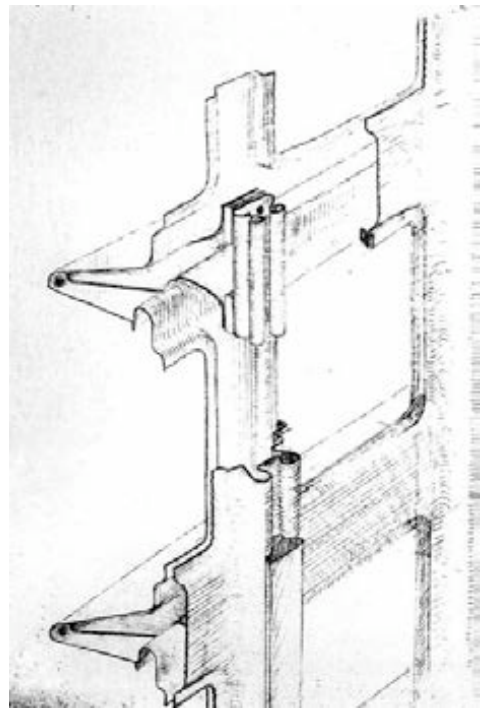
Le prototype comprend deux poutres, l'une de 225 pièces et l'autre de 263. (Fig6&7) Il est mis à l'épreuve de la solidité à l'aide de deux vérins, sans bouger même « d'un demi-doigt ». (figure 7).

Figure 7 (annexe 15) : prototype de poutres.

L'invention que décrit Philibert dans son traité se formalise en réponse au contexte socio-économique de l'époque, marqué par une raréfaction des bons bois de charpente. Pour

résoudre ce problème, Philibert, érudit de génie, invente un système constructif capable de résoudre des exigences provenant d'horizons variés. A la faveur de cette découverte de forme de charpente fortement inspirée de ses connaissances en stéréotomie, Philibert répond à la question des ressources tout autant qu'à la demande de couverture d'édifices de plus en plus vastes. Et la remarquable efficacité de l'invention autorise des gains considérables. Philibert prétend que les économies sur le bois d'œuvre, couplées à celles d'une mise en œuvre très simplifiée, réduisent au tiers les coûts des ouvrages. Son invention est globale, autant substantive que procédurale. Le système proposé répond à des usages architecturaux adaptés à des types programmatiques d'une grande diversité (ordre substantif), et il doit son efficacité à une organisation de la production radicalement originale (ordre procédural). De nouveaux savoir-faire en dépendent. La fabrication en séries des petits bois courbes s'effectue à partir de quelques gabarits, ouvrages familiers des menuisiers plutôt que des charpentiers, probablement réticents à ce mode de fabrication qui ne convoque aucun de leurs savoirs. L'épure n'existe plus. Le bois utilisé ne porte plus la majesté de l'arbre. Les assemblages se réduisent à des clavetages mécaniques faisant fi des savoir-faire savants des traits de charpenterie. Le succès de l'invention de Philibert n'est pas immédiat. La cause est probablement à rechercher dans la réticence des charpentiers. L'innovation procédurale n'a pas été accueillie par le milieu professionnel. Mais la diffusion de la découverte grâce à la publication du traité effectué à la demande du Roi Henri II, lui a donné un statut de connaissance technique, quasi scientifique. La découverte appartient dès lors aux savoirs des architectes. La liberté mentale de Philibert à l'égard du matériau et de ses usages traditionnels, qui l'a conduit à concevoir d'importants franchissements avec des petites pièces de bois, servira encore d'inspiration quelques siècles plus tard aux pionniers de l'architecture en fer.

Le cas de l'invention du mur rideau de Jean Prouvé.



brevet d'invention N° 1.065.839.
Panneau de façade à voiles multiples

« Je ne suis qu'un ouvrier. Dans le fond, je suis parti de là et tout ce que j'ai fait dans la vie, je l'ai fait simplement, sans me poser de questions profondes » (Lavalou,2001).



Photo N°1 (annexe 16) : Jean Prouvé pendant son apprentissage chez Emile Robert (1916 – 1919). (Sulzer, 1999).

Ce constat lapidaire fait par Jean Prouvé, à l'âge de 81 ans sur sa vie passée, s'il aide à comprendre sa personnalité, est bien éloigné du foisonnement de « tout ce qu'il a fait dans sa vie ». Né au début du XXème siècle, au printemps 1901, Jean Prouvé s'est activement engagé dans deux des grandes époques qui ont marqué ce siècle.

Un homme du XXème siècle

Avant la première guerre, il est un membre actif des recherches sur la modernité, en relation avec d'importants architectes de l'époque. L'installation de son premier atelier de production date de 1924. Le contexte « est celui d'un courant moderne de la production du bâti qui se cherche [...] en tentant à la fois de se définir de nouveaux moyens de fabrication – l'industrialisation fordienne du bâti – et un nouveau langage de l'espace – l'architecture moderne ». (Bignon et al,1990). Dans un premier temps, Jean Prouvé réalise des travaux de ferronnerie, la grille exécutée pour Mallet Stevens en est un bel exemple. Rapidement, il explore les possibilités constructives de la tôle mince. En 1928, il perfectionne le travail de l'acier inox et entreprend des recherches sur des mécanismes d'ouverture et de fermeture de portes. Il dépose des brevets pour des panneaux ouvrants et pour la fenêtre à guillotine, dispositif qui sera installé à l'hôpital Grange Blanche réalisé par Tony Garnier à Lyon en 1933. Une cinquantaine de personnes travaillent alors dans les Ateliers Jean Prouvé. L'essentiel du chiffre d'affaires est réalisé avec la fabrication de cloisons et de menuiseries métalliques toutefois, l'arrivée d'une nouvelle affaire dans l'atelier, est l'occasion pour Jean Prouvé de créer des solutions techniques originales.

Avec Marcel Lods, pour l'aéro-club de Buc , puis pour la maison du peuple de Clichy, il met au point des panneaux de façade autoportants destinés à être produits industriellement.



Photo N° 2 (annexe 16) : Maison du peuple à Clichy. Façade de la galerie marchande avec marquise. Etat en 1998, après restauration. Marcel Lods, architecte. (Sulzer, 2000)



Photo N° 3 (annexe 16) : Maison du peuple à Clichy. Façade de la galerie marchande avec marquise. Etat en 1998, pendant la restauration. Marcel Lods, architecte. (Sulzer, 2000)

Chaque projet lui permet d'améliorer le système, notamment au niveau des détails de joint, de rive, d'angle, ou d'escamotage de l'ouvrant dans l'allège.

Après-guerre, il est engagé dans le débat de la reconstruction. Ses activités de résistant l'ont conduit en 1944 à assurer la charge de maire de Nancy, nommé par le Comité départemental de Libération, mais il ne se présente pas aux élections de 1946. Les acquisitions de ses recherches antérieures lui permettent d'envisager une production

industrialisée. De nombreux prototypes d'habitats individuels destinés à des contextes sociaux et climatiques variés témoignent de cette démarche. Le développement de la production de ses Ateliers pourrait profiter de l'apport de capitaux extérieurs permettant l'acquisition de nouvelles machines. Lorsque l'industrie de l'Aluminium intéressée à trouver des débouchés à sa production propose une association aux Ateliers Jean Prouvé, cela apparaît comme une opportunité intéressante pour les deux parties. Mais Jean Prouvé est avant tout un chercheur et un grand humaniste, profondément marqué par l'idéal de l'Ecole de Nancy où création et production étaient indissociées. Le fonctionnement de ses Ateliers, basé sur la responsabilité et le respect de chaque membre du personnel, et dont le processus de production est plus prototypique que de grande série, ne supporte pas la confrontation avec la culture financière et commerciale de la grande industrie. Cette incompatibilité contraint Prouvé à quitter son usine en 1953, alors qu'elle compte 300 personnes et des machines très performantes progressivement acquises. Il se consacre dès lors à la conception, dans le cadre d'un bureau d'études qu'il crée rue de Louvois et dans lequel le suivent deux de ses fidèles collaborateurs, rapidement racheté par la CIMT (Compagnie industrielle de matériel de transport) qui cherche à diversifier ses activités. Mais Prouvé considère cette période de vie comme « du rabiot ». Il n'y trouve pas de véritable satisfaction, car il est coupé de la fabrication.

Il ne travaille pas dans une usine mais dans un bureau, alors qu'il considère que « c'est par l'atelier que les bonnes idées arrivent : les exécutants, les ouvriers, les manœuvres, ceux qui faisaient marcher les presses, ceux qui soudaient, contribuaient par les idées qu'ils apportaient à longueur de journée à mettre au point un objet dans un temps extrêmement réduit ». (Lavalou, 2001). Cette observation que fait Jean Prouvé à propos de la conception d'un meuble, qui s'effectue par la mise au point d'un prototype réalisé à partir de son dessin, synthétise l'état d'esprit qu'il fit régner dans ses Ateliers.

De cet itinéraire riche et vaste, nous examinerons plus en détail l'apport inventif de Jean Prouvé à la conception des façades légères.



Photos 4 et 5 (annexe 16) : Usine de Maxeville, 1953. (Sulzer, 2005)

La démarche inventive

Jean Prouvé invente les techniques constructives de l'espace moderne en se référant à des domaines de connaissances qui embrassent plusieurs cultures :

- Sa vision de la conception architecturale est celle des concepts émergents des années 20 qu'il partage avec les nombreux architectes qu'il côtoie.
- Sa culture tant technique que constructive procède de la maîtrise qu'il possède de la transformation du fer et de l'acier.
- La démarche conceptuelle qu'il affectionne est pragmatique, induite par le « faire », en interrogation perpétuelle des capacités physiques de la matière.

des concepts émergents des années 20

De ce fait, sa conception de la façade s'inscrit avant tout dans l'approche globale de l'espace moderne, « de la nouvelle façon de faire l'architecture », affranchie des murs porteurs périphériques. C'est sans doute pour cette raison qu'il se défend d'avoir été l'inventeur du mur-rideau, comme la critique architecturale le lui attribue.

« Jamais je n'ai pensé inventer le mur-rideau. J'ai imaginé, bien avant le marché de Clichy, une nouvelle façon de faire l'architecture, une nouvelle façon de mettre en œuvre les matériaux. Alors qu'on ne construisait que des murs qui étaient porteurs, j'ai imaginé des immeubles structurés différemment. Ils comportaient une structure en métal ou en béton, comme un être humain comporte un squelette, auquel il fallait ajouter le complément logique d'un squelette : l'enveloppe. L'idée était donc de l'envelopper d'une façade légère. [...] Il est probable qu'à Clichy, c'est la première fois qu'on inventait une architecture comportant un mur-rideau. ». (Lavalou, 2001) En effet, Marcel Lods témoigne de l'apport inventif de Prouvé, alors qu'il effectue des recherches pour construire plus léger « Il fut possible d'aller plus loin, grâce au travail fait avec Prouvé. J'avais rencontré ce dernier et il m'avait dit que l'on pourrait étudier des façades légères ». (Bignon et al,1990) Et lorsque Franck Lloyd Wright visite la Maison du Peuple de Clichy en 1938, et qu'il découvre les capacités fonctionnelles du panneau de façade dont l'épaisseur totale n'est que de 60mm, il considère bien Jean Prouvé comme le véritable inventeur de cette technique de façade légère dont les prémisses s'élaborent aux Etats Unis avec l'Ecole de Chicago, au cours du siècle précédent. Wright sait donc de quoi il parle ! Ainsi, tout au long de sa carrière, Prouvé, au gré des commandes, perfectionne les techniques de mises en œuvre de la façade légère, explorant aussi bien les propriétés des matériaux, que leur mise en forme, que les dispositifs qui assurent le mouvement des pièces ainsi que leur résistance mécanique. Son inventivité naturelle est amplifiée par sa très grande connaissance du travail du métal qui représente l'essentiel de son activité.

La transformation du fer et de l'acier.

La société de production qu'il crée et anime, les « ateliers Jean Prouvé » , lorsqu'elle prend la forme d'une société anonyme se définit avec l'objet suivant :

« Exécution de tous travaux et constructions métalliques concernant la serrurerie, la ferronnerie d'art, la menuiserie et la charpente métallique ; toutes applications du métal à la construction ; l'installation et aménagements d'immeubles ; l'ameublement ; la fabrication et le commerce de tous produits métalliques pour la construction ; toutes opérations immobilières ». (Bignon et al,1990). Jean Prouvé, entrepreneur, fort de sa connaissance infailible des matériaux, acquise par sa pratique d'artisan, sait choisir les machines capables de simplifier et d'accélérer les tâches des ouvriers, sans les mécaniser totalement. Il transpose les principes de son art au fonctionnement de son entreprise, encourageant chacun à un comportement créatif face à l'ouvrage, sans se laisser dominer par la logique de l'outil industriel qui peut conduire au morcellement des tâches.

La grande force de Prouvé est sans doute d'avoir fait passer jusqu'à l'apprenti ou le manutentionnaire, l'idée d'un travail collectif pour un « progrès technique ». « Clichy a été dessiné et réalisé dans un petit atelier et avec une telle foi, jusqu'au dernier des manœuvres ». (Jean Prouvé – Bulletin de l'académie d'architecture – 1970 (Bignon et al,1990)). Les systèmes constructifs qui sont mis au point et réalisés dans les « Ateliers » sont de la famille des objets techniques définis par Simondon, capables de concentrer dans leur existence même des possibilités de fonctionnement multiples et plusieurs usages. Son travail est par ailleurs animé par une recherche d'optimisation de la matière, notamment dans l'exploration des possibilités de la tôle mince. Très tôt, il a la conviction que l'utilisation de la tôle pliée a un grand avenir dans le bâtiment, sans être limitée aux couvre-joints et aux huisseries diverses. Les recherches de solidité s'effectuent souvent sous forme de tâtonnements, sachant que toute pliure et tout bosselage peuvent accroître considérablement la résistance de la tôle mince. Ce n'est que très tardivement que Prouvé utilisera des modèles mathématiques pour calculer ses éléments de façade. « Je ne calculais pas les efforts à ce moment-là. On les éprouvait. Maintenant, je calcule la tôle pliée avec des formules américaines [...] qui sont appliquées par le CTICM ». (Lavalou, 2001)

Une démarche conceptuelle pragmatique

« L'artisan, expliquait Jean Prouvé, est celui qui est capable de composer une œuvre et de l'exécuter en son entier, de ressentir toute la joie du créateur »(Lavalou, 2001). Prouvé travaillait comme un artiste et si la production qui sort de ses ateliers est constituée de dispositifs techniques et constructifs, la recherche qui les met à jour est une recherche artistique libre de ses moyens, bien éloignée de la recherche industrielle tendue vers la performance de l'outil de travail.

« Il refusait d'exploiter les produits au point. Son cerveau travaillait tellement qu'il créait toujours quelque chose de nouveau ; c'était pour ça que ça intéressait de rester avec lui ; c'était passionnant » . (Pierre Missey ; ferronnier d'art embauché par Prouvé lors de sa première installation ; entrevue en 1989 (Bignon et al,1990)). Cette puissance créative prend forme dans le « faire », dans le corps à corps avec la matière, interrogée, écoutée, mise à l'épreuve. Quand Prouvé évoque les formes de ses meubles qui sont d'égale résistance, créant les pleins et les déliés du fauteuil basculant, il n'a pas oublié l'histoire que lui racontait son père en ouvrant la paume de sa main et parcourant d'un doigt le contour « regarde le pouce sur la main, comme cela est bien fait, tout cela est solide , et malgré tout c'est souple. Ce sont des formes d'égale résistance » (Lavalou, 2001).

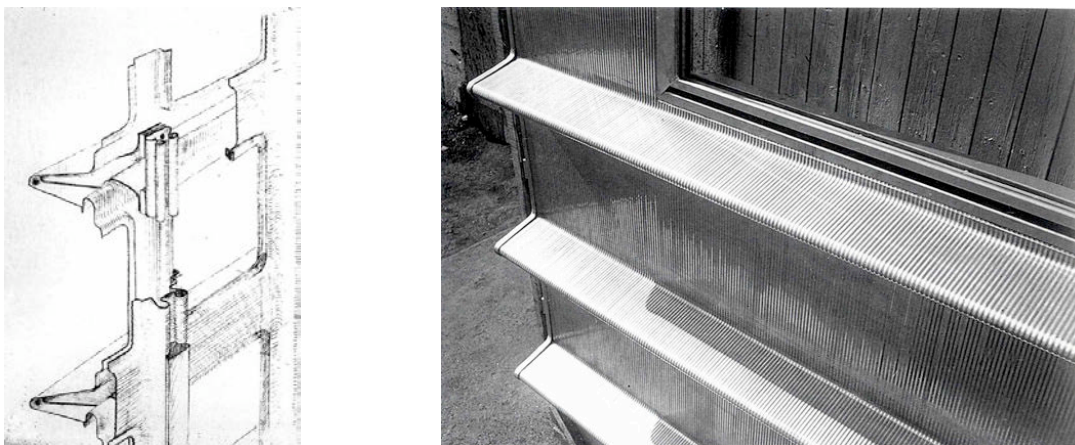


Photo N° 6 (annexe 16) Jean Prouvé avec son père en 1911 (in Sulzer, 1999)

Ainsi, toute conception nouvelle se transforme immédiatement en un objet physique, comme émanant du geste qui transforme par son habilité et sa force, consubstantiel de la main qui œuvre. Cette synergie entre la conception et sa fabrication a attiré de jeunes architectes que Prouvé a embauchés. Ils découvrent là ce que peut être la véritable inspiration architecturale, que le coup de crayon donné le lundi permet d'avoir une réalisation le mardi. Le prototype est au centre du processus d'élaboration de toute production. « Nous n'avons jamais fait un dessin d'exécution avant d'avoir achevé le prototype. Celui qui dessine ne sent pas la complexité de la solution qu'il propose. Il ne peut donc pas simplifier. On ne corrige pas la production du dehors mais dans le mouvement même de la production ». (Jean Prouvé cité par Pierre Joly (Bignon et al, 1990)) . Le prototype est le lieu même où s'élabore un travail collectif entre le « patron », le bureau d'études et l'atelier, avec des interférences constantes. C'est aussi l'objet physique qui permet de tester les performances de la conception. Les essais sont réalisés plus ou moins empiriquement dans les Ateliers, voire même après le montage, comme à Clichy où l'étanchéité des joints a été testée sur place avec les lances à incendie des pompiers.

Les systèmes de façade

Les systèmes d'enveloppe conçus par Jean Prouvé répondent tous à la même quête, de concentrer en un seul élément le maximum de fonctions.



Photos N° 7 et 8 . Conception d'un panneau de façade à voiles multiples. Dessin et prototype. (in Sulzer 2005)

La question des montants.

La première intégration issue de cette philosophie est celle du montant vertical. En réalisant, en rive verticale, un pli avec la tôle du panneau :

le panneau est rendu autoportant ; il peut se dispenser d'une structure complémentaire.

Le panneau possède un cadre qui le rend autonome

Le profil obtenu avec le pli sert de raccordement au panneau suivant.

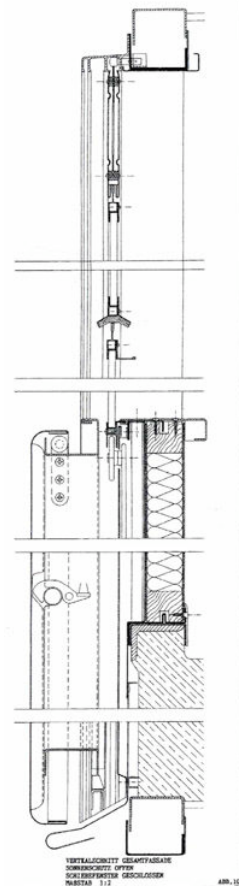
A Clichy, les panneaux sont suspendus, soumettant l'acier à une force de traction importante. Le pli très prononcé est assez rigide pour résister aux efforts horizontaux du vent. Les joints entre panneaux sont calfeutrés de l'intérieur. Ainsi, la façade est constituée de boîtes fermées, reliées les unes aux autres, formant une enveloppe continue et homogène. Cet ouvrage construit en 1935 est radicalement nouveau dans le langage constructif. Il rompt définitivement avec les techniques de remplissage, tributaires d'une ossature et réalisés avec l'empilement d'éléments indépendants devant être assemblés pour assurer l'opacité d'une part et l'ouverture d'autre part.

Les variations en approvisionnement de la tôle, pendant la guerre et immédiatement après, obligent Prouvé à rechercher des substituts. La tôle pliée est conservée pour la structure et la fixation des ouvrants. Le bois ferme les parties pleines. Ce type de construction s'adapte bien à l'utilisation de l'aluminium qui devient accessible au début des années 50. Les propriétés mécaniques de ce matériau le cantonnent dans un premier temps, au remplissage. Puis les techniques d'extrusion proposées par les transformateurs de l'aluminium ouvrent la voie à la fabrication de profils à la demande. Prouvé travaille dès lors un nouveau type de façade légère, constitué d'un cadre périphérique en profil extrudé qui accueille les éléments d'ouverture et de remplissage. Mais l'invention de Prouvé qui

consistait à plier la tôle mince en autant de plis que nécessitaient les fonctions à intégrer, ne préfiguraient-elles pas la mise en forme de ces profils que l'extrusion banalisa ?

L'intégration des fonctions

L'enveloppe, lieu d'échanges entre intérieur et extérieur, concentre un nombre d'exigences qu'aucune autre séquence constructive ne requiert. Le pari de Prouvé qui consiste à réaliser cet ensemble en un seul objet de très faible encombrement était de grande audace. Une fois résolue la question des raidisseurs se posait celle de l'intégration de l'ouvrant. Pour échapper aux surépaisseurs nécessitées par les ouvertures à battants, Prouvé a perfectionné un système à guillotine, facilitant l'étanchéité. Des études sur les joints pour renforcer l'imperméabilité à l'air et à l'eau, et sur les mécanismes aboutissent à des systèmes d'enveloppe d'une grande complexité, intégrant l'occultation, la ventilation, la fermeture, avec une facilité de manipulation.



Photos 9 et 10 (annexe 16). Panneau de façade de l'immeuble d'habitation, square Mozart à Paris – 1953,1954. A droite, prototype de l'élément de façade.

A gauche coupe verticale sur le panneau où on voit le volet devant l'allège et le plancher, la fenêtre à guillotine fermée. Dessin réalisé par d'anciens étudiants de l'auteur (Sulzer 2005)

L'isolation thermique.

La conductivité thermique du métal produit instantanément de la condensation lorsque la température extérieure est plus froide que celle de l'intérieur. La mise en œuvre des façades avec deux panneaux qui forment une boîte autorise la dissociation des peaux extérieures et intérieures dès lors qu'on intercale un isolant. Mais cette rupture du pont thermique affaiblit la rigidité du panneau. Ce conflit constitua une contrainte constante dans la conception. Il en résulta un empilement complexe de matériaux :

- laine de verre ou laine de laitier pour l'isolation
- papier d'aluminium pour l'isolation par rayonnement
- ressorts, identiques à ceux des matelas pour maintenir les deux tôles en tension avec le minimum de points de contact.

Et lorsque l'industrie des polymères commence à proposer des nouveaux produits, dans les années 50, Prouvé envisage d'isoler les panneaux avec des mousses synthétiques qui assurent par ailleurs le collage des panneaux entre eux, remplaçant tous les éléments du complexe antérieur. Ce sont là les premières formes des panneaux sandwichs qui feront la gloire des systèmes de façade ultérieurs en tôle laquée. Quelques années plus tard, Prouvé étudie avec Saint-Gobain un système du même ordre en matériaux de synthèse.



Photos 11 (annexe 16). Façade de l'immeuble d'habitation, square Mozart à Paris – 1953,1954 Photo de 1990 avec les volets remplacés. (Sulzer 2005)

L'aisance avec laquelle Prouvé s'empare des matériaux, les mettant en œuvre pour le meilleur de leurs caractéristiques et sachant leur imprimer la forme précise qui les rend le plus performants, est une démonstration supplémentaire de ses capacités exceptionnelles à inventer l'objet technique. Les inventions de Jean Prouvé dans le domaine des façades légères doivent en partie leur universalité au fait que Prouvé concevait la façade, comme élément d'un tout. La conception de l'enveloppe prend son origine dans la conception globale de l'architecture qu'il convient à une époque donnée de réaliser avec les moyens que la technique propose. Mais son inspiration créative se réfère aux représentations mentales d'une culture technique autant nourrie par les progrès mécaniques, qu'affranchie des traditions constructives des chantiers de son époque. Porté par l'élan de renouveau de la modernité, Prouvé creuse un sillon très personnel. Il déplace la presque totalité des tâches de chantier dans ses Ateliers, produisant des séquences constructives pouvant être assemblées avec le minimum de boulons. L'hyper-sophistication des panneaux de façade, comme ceux de l'immeuble d'habitation du square Mozart à Paris, démontre comment la technique d'une époque contribue à répondre à la somme d'exigences physiques et fonctionnelles demandées à l'enveloppe.

Annexe N°17 : Expérimenter pour répondre aux exigences de l'objet architectural :
la démarche de conception de Franck O. Gehry.

**Expérimenter pour répondre aux exigences de l'objet architectural :
la démarche de conception de Franck O. Gehry.**



Projet pour la fondation LVMH à Boulogne Billancourt. Dessin et Maquette. Franck O. Gehry, architecte.
In www.arcspace.com/architects/gehry/vuitton/ (daté du 8 janvier 2007)

La démarche de conception de Franck O. Gehry

Lorsque Franck O. Gehry arrive de son Canada natal à Timmins (Ontario) ses camarades d'école le surnomment « Fish ». Nous présumerons qu'il doit ce surnom à une triple cause : son intérêt déjà prononcé pour les animaux aquatiques (fig.1), son signe astral de naissance (il naît de 28 février 1929 à Toronto), et le mutisme relatif qu'il entretient lorsqu'il est question de son œuvre et de sa pratique. « Franck répugne indubitablement à



s'expliquer, à discourir ou théoriser sur son travail : lui-même préfère les ententes plus instinctives et spontanées » (Boissière, 1981).

Fig.1 (annexe 17)
Le poisson de Barcelone. Franck Gehry, architecte. In :
www.fodors.com/wire/archives/060315_barcelona_gehry.jpg

Une des conséquences de ce trait de caractère a compliqué la collecte de documents nécessaires à l'explication de son travail, car il existe peu d'ouvrages exhaustifs sur Franck Gehry malgré sa notoriété internationale. On peut considérer en effet que le musée Guggenheim de Bilbao représente une des œuvres architecturales majeures de la fin du XXème siècle, annonçant un certain type de formes architecturales, aussi bien stylistiques que procédurales. L'invention de Gehry se place à cet endroit, d'un processus de travail original, corollaire du juste accomplissement des formes libres qu'il imagine pour les projets dont il a la charge.

Une expression personnelle : entre posture artistique et pratique sociale.

Premières recherches.

Dans les années 50, encore étudiant, il participe aux mouvements libéraux contre le maccarthysme, si bien qu'il répugne à construire des villas pour clients riches. « J'étais un libéral engagé et j'aimais l'art, ces deux faits réunis ont fait de moi un architecte » (Boissière, 1981). Il intègre diverses agences d'architectes, dont celle de Victor Gruen où il participe à la réalisation de grands centres commerciaux avant de créer sa propre agence en 1962.

Il y développe une double pratique d'architecte : celle d'une réponse à la demande dans le cadre de projets commerciaux et celle de recherches plus personnelles sur les matériaux et les formes, à l'échelle de la maison individuelle.

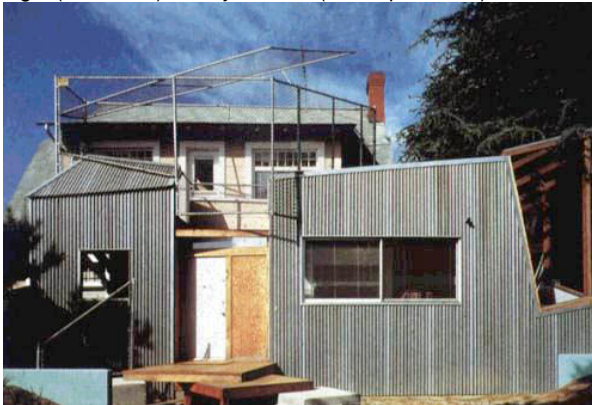


Fig.2 (annexe17)

Siège social de Rouse, Franck Gehry, architecte. In Techniques et Architecture sept 1981

Dans le premier cas, il valorise les fonctions à remplir, les satisfactions sociales, mettant au second plan les recherches formelles qui ne sont pas négligées pour autant. Il fait preuve par ailleurs d'une capacité à parfaitement répondre aux contraintes physiques, comme celles qui concernent l'acoustique des salles de concert, autre type de programme qu'il a l'occasion d'étudier. Les projets de cette époque (années 70, début 80), témoignent d'une expression basée sur des jeux de plans géométriques en profondeur, souvent colorés, qui amorcent son style. (figure 2). Lors de la construction du siège social de Rouse, il fait participer les employés à l'élaboration du projet et à la réalisation. Il le fera aussi pour la maison de l'artiste Ron Davis : « je voulais lui apprendre à faire ses propres objets » (Boissière, 1981).

Fig. 3(annexe17). Ghery House . (in arcspace.com).



Dans le deuxième cas, pour sa propre maison ou celle d'amis artistes, il expérimente. Sa maison de Santa Monica (fig.3) représente la somme de ses recherches de l'époque. C'est un laboratoire d'architecture, qu'il a, de son propre aveu « sur-designé », expression que l'on pourrait traduire par

« un projet sur le projet ». Il déstructure totalement le pavillon des années 20 dans lequel il s'installe, en brisant la géométrie initiale et en mettant en œuvre des matériaux qu'il a eu l'occasion d'explorer : le grillage, le contreplaqué, la tôle ondulée.

Cette réalisation emblématique de ses premières recherches démontre l'habileté de Gehry à composer la forme et l'espace architectural en mêlant invention, sens de l'économie, expressivité des matériaux et raffinement du détail. Cette capacité inventive qui lui permet de placer ses émotions dans l'architecture provient sans doute d'une démarche de travail très ouverte, à l'écoute du monde, fondamentalement intuitive et expérimentale. Cette posture se fonde sur l'expérience personnelle à l'image du comportement des artistes qu'il connaît bien. « Si Gehry a besoin du travail des artistes, c'est que l'art est un lieu idéal de régénération et un moyen d'échapper au carcan de la discipline architecturale, de se libérer des règles et des idées préconçues qui en définissent souvent la pratique ». (Leclerc, 1993) De cette double expérience conduite au sein de son agence, au travers des différentes commandes, F. O. Gehry, construit une pratique originale en mettant en œuvre les moyens qui lui permettent d'affirmer : "I think my best skill as an architect is the achievement of hand-to-eye coordination; I am able to transfer a sketch into a model into the building". (arcspace.com) [Je pense que ma plus grande habileté d'architecte consiste à coordonner le passage de la main à l'œil. Je suis capable d'opérer le transfert entre l'esquisse et la maquette, et entre la maquette et le bâtiment.]

Affirmation d'un style.

A la fin des années 80, début 90, deux de ses projets réalisés en Europe confirment, dans la confrontation à des contextes différents de la ville californienne, son style personnel. Le Vitra design museum à Well-am-Rhein près de Bâle en Allemagne, livre une écriture très innovante de géométries désaxées, de volumes sculptés. En 1993, avec le Centre américain de Paris, (fig.4) dans le nouveau quartier de Bercy, il adapte ses formes déconstruites aux références parisiennes que sont la pierre calcaire et le zinc.

Fig.4 (annexe17). Centre américain à Paris. Gehry, architecte. (photo :N.Hoyet)



La géométrie n'est plus orthogonale. Les volumes ne s'assemblent pas selon l'ordonnement gravitationnel mais en fonction d'images de références spécifiques à FOG, qu'elles proviennent d'un drapé d'un artiste de la Renaissance ou du travail d'artistes qui l'émeut. La fragmentation des volumes, souvent accentuée par des habillages de matériaux différents, provient de l'interaction avec le site couplé à la réflexion programmatique. FOG affectionne souvent de créer des espaces autonomes et identitaires pour les différentes entités d'un bâtiment. Ce mode de composition n'est pas sans rapport avec son constant souci de travailler pour, et souvent avec, les gens (ou les œuvres quand il s'agit d'un musée) qui prendront place dans son architecture. L'identité des lieux favorise l'appropriation.

De cette expression plastique et programmatique originale, découle une architecture d'une grande complexité formelle, plaçant la construction en rupture totale d'avec les habitudes traditionnelles de chantier. Une pensée constructive nouvelle doit être élaborée afin que reste intacte dans le bâtiment achevé, l'émotion traduite par l'esquisse. L'échelle des projets que FOG se voit confier l'encourage à mettre en œuvre avec son équipe, une méthode de gestion de projet en accord avec sa démarche créative.

Conception d'une méthode de travail innovante : l'expérience du musée Guggenheim de Bilbao

Le musée Guggenheim de Bilbao représente un tournant dans le travail de FOG, voire dans l'histoire de l'architecture, du fait, selon Christopher Knight critique d'art au Los Angeles Times, de sa capacité à maintenir dans la forme construite l'improvisation des dessins. Le bâtiment se livre au visiteur comme une esquisse dans laquelle on peut pénétrer. Il possède cette qualité particulière du dessin à transcrire au plus près la pensée et l'idée de son auteur. De ce fait, y déambuler, c'est comme naviguer dans la projection d'un espace psychologique, en perpétuel déploiement. Il en résulte pour le visiteur la sensation d'être toujours situé au centre exact de l'édifice, parce que le centre bouge avec lui. (Knight. 2000) La finesse de cette interprétation critique est à l'égal de l'émotion que FOG a su laisser intacte dans cet édifice de 24 000 m², traversé par une voie rapide, et situé entre fleuve et ville du XIX^{ème} siècle. Cette prouesse architecturale a pu advenir parce que FOG maîtrise parfaitement le processus de conception et qu'il a su trouver dans les technologies contemporaines, des moyens de contrôler le processus de production du bâti.

Le processus conceptuel qu'il met en œuvre, tendu vers l'objectif qui consiste à préserver intact le cheminement « hand-to-eye », s'appuie sur un enchaînement de représentations spécifiquement mises au point dans l'agence de FOG.

Au commencement, vient l'esquisse préparée par des études préalables réalisées avec l'aide de maquettes.

« Je travaille simultanément sur des maquettes à petite échelle pour l'extérieur et à grande échelle pour l'intérieur. Au lieu de me laisser séduire par de petits objets, je m'oblige à penser l'espace réel pour tester la qualité fonctionnelle. Je développe donc d'abord des idées de lieux, de salles, puis nous réalisons des maquettes de blocs et comme un sculpteur, tel Michel Ange qui imagine qu'il y a un David à l'intérieur, il y a une vision qu'il faut sculpter dans la masse. » (M.Dilet, 1994)

Le programme est représenté en blocs neutres, disposés sur une des nombreuses maquettes de site. Quand, après de longues heures passées à rechercher la juste position des masses dans le site, ainsi que la bonne échelle des bâtiments, FOG commence à dessiner, à partir de la connaissance plus précise qu'il a désormais de la demande du client et des contraintes du site. Ces esquisses donnent aux chefs de projets l'information nécessaire à la réalisation de nouvelles maquettes. Maquettes d'études encore grossières, mais déjà signifiantes de l'échelle et du langage de l'architecture de FOG. Ces maquettes (fig.5) sont l'exacte interface entre le dessin de FOG « ligne à main levée, improvisée, fluide, intuitive, qui ne convoque ni masse, ni pesanteur, mais des directions flottantes et des relations spatiales mouvantes » (Knight, 2000), et les modélisations informatiques. Les idées fondatrices du projet sont établies à ce moment du processus de conception et les étapes qui suivent sont élaborées pour en préserver l'intégrité.

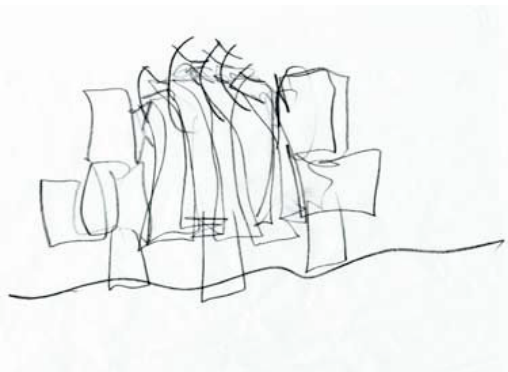


Fig.5. (annexe17). Esquisse et maquette d'étude. Projet pour Riscal (Espagne). F. Gehry, architecte (in arcspace.com)

Si l'écriture de FOG se dirige naturellement vers des volumes aériens, déconstruits, enchevêtrés, échappant souvent aux règles de la géométrie euclidienne, c'est aussi parce que son invention formelle a trouvé un écho dans les nouveaux outils de représentation,

l'informatique autorisant la modélisation et le calcul des surfaces gauches et courbes entremêlées, tremplin nécessaire pour leur fabrication. La conception architecturale de Gehry, sortant des standards, demande la réalisation de documents d'un nouveau type, capables de démontrer à l'entreprise qui réalisera, la faisabilité de l'ouvrage. Le risque étant dans un premier temps de connaître une dérive financière de l'opération, provoquée par un ouvrage trop étranger à l'entreprise, et dans un deuxième temps, une réalisation en contradiction avec les objectifs architecturaux. Or FOG pense que « le côté spontané des idées dénuées de préciosité doit émerger des détails d'exécution » (Dilet, 1994). La maîtrise de la fabrication s'impose ainsi à l'architecte. FOG raconte que , pour la construction du Centre américain à Paris, ils ont pu développer la mise en œuvre de la pierre taillée en courbe, avec l'aide du programme Catia que Dassault utilisait pour les missiles. Avec l'aide de ce programme il a été possible de numériser la forme des pierres, leur dimension, leur calepinage, d'après les maquettes. Ces informations ont pu être reliées à un programme de fabrication assistée pour la taille des pierres et la conduite des machines numériques. Si l'entreprise peut constater lors de la production de son offre, qu'avec l'aide de l'informatique, la taille de chaque pierre peut être contrôlée, et que sa mise en œuvre peut être vérifiée sur un mur témoin, elle comprend que c'est possible. De cette façon, la conception est maîtrisée, parce que les coûts peuvent être estimés précisément et les modes opératoires de la réalisation sont anticipés.

Avec l'opération de Bilbao, dans les années 95, FOG a amplifié la maîtrise de la fabrication en assurant la mission d'exécution. C'est pour mieux contrôler le processus de conception-réalisation qu'il a été décidé d'intégrer ce que les américains appellent la production. Cela s'est imposé du fait de la somme d'innovations que représente une opération aussi complexe que le Guggenheim de Bilbao : contrôle des coûts ; documents fiables pour le client ; documents techniques exacts et opérationnels pour les entreprises... « cela m'intéresse beaucoup et me donne l'assurance de bonnes bases pour le projet » (Ivy, 1998). L'agence y a gagné en efficacité.

Les étapes de catia (arcspace.com).

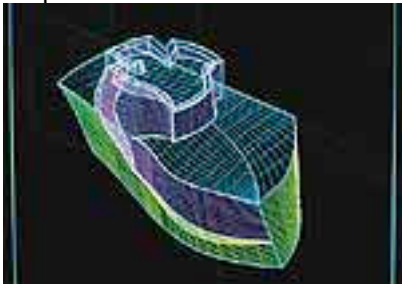
La recherche architecturale formelle et l'organisation des espaces s'effectuant avec des maquettes, le recours aux technologies de modélisation du logiciel Catia assure le passage de la maquette physique à sa représentation. Les formes dessinées dans le logiciel sont en trois dimensions, le processus de saisie des informations partant d'un relevé point par point d'une maquette physique. Les sept étapes du processus de modélisation virtuelle mis en œuvre pour l'opération de Bilbao montrent comment se met en place la production des documents nécessaires à la réalisation de l'ouvrage.

Etape N°1 : numérisation de la maquette physique.



La première étape consiste à relever la forme de cette maquette conceptuelle avec un outil qui génère un nuage de points sur l'écran de l'ordinateur, qui, reliés ensemble. Cela crée une forme qui ressemble grossièrement à la maquette physique. Les points sont ensuite manipulés, travaillés, adoucis, pour s'approcher de la forme souhaitée.

Etape N°2 : modélisation de l'enveloppe



A cette étape, la surface extérieure est modélisée ; un maillage est réalisé en reliant les points pas trois ; cela figure les contours de la maquette physique.

Etape N°3 : création des ombres sur la surface extérieure.



Travail sur la peau de la maquette. Les lignes représentent le calepinage du revêtement qui sera réalisé en panneaux de titane. Cette étape permet de calculer les quantitatifs de l'enveloppe. Si la forme génère une surface trop importante et accroît le coût de l'ouvrage

d'une façon trop importante, la maquette est retravaillée pour optimiser le rapport entre la forme souhaitée et son coût.

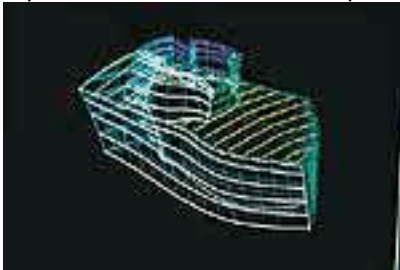
Etape N°4 : Structure principale.



Cette étape consiste à concevoir la structure primaire du bâtiment. Pour Bilbao, cela a consisté à faire une sorte de cartographie du squelette d'acier.

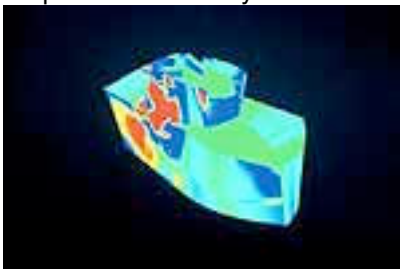
Etape N°5 : Ossature secondaire

Cette étape varie de projet à projet, en fonction du revêtement. Pour les bâtiments recouverts de titane, l'ossature secondaire supporte des tôles d'acier galvanisé, qui représente une sous-couche pour les écailles de titane.



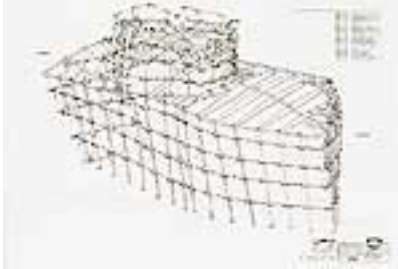
L'ossature secondaire est située à 50 cm environ de l'ossature primaire ; elle lui est reliée par des nœuds tridimensionnels. Le vide ménagé entre les deux ossatures offre une tolérance dimensionnelle pour l'ajustement des courbes de l'enveloppe, sachant que l'ossature primaire est constituée de poutrelles d'acier droites de 3 mètres de longueur environ, et une gaine pour le passage des réseaux. L'ossature primaire est habillée d'un doublage, à l'intérieur.

Etape N° 5bis : Analyse des courbures.



Cette analyse est hors budget. Elle est réalisée pour évaluer la capacité des panneaux en métal à prendre une certaine courbure. Si le rayon de courbure est trop petit, il sera nécessaire de préformer la tôle, ce qui entraîne un surcoût. Cette analyse peut être faite à plusieurs moments du projet, pour optimiser les coûts de fabrication par un design adapté. Elle peut ne pas être réalisée du tout.

Etape N°6 : Dessins de fabrication.



A cette étape, la modélisation sous Catia est utilisée pour générer les dessins d'exécution du constructeur métallique. Les pièces de charpente en acier ont ainsi été découpées, percées et soudées en atelier par des machines à commande numérique.

Etape N°7 : Le bâtiment achevé.



Documents extraits de : « Les étapes de Catia in arcspace.com/gehry_new/index.html »

La présentation de ces sept étapes, réalisée à l'occasion d'une exposition sur le travail de FOG, ne mentionne pas la production des plans en deux dimensions, documents essentiels aux échanges avec le client et les utilisateurs, fournissant les surfaces de plancher notamment. Ces documents sont aussi générés par Catia, à partir de la saisie en trois dimensions.

L'expérience du musée Guggenheim, première opération de très grande envergure réalisée avec les nouvelles méthodes de travail, inaugure chez FOG, la mise en place de structures de travail capables d'exploiter le plus efficacement les innovations technologiques pour que le processus de conception architectural ne connaisse aucune rupture. Le développement informatisé des tâches assignées à la gestion et à l'exécution des ouvrages a conduit FOG à créer une structure, Gehry Technologies qui vend les services qu'elle a mis au point. Cette dissociation structurelle répond probablement à des nécessités juridico-économiques, les

opérations effectuées dans l'agence d'architecture étant de nature différente de celles d'une société de production. Cela permet par ailleurs, des associations à d'autres compétences d'ingénierie.

Gehry Technologies.

GT est une société de services qui fournit des applications informatiques et des méthodes pour assurer l'exécution d'un projet d'architecture avec l'informatique, du dossier d'avant-projet détaillé à la réception des ouvrages. Créée en 2002, cette société fonde son savoir-faire sur les expériences de bâtiments complexes réalisés par l'agence de FOG. Pendant quinze ans (depuis les années 1995 environ), cette agence a mis en place de nouvelles façons de travailler, communiquant les données du projet aux entreprises de construction sous forme de fichiers intégrés et repensant le processus de collaboration. Ces méthodes sont très inspirées des méthodes de gestion informatisées présentes dans l'industrie depuis une vingtaine d'années.

Digital Project.

Le processus de production et de gestion est fondé sur la modélisation en 3D (maquette numérique) du projet d'architecture, effectuée avec les applications de Catia V5 (information de 2006), qui comprend 300 produits développés par Dassault Systèmes et ses partenaires, notamment des outils de gestion et de coordination entre les opérations. La présentation de la société (www.gehrytechnologies.com) précise que Digital Project est ensemble d'applications adaptées de Catia par la firme de FOG. Le logiciel inclut des données géométriques et des informations descriptives du projet qui ne sont pas géométriques. Ainsi, la totalité des tâches de production du processus est générée par la maquette 3D, « document maître » :

les études techniques des ouvrages

l'estimation économique

les plans 2D

la fabrication en atelier, en CFAO

le pilotage de chantier.

Les études techniques.

La réalisation des modèles spécifiques nécessaires aux analyses techniques, structurelles, énergétiques (température et débit d'air), d'éclairage, acoustiques, et de performances des équipements, est facilitée par les avantages propres à la modélisation 3D. La représentation de certains résultats d'analyses techniques peut figurer sur la maquette 3D. générée par Digital Project.

L'estimation des coûts.

Le descriptif quantitatif est généré automatiquement et peut être chaîné à des bordereaux de prix unitaires. Cela supprime tous les aléas rencontrés avec l'estimation réalisée sur papier, à partir des documents graphiques.

L'intégration du 3D vers le 2D.

La production des plans 2D est possible à partir d'une extraction de la modélisation 3D . Les dessins sont paramétrés d'une façon persistante. Quand des informations sont modifiées, il suffit de mettre à jour les fichiers pour reporter la modification des informations.

La fabrication informatisée.

Les informations du projet produit par DP, sont directement transmises aux ateliers de fabrication. Cela fournit les spécifications dimensionnelles et l'information sur la position des composants. Les dessins d'exécution peuvent être réalisés en 3D, directement des données du document maître, car de plus en plus de fabricants sont équipés de machines à commande numérique, pilotée par des modèles 3D. Cela permet un passage direct des informations, du projet à la fabrication, autorisant un accroissement de la qualité de la construction.

Intégration sur le chantier.

DP peut être installé sur le chantier pour avoir un accès direct aux données. Cela peut se combiner aux outils utilisés pour le pilotage du chantier, y compris les photos numériques, par exemple.

Ghery Technologies répond à la mutation des pratiques concernant la conception et la réalisation des bâtiments, qui se sont considérablement complexifiées : les règlements sont plus nombreux et plus exigeants, le niveau des performances attendues est toujours plus élevé, les plannings de réalisation sont plus tendus, les équipes sont atomisées et les rôles plus flous, sans oublier le potentiel architectural formel décuplé grâce aux capacités du dessin informatisé. Les méthodes traditionnelles de production de dessins en 2D, avec des informations transmises par des documents papier, sont de moins en moins efficaces face à ces situations complexes. Elles sont aussi sources d'erreurs provoquées par les systèmes de transmission de données souvent inadaptés à leur quantité et leur diversité. La maquette numérique réunit en temps réel tous les acteurs concernés par la conception, la fabrication et la gestion d'un objet physique complexe quel qu'il soit. Ces méthodes ont été inaugurées dans l'aéronautique où les procédures de vérification sont particulièrement exigeantes. Dassault avec Catia fait figure de précurseur. D'autres logiciels assurant les mêmes fonctions sont aujourd'hui développés. Le secteur du Bâtiment n'a pas intégré ces avancées technologiques au même rythme que l'industrie, probablement du fait de ses particularités structurelles : opérations non répétitives, acteurs nombreux et épars, caractérisés par des cultures et des façons de travailler non homogènes. Le singularisme du secteur BTP a pour effet de favoriser le développement de nombreuses applications informatiques dont la

compatibilité n'est pas souvent assurée. L'innovation de GT provient du fait que l'introduction du processus de gestion informatisée est à l'origine de l'architecte concepteur. L'introduction de la maquette numérique dans l'agence de FOG a été initiée pour résoudre les formes architecturales non-standards, expression personnelle inscrite dans des modèles de représentation éminemment artistiques. De cette modélisation, conçue pour répondre exactement aux demandes du projet architectural, ont été générées les applications qui prennent en charge la totalité des tâches du processus qui suivent la conception. C'est une garantie pour que les attributs de la conception architecturale soient conservés.

Toutefois lorsqu'on oppose la perfection de l'outil de production élaboré par l'agence d'architecture de F.O. Gehry aux projets les plus récents qui témoignent d'une audace grandissante dans la complexification de la forme, on peut se demander si l'instrument ne domine pas le propos de l'architecte. La puissance des moyens de représentation impose la suprématie du langage formel, au détriment d'autres pensées.

La production des formes architecturales hyper complexifiées, désormais permise par les nouveaux outils, est-elle une réponse aux enjeux actuels de l'Humanité ? L'avenir nous le dira.