

Université de Montréal

Moyens pour la communication en architecture—
Proposition de la modélisation d'actions pour la
figuration architecturale

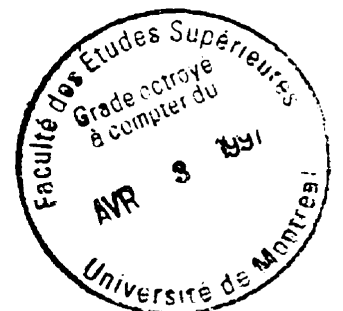
par
Temy Tidafi
Faculté de l'aménagement

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Philosophiæ Doctor (Ph.D.)
en aménagement

octobre, 1996

© Temy Tidafi, 1996

Université de Montréal
Faculté des études supérieures





National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-26744-X

Canada


Cette thèse intitulée:


Moyens pour la communication en architecture
Proposition de la modélisation d'actions pour la
figuration architecturale

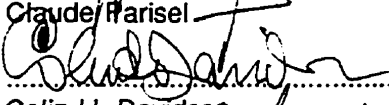
présentée par

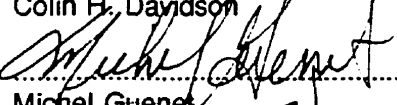
Temy Tidafi

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:


..... président-rapporteur
David Booth


..... directeur de recherche
Claude Parisel


..... co-directeur de recherche
Colin H. Davidson


..... membre du jury
Michel Guenet


..... examinateur externe
Pierre Côté

Thèse acceptée le: 3 mars 1997

Les moyens de communication en architecture, tels des plans, coupes ou perspectives font l'objet de la recherche. L'objectif est de proposer une méthode alternative pour la figuration architecturale profitant des possibilités nouvelles qu'offre l'informatique.

La recherche a pour point de départ une question, à savoir : à quelles fins et comment un moyen peut-il être mis à contribution pendant la communication en architecture ? Cette question a généré d'autres questions permettant de baliser une démarche vers une proposition.

Ainsi, un examen de la communication en architecture permet de relever deux discordances entre les fins des acteurs d'un processus de conception et les moyens de communication disponibles. Alors qu'un acteur peut être intéressé à la fois par la façon de réaliser une action et son résultat, les modes de figuration disponibles non seulement ne traduisent que ce résultat mais, de plus, leur contenu peut être difficile à interpréter par certains acteurs. Trois recherches ont été entreprises pour essayer de résoudre ces discordances : une recherche exploratoire portant sur la perception étudiée en psychologie, une recherche historique relative au développement des moyens de communication disponibles et une recherche de développement visant la proposition d'une méthode alternative pour la figuration en architecture. Avant de définir cette méthode, il s'agissait de comprendre, d'une part, les processus psychologiques permettant à une personne de prendre connaissance d'un environnement physique et, d'autre part, les finalités considérées par les personnes qui ont développé les moyens de communication en architecture.

Les travaux en psychologie montrent notamment que la perception visuelle chez une personne est un processus pouvant nécessiter une figuration tridimensionnelle, dynamique et sélective d'une information se rapportant à un édifice. Par ailleurs, l'histoire fait ressortir que le dessin en architecture a été développé pour faire exécuter des travaux alors que jusqu'à la Renaissance italienne, la parole, l'écrit et le geste constituaient les principaux moyens permettant d'expliquer comment réaliser un projet d'architecture.

La proposition de recherche consiste à revenir sur des choix fait par le passé et ceci pour répondre à la façon dont est comprise la perception visuelle (physiologique et téléologique). Au lieu de transcrire les caractéristiques visibles du résultat d'un processus de conception, il est proposé de modéliser les actions permettant d'obtenir ce résultat. La proposition est instrumentée avec un langage symbolique pour transcrire la façon de réaliser des actions et avec un système géométrique pour la définition de caractéristiques visibles. Elle est mise à l'épreuve pour les modélisations d'une structure définissant des actions (lampe Tizio) et d'une façon de produire des structures définissant des actions (construction de l'église Saint-Eustache à Paris) relevant chacune d'une approche différente, respectivement analytique et systémique.

Les résultats obtenus montrent que la modélisation d'actions permet d'intégrer sous un même modèle les notions de figuration, de temps (transformation) et de démarche (savoir-faire). La méthode proposée peut également être envisagée pour d'autres domaines, tel l'urbanisme, et permet de conserver et de traiter des savoir-faire à l'origine d'un résultat pendant un processus de conception. Elle implique une réflexion sur ce savoir. Pour son développement, des avenues de recherche mettant l'accent sur les méthodes en conception architecturale sont suggérées.

Mots-clés : Communication en architecture ; Histoire de la figuration architecturale ; Perception visuelle ; Modélisation d'actions ; Architecture et informatique.

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire	iii
Listes des figures	ix
Remerciements	xiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Question de départ	4
Structure de la thèse	6
PREMIÈRE PARTIE : COMMUNICATION EN ARCHITECTURE—PROBLÉMATIQUE ET DÉFINITIONS	9
CONCEPTION ARCHITECTURALE ET COMMUNICATION	10
Chapitre 1 : Réalisation d'un projet d'architecture et communication	13
1.1. La communication pendant la conception	13
1.1.1. Communication et processus de conception	13
1.1.2. Les acteurs participant à la communication	22
1.2. Communication relative à une solution architecturale	26
1.2.1. Conception de la communication	26
1.2.2. Trois caractères d'une solution	29
1.3. Communication relative à des démarches et des résultats	36
Chapitre 2 : Communication et moyens de figuration	37
2.1. Moyens disponibles pour la communication	37
2.1.1. Figuration architecturale	37
2.1.2. Modes et techniques de figuration	40
2.1.3. La redondance dans la figuration	43
2.2. Modes de figuration en contexte	46
2.2.1. Emploi des modes de figuration	47
2.2.2. Enjeux pendant la communication	50
2.3. Figuration d'un état d'une solution architecturale	57
MOYENS UTILISÉS POUR LA COMMUNICATION ET LA QUESTION DE RECHERCHE	58
Discordances entre fins et moyens	58
Précision de la question de recherche	61
La stratégie de recherche	62
DEUXIÈME PARTIE : IMAGERIE MENTALE ET APPRÉCIATION EN PSYCHOLOGIE—RECHERCHE EXPLORATOIRE	64
Principes méthodologiques de la recherche exploratoire	65
Chapitre 3 : Psychologie cognitive et imagerie mentale—une étude de recherches récentes	69
3.1. Une image mentale quasi-perceptive	70
3.1.1. L'imagerie mentale d'après S.M. Kosslyn (1980)	71

3.1.2. Traitement de l'image mentale	72
3.2. Rôle et propriétés de l'imagerie mentale	73
3.2.1. Imagerie mentale et perception visuelle	73
3.2.2. Similitude fonctionnelle et structurale	74
3.2.3. Principaux résultats de recherche	75
3.3. Imagerie mentale—Oppositions et autres alternatives	78
3.3.1. Oppositions de Z. Pylyshyn (1981a, 1981b)	78
3.3.2. La description structurale d'après G. Hinton (1979a;1979b)	80
3.4. La vision et un modèle mental	83
3.4.1. La vision d'après D. Marr (1982)	83
3.4.2. Vision et imagerie mentale	84
3.4.3. Reconnaissance d'objets	84
3.4.4. Le modèle mental de P.N. Johnson-Laird (1983; 1993)	85
Implications de notre étude des recherches en psychologie cognitive	87
Chapitre 4 : Psychologie de l'environnement et appréciation	90
4.1. Perception et cognition d'un environnement physique	91
4.1.1. Perception d'un environnement physique	91
4.1.2. La cognition pendant la perception	93
4.1.3. Cognition spatiale	94
4.1.4. Particularités d'une personne pendant la cognition	95
4.1.5. Influences d'un environnement sur la cognition	97
4.2. Appréciation d'un environnement physique	98
4.2.1. Appréciation pendant la cognition et la perception	99
4.2.2. Compréhension de l'appréciation	99
4.2.3. Une théorie de l'appréciation	100
4.3. Dimensions affectives pendant la perception	103
4.3.1. La recherche de descripteurs	103
4.3.2. Établissement de préférences	105
4.3.3. Formation d'émotions	106
4.3.4. Définition de significations	108
4.3.5. Développement d'un intérêt	109
4.4. Simulation d'un environnement physique	111
4.4.1. La typologie de G.E. McKechnie (1977)	112
4.4.2. Simulation et validité en recherche	114
Implications de notre étude des recherches en psychologie de l'environnement	116
VIE PSYCHIQUE ET MOYENS POUR LA COMMUNICATION EN ARCHITECTURE	119
TROISIÈME PARTIE : DÉVELOPPEMENT DES MOYENS DE COMMUNICATION EN ARCHITECTURE—	
RECHERCHE HISTORIQUE	122
Principes méthodologiques de la recherche historique	124
Chapitre 5 : Renaissance italienne et dessin d'architecture	129
5.1. Les humanistes et l'antiquité romaine	129

5.1.1. L'intérêt pour les sciences classiques	129
5.1.2. De nouveaux profils de concepteurs	132
5.2. Des principes de la perspective moderne au dessin d'architecture	135
5.2.1. Découverte des principes de la perspective moderne	135
5.2.2. Des premiers dessins d'architecture	139
5.3. Figuration architecturale et les entreprises vaticanes	141
5.3.1. Le projet de la Basilique de Saint-Pierre à Rome	141
5.3.2. Lettre ou mémorandum de Raphaël au pape Léon X	146
5.4. Communication et projet d'architecture	151
5.4.1. Un nouveau vocabulaire	151
5.4.2. La fabrication de maquettes	152
5.5. En résumé	155
Chapitre 6 : La communication en architecture de l'antiquité	160
6.1. Conception réglée de monuments	161
6.1.1. Le système modulaire des pharaons	161
6.1.2. Les Ordres gréco-romains	162
6.1.3. L'ordre chrétien du Moyen Âge	164
6.2. Responsables de la réalisation et leur instruction	167
6.2.1. Le prêtre édificateur	167
6.2.2. De l' <i>architekton</i> à l' <i>architectus</i>	168
6.2.3. Le maître maçon	175
6.3. Moyens pour la communication sur les chantiers de construction	179
6.3.1. Le papyrus égyptien et la coutume des modèles	179
6.3.2. Les devis et les modèles gréco-romains	181
6.3.3. L' <i>opus in mente conceptum</i> et le secret de la géométrie	185
6.4. En résumé	187
Chapitre 7 : Communication au moyen du dessin d'architecture	189
7.1. Le dessin de la copie de modèles	189
7.1.1. Les premiers traités d'architecture	189
7.1.2. Les modèles types de Jacques Androuet du Cerceau	192
7.1.3. Les prescriptions de Philibert de l'Orme	194
7.2. La formation et le dessin	201
7.2.1. Le « compas »gnonnage ou l'apprentissage en situation	203
7.2.2. Les écoles de dessin et la copie de modèles	207
7.3. Le dessin scientifique	211
7.3.1. Une méthode pour l'exactitude et la précision	212
7.3.2. Une manière universelle... ..	219
7.4. En résumé	227
UNE MISE EN PERSPECTIVE HISTORIQUE	230

DERNIÈRE PARTIE : UNE INTÉGRATION DE L'ACTION À LA FIGURATION EN ARCHITECTURE—

RECHERCHE DE DÉVELOPPEMENT	235
Objectif de la recherche de développement	237
Chapitre 8 : Une méthode pour la figuration architecturale—Conceptualisation	239
8.1. Visibilité et processus de conception	239
8.1.1. La dimension physiologique	239
8.1.2. La dimension téléologique	241
8.1.3. Modes de figuration et perception visuelle	244
8.2. Une modélisation d'actions pour la figuration	246
8.2.1. Définition de caractéristiques visibles	247
8.2.2. Objectifs et méthodes de modélisation	250
8.2.3. Une instrumentation de la modélisation	254
8.3. Mise à l'épreuve de la modélisation d'actions	262
8.3.1. Objectifs de validation	262
8.3.2. Les trois exemples choisis	263
Chapitre 9 : Trois exemples de modélisation d'actions—Méthodes et résultats	266
9.1. Modélisation d'une structure définissant des actions—La lampe Tizio	266
9.1.1. Description de la lampe	267
9.1.2. Stratégie de modélisation	269
9.1.3. Résultats	272
9.2. Modélisation d'une façon de produire des structures définissant des actions—La construction de l'église Saint-Eustache à Paris	276
9.2.1. L'église et sa construction	277
9.2.2. Stratégie de modélisation	281
9.2.3. Résultats	289
9.3. Modélisation d'actions dans un contexte urbain—L'arrondissement Ville-Marie à Montréal	294
9.3.1. Données relatives au contexte urbain	295
9.3.2. Stratégie de modélisation	298
9.3.3. Résultats	302
Chapitre 10 : Discussion sur les résultats et la modélisation d'actions	310
10.1. Évaluation critique de la méthode pour la figuration proposée	310
10.1.1. Principaux avantages d'une modélisation d'actions	310
10.1.2. Inconvénients d'une modélisation d'actions	317
10.1.3. Conditions de mise en œuvre	318
10.2. Besoins pour la modélisation d'actions	322
10.2.1. En informatique graphique	322
10.2.2. En enseignement de l'architecture	323
10.3. Avenues de recherche	324
10.3.1. Une réflexion sur les actions et les finalités	325
10.3.2. Échanges de savoir-faire en architecture	328
10.3.3. Modélisation d'actions en d'autres disciplines	329

CONCLUSION GÉNÉRALE	332
De la démarche de recherche	333
Contribution de la recherche	336
SOURCES DOCUMENTAIRES	339
CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES	359
ANNEXES	360
Annexe I : Aperçu de la définition de la quadrique du système géométrique SGDL ^o	361
Annexe II : Quelques photographies de l'église Saint-Eustache à Paris	365
Annexe III : Schéma d'une structure définissant des actions ayant été produite par la <i>fonction</i> génératrice de code pour la figuration du fronton de l'église Saint-Eustache à Paris	367
Annexe IV : Trois exemples de projets où l'informatique est considérée pour la figuration du résultat d'un processus de conception	368

PREMIÈRE PARTIE

Figure 1 : Identification d'un processus dans le référentiel Temps-Espace, Forme [d'après J.-L. Le Moigne (1990, p. 47)]	11
Figure 2 : Enchevêtrement de trois processus du processus de conception architecturale	19
Figure 3 : Cinq principaux types de communication du processus de conception architecturale	21
Figure 4 : Trois principaux intérêts des acteurs pendant la communication relative à une solution architecturale formulée mais toujours en développement	26
Figure 5 : Deux conceptions de la communication entre acteurs d'un processus de conception	28
Figure 6 : Décomposition de la figuration graphique d'après A. Lévy (1981)	44
Figure 7 : Discordances entre fins et moyens pendant une communication relative à une solution architecturale	61

DEUXIÈME PARTIE

Figure 8 : Schématisation des concepts de la théorie sur l'imagerie mentale quasi-perceptive proposée par S.M. Kosslyn (1980)	72
Figure 9 : Interprétation d'une description structurale pour un bâtiment	81
Figure 10 : Cadre de travail pour l'étude de la préférence d'un environnement physique proposé par S. Kaplan et R. Kaplan (1982, p. 81).	105
Figure 11 : Typologie des modes de simulation par G.E. McKechnie (1977)	112

TROISIÈME PARTIE

Figure 12 : Construction de la perspective centrale d'après L.B. Alberti	136
Figure 13 : Dessin en plan d'une proposition de D. Bramante pour la Basilique Saint-Pierre à Rome	142
Figure 14 : Détail de la maquette de la cathédrale de Pavia datant de la Renaissance italienne	154
Figure 15 : Schéma de la communication entre D. Bramante et les acteurs du processus de conception de la Basilique Saint-Pierre à Rome	156
Figure 16 : Schéma de la communication entre acteurs d'un processus de conception à la Renaissance italienne	158

Figure 17 : Schéma de la communication entre acteurs d'un processus de conception de l'Antiquité au Moyen Âge	188
Figure 18 : Schéma de la communication entre acteurs d'un processus de conception à partir du XIX ^e siècle en France	228
Figure 19 : Mise en relation du développement des moyens de communication avec la transformation du processus de conception architecturale	230
Figure 20 : Prise en charge de la démarche et du résultat d'un processus de conception pendant l'évolution de la définition des moyens de communication en architecture	232

DERNIÈRE PARTIE

Figure 21 : Trois lampes Tizio sous trois positions différentes	266
Figure 22 : Diffuseur et détail d'un bras de la lampe Tizio	268
Figure 23 : Structure de la <i>fonction</i> TIZIO	273
Figure 24 : Détail du bras (a) et détail du socle (b) de la lampe Tizio	274
Figure 25 : La lampe Tizio avec des couleurs différentes pour ses parties	274
Figure 26 : La lampe Tizio avec les bras orientés vers le haut et la lumière ayant suivi la position de ces bras	275
Figure 27 : Vue extérieure de l'église Saint-Eustache à Paris	276
Figure 28 : Vue intérieure de l'église Saint-Eustache à Paris	277
Figure 29 : Construction de l'Église Saint-Eustache à Paris en dates (1532-1754)	279
Figure 30 : Définition de formes par rapport à un hexaèdre de référence	283
Figure 31 : Définition d'une forme par rapport à plusieurs hexaèdres de référence	284
Figure 32 : Mise en relation de deux hexaèdres dans un espace tridimensionnel	287
Figure 33 : Principe d'écriture d'une <i>fonction</i> par le générateur de code informatique	288
Figure 34 : Cinq états différents de la structure porteuse de l'église Saint-Eustache à Paris	291
Figure 35 : Vues intérieures (a et b) et extérieure (c) d'un bas-côté de la nef de l'église Saint-Eustache à Paris	292
Figure 36 : Vue vers le haut à l'intérieur d'un bas-côté de la nef de l'église Saint-Eustache à Paris	293
Figure 37 : Terrains en volume de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal comprenant un lot encadré de son hexaèdre de référence	303
Figure 38 : Six îlots de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal comprenant leurs terrains et leurs bâtiments ou espaces verts	303

Figure 39 : Visualisation de l'article du règlement d'urbanisme portant sur le recul sur rue	304
Figure 40 : Visualisation de l'article du règlement d'urbanisme portant sur la hauteur limite totale	304
Figure 41 : Visualisation de l'article du règlement d'urbanisme portant sur les hauteurs maximale et minimale sur rue	305
Figure 42 : Visualisation de l'article du règlement d'urbanisme portant sur l'ensoleillement d'un parc public	305
Figure 43 : Visualisation de quatre articles du règlement d'urbanisme portant sur le (1) recul sur rue, les hauteurs limites (2) maximale, minimale et (3) totale ainsi que (4) l'ensoleillement d'un parc public	306
Figure 44 : Visualisation d'une affectation d'informations à différentes parties de bâtiments	306
Figure 45 : Vue vers le Nord-Ouest et vue aérienne d'une partie de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal	307
Figure 46 : Plans en 1836 (a) et 1991 (b), élévation (c) et axonométrie coupée (d) de l'édifice des Douanes à Montréal obtenus à partir d'une modélisation d'actions	314
Figure 47 : Dôme géodésique obtenu à partir d'une <i>fonction</i> du langage fonctionnel	314
Figure 48 : Schématisation du contrôle géométrique par six points de la quadrique du système SGDL ^o	361
Figure 49 : Première série de formes géométriques obtenues en spécifiant différemment les six points de contrôle de la quadrique du système SGDL ^o	363
Figure 50 : Seconde série de formes géométriques obtenues en spécifiant différemment les six points de contrôle de la quadrique du système SGDL ^o	364
Figure 51 : Vue extérieure sur le transept de l'église Saint-Eustache à Paris	365
Figure 52 : Vue extérieure sur l'abside de l'église Saint-Eustache à Paris	365
Figure 53 : Vue intérieure sur le transept de l'église Saint-Eustache à Paris	366
Figure 54 : Vue intérieure sur l'abside de l'église Saint-Eustache à Paris	366

À ma mère, à mon père
et à mes trois soeurs

REMERCIEMENTS

Ma reconnaissance va à Claude Parisel qui, depuis le début de mes études supérieures à la Faculté de l'aménagement, n'a jamais cessé de me soutenir et de me prodiguer ses judicieux conseils et ses encouragements pour la réalisation de cette recherche. Tout au long de ces longues années passées à questionner la place de l'informatique en architecture, Claude Parisel, à titre de directeur de recherche mais qui est très vite aussi devenu un ami, a toujours su stimuler et partager une réflexion sur le sujet. Il fut critique, constructif et enthousiaste, et je l'en remercie vivement. Sa contribution à ma formation à la recherche est inestimable.

Je remercie aussi mon codirecteur de recherche, M. Colin H. Davidson, qui malgré une charge de travail élevée, a pris le temps et le soin d'évaluer, de commenter et de suggérer des idées nouvelles pour l'organisation de cette recherche. Il a largement dépassé les responsabilités qui lui incombait. Le soin qu'il a apporté au suivi et à l'aménagement de ce travail m'indique aujourd'hui qu'il a cru à mon projet de recherche. Qu'il accepte mes plus sincères remerciements.

Merci également à Valérie Baillard à qui je dois beaucoup pour sa présence, pour sa disponibilité et pour les commentaires avisés qu'elle a su m'apporter à des moments où j'en avais le plus besoin. Elle a su être à mes côtés lorsqu'il s'agissait de faire aboutir ma démarche de recherche. Je remercie également ses parents, Denise et Daniel Baillard, qui ont généreusement proposé de relire la thèse, une tâche ardue qui demandait un œil attentif et averti.

Je n'oublie pas non plus Jean-François Rotgé et Laurent Daniel qui, à l'occasion de nos nombreuses discussions, m'ont toujours aidé à voir plus clair dans le domaine de l'informatique graphique. Par leurs conseils, leurs idées originales et leur disponibilité, ils ont été de véritables collaborateurs. Qu'ils acceptent aussi mes plus sincères remerciements.

Merci enfin à toutes les autres personnes qui ont également collaboré de près ou de loin à la réalisation de cette thèse. Par leur hospitalité, leur cordialité mais également leurs encouragements et surtout leur générosité intellectuelle, Hélène Laperrière et Daniel Latouche m'ont offert un climat de travail au Québec des plus motivants; ils savaient ce que voulait dire faire une recherche dans un pays qui n'était pas encore le mien. Comment ne pas mentionner aussi Alice D.-H. Pho qui n'a jamais refusé d'acquiescer à mes nombreuses demandes souvent urgentes et accaparantes. Et comment omettre de citer Caroline Thanassoulis qui dans le cadre d'un stage d'étude, alors qu'elle n'avait encore

jamais fait de programmation informatique, n'a pas hésité un instant à faire de la modélisation d'actions pour réaliser le fronton de l'église Saint-Eustache à Paris.

Je sais gré à toutes les personnes, étudiants, professeurs, chercheurs ou conférenciers que j'ai rencontrés et qui ont bien voulu consacrer de leur temps aux discussions qui ont permis d'enrichir ma recherche.

Ce travail a pu être mené à bien grâce aux informations relatives à l'église Saint-Eustache provenant du cabinet de M. Alain Charles Perrot, architecte en chef des monuments historiques à Paris et chargé de cette église, ainsi qu'aux informations relatives à l'arrondissement Ville-Marie obtenues de l'Atelier d'architecture Imagine, Montréal. Il a reçu un support financier octroyé par le bureau du vice-doyen aux études supérieures de la Faculté de l'aménagement et du Fonds d'Investissement des Cycles Supérieurs de l'Université de Montréal (FICSUM). Il a également bénéficié de la collaboration du personnel de différentes bibliothèques dont notamment celles de la Faculté de l'aménagement, du Département de mathématiques et de la Collection des livres rares de l'Université de Montréal ainsi que du personnel du centre de documentation du Centre Canadien d'Architecture (CCA). Nicole Larivière a assuré avec beaucoup d'indulgence le suivi administratif de mes études. Que toutes les personnes concernées par ce support à ma recherche soient cordialement remerciées.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Agence Science-Presse rapportait en décembre 1995 qu'un consortium d'une quarantaine de collèges et universités à travers le monde venait d'être créé avec pour objectif de « trouver une solution informatique au problème des plans indéchiffrables » (Paquin, 1995). On constatait, par exemple, que les codes graphiques utilisés dans les plans d'architecture pour la spécification d'une information relative à un édifice pouvaient être confus et que cette information pouvait être éparpillée entre divers documents écrits ou graphiques et sous des formats différents. Le problème de ces plans pouvait rendre difficile la tâche des personnes qui ont recours à ces plans comme, par exemple, lors de la gestion de travaux de rénovation dans un édifice.

Au sein du consortium créé, la solution envisagée pour résoudre le problème consiste à écrire un programme informatique permettant de réunir l'information se rapportant à un édifice sous un format unique. Une fois développé, ce programme va permettre, par exemple, à une personne qui clique à l'aide d'une souris sur une ligne d'un plan d'architecture affiché sur un écran d'ordinateur, d'obtenir une information associée à cette ligne. La personne pourra ainsi savoir si cette ligne correspond à un mur ou à un tuyau, le matériau utilisé, les dimensions, etc. Autrement dit, pour ce consortium il s'agit en quelque sorte d'informatiser des plans d'architecture.

La représentation en plan, coupe et élévation d'un édifice n'est pas remise en question, ce qui d'ailleurs est le cas pour beaucoup de travaux de recherche où l'on s'intéresse à des solutions informatiques pour des problèmes en architecture. Voici par exemple une définition donnée, dans une de ces recherches, à un produit en architecture¹ :

« In the basic case, a design consists of line drawings that describe something for making and show how it works. Drawings may be used singly, or they may be used multiply, for example, to establish three dimensional relationships in plans, sections, and elevations, or to describe the separate parts and their relationships in an assembly. Drawings, however, rarely give everything in a design. Sometimes, they are augmented with solid models and other kinds of geometrical representations [...].

The complexity of designs suggests a simple definition. A **design** is an element in an n -ary relation among drawings, other kinds of descriptions, and correlative devices as needed » (Stiny, 1989, p. 137).

¹ Tout au long de ce texte, les caractères en gras, en italique ou en majuscules ainsi que les termes entre guillemets dans les citations sont introduits par leurs auteurs respectifs.

Cette définition du « design » permet à l'auteur de proposer différentes solutions à des problèmes d'ordre géométrique posés par un dessin mis au point, depuis quelques siècles déjà, en fonction de moyens que sont notamment le crayon et le papier. L'ordinateur et l'informatique ne sont pas vus comme de nouveaux moyens susceptibles d'apporter de nouvelles solutions pour la traduction de l'information relative à un édifice. Ils sont plutôt considérés utiles à perfectionner une façon traditionnelle de représenter un édifice.

Dans le cadre de nos études de maîtrise, nous avons essayé de voir comment un outil informatique peut aider à améliorer le dessin en architecture. Il s'agissait d'envisager des solutions informatiques permettant de gérer des entités graphiques de façon à pouvoir traiter d'une information relative à un édifice pendant une communication en architecture. Nous nous sommes cependant heurté à des difficultés liées au caractère même de l'information disponible dans un plan, c'est-à-dire des primitives géométriques tels des lignes, des arcs ou des points, dépourvues de tout vocabulaire architectural comme dans le cas d'une porte ou de l'expression de la relation d'une fenêtre avec un mur, etc.

C'est en lisant notamment un passage d'un dialogue entre Phèdre et Socrate, qui s'entretiennent à propos d'un constructeur de navire Phénicien, que l'idée de revenir sur les fondements de la représentation en architecture apparut pouvoir faire l'objet d'une recherche dans le cadre d'un doctorat. Ce dialogue est de Paul Valéry (1945) dans *Eupalinos* et relate la démarche d'un Phénicien qui veut sortir des sentiers battus qu'empruntent de coutume ses contemporains pour construire des navires :

« PHÈDRE : [...] Son démon industriel le poussait à vouloir faire les meilleurs vaisseaux qui eussent jamais entamé les ondes de leur tailloir. Et cependant que ses émules se bornaient à imiter les modèles en usage ; de copie en copie, continuaient de reconstruire la nef d'Ulysse, sinon même l'arche immémoriale de Jason, lui, Tridon le Sidonien, ne cessant d'approfondir les parties inexplorées de son art, brisant les assemblages d'idées pétrifiées, reprenant les choses à leur source...

SOCRATE : La plupart, cher Phèdre, raisonnent sur des notions qui, non seulement sont « toutes faites », mais encore que personne n'a faites. Nul n'en est responsable, et donc elles servent mal tout le monde ».

[Paul Valéry, *Eupalinos*, 1945, p. 90-91]

Les notions « toutes faites » de la représentation en architecture sont celles se rapportant au dessin. Est-il nécessaire de transposer ces notions dans un environnement informatique lorsqu'on sait qu'elles ont été définies en fonction des limites et des possibilités d'un crayon et d'une feuille de papier ? Ou, est-il possible de reprendre « les choses à leur source » et essayer de voir comment l'informatique peut être mise à

contribution pour la définition d'une nouvelle façon de traduire l'information traitée en architecture ?

Tridon a réussi à innover en matière de construction de navires en adoptant une approche différente de celle de ses contemporains. Phèdre et Socrate s'entretiennent de cette approche qui consiste à essayer de comprendre les poissons dans la mer, la mer, le vent, etc. pour arriver à de nouvelles solutions de navire (Valéry, 1945, p. 91-94). Pour certaines de ses entreprises de construction, il a essuyé des échecs. Mais, il s'agissait pour ce constructeur d'apprendre en essayant de comprendre et de mettre à l'épreuve le résultat de sa compréhension jusqu'à en arriver à des solutions satisfaisantes.

Par analogie à la démarche de Tridon, l'idée ici est d'essayer de comprendre la communication en architecture pour voir comment tirer avantage des technologies informatiques disponibles. Pour ce faire, le présent travail a pour point de départ une question de recherche. Cette question a donné lieu à d'autres questions permettant de baliser une démarche qui amène à la proposition d'une méthode nouvelle pour la définition d'un moyen destiné à la communication en architecture. La mise à l'épreuve de cette proposition montre, comme nous allons le voir, qu'au moyen des technologies informatiques disponibles, il existe au moins une alternative au dessin pour la communication en architecture.

Question de départ

J.-P. Deslauriers (1991, p. 32) écrit que la « question de recherche se situe dans une perspective évolutive et il faut la laisser se développer au gré des besoins de l'apprentissage ». La question initiale de la recherche a évolué vers de nouvelles questions de recherche pendant notre compréhension de la communication en architecture. De façon à partager avec le lecteur notre démarche, nous avons choisi de structurer la thèse autour de ces questions.

La question de départ est formulée comme suit :

À quelles fins et comment un moyen peut-il être mis à contribution pendant la communication en architecture ?

Un moyen est défini comme étant « ce qui sert pour arriver à une fin ». L'objectif visé par la question de recherche est de comprendre à quoi et de quelle façon un moyen, un procédé technique, peut servir pendant la communication en architecture. Cette communication est comprise comme un « échange » entre des personnes ayant un intérêt commun qui est celui de réaliser un projet d'architecture et donc, les fins et les façons possibles de mettre à contribution un moyen de communication sont celles de ces personnes.

La dénomination de ce moyen n'est alors pas nécessaire. Les moyens disponibles pour la communication, tels les plans d'architecture ou les maquettes, sont intéressants à analyser dans la mesure où ils peuvent nous aider à voir des façons possibles d'envisager des fins. La manière dont ceux-ci sont mis à contribution peut aussi aider à voir comment des personnes arrivent ou n'arrivent pas à atteindre leurs fins pendant une communication en architecture. Mais ces moyens sont déjà définis et, par conséquent, limitent la compréhension d'autres fins et façons possibles que des personnes pourraient envisager pour la mise à contribution d'un moyen pendant leur communication en architecture.

La compréhension de la manière de communiquer et des fins des personnes qui réalisent un projet d'architecture est considérée ici pouvoir apporter une connaissance susceptible de mener à une nouvelle façon de définir un moyen pour la communication en architecture.

La question de recherche est motivée par deux constats ; (1) celui fait plus haut, relatif à la façon de mettre à contribution les moyens informatiques disponibles et également (2) celui d'un manque de recherche en matière de communication en architecture. En 1984, P. Laseau résumait ce manque de recherche en écrivant :

« Today, communication research within the field of architecture consists mainly of isolated discrete studies with little continuity between one project and the next. The bulk of this work is either descriptive or exploratory, with little hypothesis formation or testing. Overall, research questions are rarely funded. The exceptions to this pattern are of three types: media-based research programs, which experiment with media development and applications on a series of projects; single topic focus programs (e.g. community design), which explore communication techniques; and lines of investigation such as design team communications, visual literacy, and project management, pursued by authors over extended periods of time » (p. 259).

La question de départ formulée n'a pour but ni de décrire ni d'explorer une nouvelle façon de communiquer en architecture. L'objectif est d'arriver à comprendre les personnes qui communiquent en architecture et, en fonction de cette compréhension, envisager ensuite un moyen susceptible de répondre aux besoins de ces personnes.

Est-il besoin aussi de souligner qu'une question de recherche est également motivée par une passion personnelle du chercheur pour son sujet de recherche ? Sans cette passion notamment, nous aurions vite été découragés par toutes les questions que peut soulever la compréhension de la communication en architecture.

Structure de la thèse

La thèse est structurée en quatre parties. Les trois premières parties abordent des questions de recherche différentes mais complémentaires qui vont permettre d'arriver à une proposition pour une méthode nouvelle de traduction de l'information relativement à laquelle des personnes peuvent communiquer en architecture. Cette proposition est présentée, mise à l'épreuve et discutée dans la dernière partie dans le cadre d'une recherche de développement.

La question de départ est traitée en première partie. Celle-ci porte sur le processus de conception architecturale (Chapitre 1) et les moyens disponibles pour la communication (Chapitre 2). Comme il s'agit de la communication en architecture, il est difficile de faire l'économie d'un examen de la relation pouvant exister entre la communication et la réalisation d'un projet en architecture. À partir d'écrits divers, l'objectif est de comprendre, d'une part, quelles peuvent être les fins des acteurs qui participent à un processus de conception architecturale et, d'autre part, les moyens de communication qu'ils ont à leur disposition. C'est à l'occasion de la réalisation de cet objectif que les concepts et les notions de base par rapport auxquels la recherche est articulée sont définis.

Cette démarche va permettre de relever deux discordances entre les fins des acteurs qui communiquent pendant ce processus de conception et les moyens disponibles pour la communication. Il sera possible de souligner, d'une part, que le contenu des moyens disponibles pour la communication peut être difficile à comprendre par une personne ou une catégorie de personnes données et que, d'autre part, ce contenu ne correspond pas nécessairement à ce relativement à quoi communiquent des acteurs pendant un processus de conception. Pour essayer de comprendre et de résoudre ces discordances, une nouvelle question de recherche est formulée et présentée à la fin de cette première partie. Il s'agit de voir de quels moyens de communication pourraient disposer les acteurs d'un processus de conception qui traitent d'une solution architecturale en cours de développement. Pour ce faire, la compréhension est dirigée vers la vie psychique de ces acteurs et vers la façon dont les moyens de communication disponibles ont été développés.

Ainsi, en deuxième partie, une recherche exploratoire en psychologie est entreprise. Cette recherche, dont la méthodologie est présentée en début de la partie en question, consiste en une étude de résultats de travaux de recherche réalisés en psychologie cognitive (Chapitre 3) et en psychologie de l'environnement (Chapitre 4). Il s'agit, à travers une recension d'écrits, de voir comment une personne peut prendre connaissance d'objets ou d'environnements physiques. Tout d'abord, différentes théories de la psychologie cognitive sont passées en revue et confrontées, spécialement celles qui visent à expliquer la façon dont une personne peut se représenter des informations perçues visuellement et les

transformer mentalement. Ces théories se rapportent à l'imagerie mentale. Elles permettent notamment de mettre en évidence que, dans le cas de la résolution de problèmes dans une configuration spatiale, une personne peut avoir besoin de voir non seulement la forme des objets qui constituent cet espace en trois dimensions mais aussi les relations entre ces objets ou leurs composantes. Les travaux de recherche réalisés en psychologie de l'environnement permettent par ailleurs de voir que la perception et la cognition chez une personne sont des processus complexes et variables en fonction des expériences, des connaissances et des sensibilités propres à chaque personne. L'étude de ces travaux permet particulièrement de mettre en évidence qu'une personne peut percevoir un environnement physique par rapport à ses finalités d'action dans cet environnement. Les conclusions dégagées dans cette deuxième partie vont impliquer des orientations pour la définition d'un moyen destiné à la communication en architecture. Elles se rapportent principalement à une possibilité de sélection d'une information tridimensionnelle, variable et structurable en fonction des priorités de chaque personne considérée et de ses finalités pendant ou après la perception.

La troisième partie est consacrée à une recherche historique qui consiste à étudier le développement des moyens de communication utilisés en architecture. La démarche de recherche est basée sur une méthodologie de recherche présentée en début de cette partie. Cette démarche procède également par questions et, de ce fait, les événements rapportés du passé ne sont pas présentés dans un ordre chronologique. En premier lieu, il s'agit de la définition du dessin d'architecture à la Renaissance italienne qui est analysée (Chapitre 5). Cela permet de voir dans quelles conditions socioculturelles et économiques le dessin a été introduit en architecture. En second lieu, on traitera de la façon de communiquer avant la Renaissance (Chapitre 6). L'objectif est de découvrir comment, sans nécessairement recourir au dessin, les civilisations anciennes, jusqu'au Moyen Âge, pouvaient réaliser des projets d'architecture. Nous verrons que c'est principalement parce qu'ils pouvaient accorder plus d'importance à la façon de réaliser un projet d'architecture qu'au résultat escompté, c'est-à-dire le bâtiment. Finalement, pour compléter cette démarche, c'est la période d'après la Renaissance qui est examinée (Chapitre 7). Cela permettra de comprendre comment le dessin a pu être répandu en architecture, en France notamment. Une mise en perspective de notre compréhension du développement des moyens de communication utilisés en architecture, présentée en fin de partie, fait ressortir qu'il y a eu dans l'histoire, au niveau de la définition de ces moyens, une abdication progressive de la prise en charge de la façon d'obtenir un résultat (c'est-à-dire du processus ou de la démarche) pendant un processus de conception. Cette abdication s'est faite en faveur de la considération du résultat du processus de conception lui-même ; ce changement

a été favorisé par une transformation du travail en architecture et la formalisation de la géométrie descriptive.

Compte tenu des enseignements dégagés par ces trois parties, la dernière partie est consacrée à la proposition d'une méthode alternative pour la figuration d'une solution architecturale (Chapitre 8). La proposition consiste à considérer une modélisation basée sur la définition des actions qui sont à l'origine des caractéristiques visibles de cette solution. Il s'agit de satisfaire la perception visuelle physiologique, mais également téléologique, d'une personne qui participe à un processus de conception architecturale. L'instrumentation de cette proposition est développée en relation avec les connaissances informatiques et géométriques disponibles. Pour établir sa validité (interne et externe), une mise à l'épreuve de la proposition est considérée par rapport à trois exemples différents : une lampe (Tizio), la construction d'une église (Saint-Eustache à Paris) et le contexte de l'application d'articles d'un règlement d'urbanisme (Arrondissement Ville-Marie à Montréal) (Chapitre 9). Il s'agit de trois exemples choisis en fonction de deux approches (analytique et systémique) qui sont importantes lors de la modélisation d'actions, c'est-à-dire la modélisation d'une structure définissant des actions et celle d'une façon de produire des structures définissant des actions. Les résultats obtenus, présentés sous forme d'images, illustrent les possibilités de la méthode proposée. La discussion de ces résultats permet de voir quelques possibilités et quelques limites de la proposition avancée (Chapitre 10). Cette discussion ouvre également de nouvelles pistes de recherche possibles en matière de figuration basée sur la considération de la définition des actions permettant d'obtenir les résultats escomptés plutôt que sur les résultats eux-mêmes.

En guise de conclusion, nous examinerons les contributions de la recherche pour notre communication en architecture. Nous reviendrons spécifiquement sur la démarche suivie tout au long de ce travail pour voir si elle a permis d'apporter un éclairage nouveau sur la façon de considérer les moyens de communication, notamment la mise à contribution de l'informatique en architecture.

PREMIÈRE PARTIE : COMMUNICATION EN ARCHITECTURE—PROBLÉMATIQUE ET
DÉFINITIONS

La réflexion proposée est relative à la communication en architecture. Il s'agit de la communication entre différentes personnes qui participent à la réalisation d'un projet d'architecture. Ces différentes personnes peuvent être l'ouvrier sur un chantier de construction, l'architecte, l'ingénieur, la personne qui va bénéficier du résultat de cette réalisation, c'est-à-dire le futur usager, ou encore celle qui finance le projet d'architecture. En fait, toutes les personnes concernées d'une manière ou d'une autre par un projet d'architecture peuvent communiquer les unes avec les autres pour réaliser ce projet.

L'importance que peut prendre la communication pour la réalisation d'un projet d'architecture implique qu'elle puisse être comprise comme une activité, non pas isolée, mais incluse dans un processus plus général de conception architecturale. Concevoir et communiquer peuvent être indissociables pendant un processus de conception architecturale. « Il y a [...] de la communication dans la conception » et il « y a [...] de la conception dans la communication », écrit F. Pousin (1991, p. 129). En concevant, une personne, tel un architecte, peut dialoguer avec une autre personne, tel un ingénieur ou un futur usager, ce qui leur permet de préciser et de clarifier leurs idées relatives à un projet commun (Lawson, 1980). Pour comprendre alors la façon de communiquer pendant la réalisation d'un projet d'architecture, il apparaît donc nécessaire d'adopter une approche qui ne dissocie pas la communication et la conception en architecture.

Pour ce faire, la conception architecturale peut être considérée comme un processus complexe qui fait intervenir des acteurs aux multiples rationalités et aux intérêts divers œuvrant ensemble à la réalisation d'un projet d'architecture (Prost, 1992). Le processus, qui est schématisé en figure 1, est défini, selon J.-L. Le Moigne (1990), par :

« son exercice **et** son résultat : il y a processus lorsqu'il y a au fil du temps T, la modification de la position dans un référentiel « Espace-Forme », d'une collection de « produits » quelconques identifiables par leur morphologie, par leur forme F donc » (p. 46).

L'exercice en architecture est constitué de toutes les activités des personnes impliquées dans la réalisation d'un projet et le résultat réfère aux différents états de l'information traitée pendant cette réalisation. Un processus de conception commence dès la première intention de projet et s'achève après la traduction finale de cette intention dans le concret d'un édifice (Prost, 1992). Dès la première intention, la formulation d'un problème et sa solution est engagée et tout au long du processus de conception, différentes personnes peuvent participer par leurs actions à préciser progressivement cette solution et

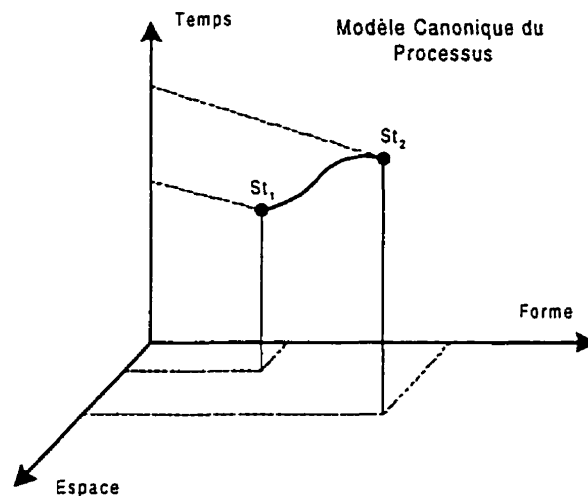


Figure 1 : Identification d'un processus dans le référentiel Temps-Espace, Forme
[d'après J.-L. Le Moigne (1990, p. 47)]

ce problème jusqu'à produire un édifice. Les personnes pour lesquelles le projet d'architecture a été initié, s'emparent ensuite de l'édifice réalisé en l'adaptant à leurs propres besoins. Le produit final d'un processus de conception architecturale peut donc être le résultat d'actions de plusieurs acteurs intervenant à différents moments sur une forme d'une solution en constante transformation, la transformation d'une intention de projet en une forme matérielle, autrement dit un édifice que des personnes peuvent ensuite s'approprier.

Quant à la communication, étant liée à la conception, elle est aussi définissable comme un processus. P. Laseau (1984) écrit que si « processes are the building blocks for successful results, then communication is the mortar » (p. 257). La communication permet aux acteurs d'un processus de conception d'échanger de l'information nécessaire à leurs actions. Pendant leur communication, ces acteurs précisent et donc transforment des idées pour leurs actions qui vont définir une solution architecturale. Par exemple, une personne qui veut se faire construire une maison par un maçon peut discuter d'abord avec celui-ci de la façon dont elle voit la réalisation de ce projet. Avant d'entreprendre la réalisation de la maison, le client et le maçon vont s'échanger de l'information qui va permettre de fixer la forme, l'organisation, les matériaux, le coût, etc. à considérer pour leur projet commun. Ensuite, pendant la mise en chantier d'une solution, le client et le maçon peuvent continuer à s'échanger de l'information pour corriger, ajouter ou supprimer une caractéristique initialement fixée pour la solution adoptée. Ainsi, en partant d'une information initiale et en communiquant, le maçon et le client peuvent progressivement arriver à réaliser une maison. Mais lorsqu'il y a plus de deux acteurs qui participent à la réalisation d'un projet d'architecture, la communication peut devenir plus complexe.

Dans ce qui suit, le premier chapitre est consacré à la compréhension de la communication pendant la réalisation d'un projet d'architecture. L'objectif est de comprendre les formes, les moments et les acteurs de la communication pendant la réalisation d'un projet d'architecture. Par rapport à l'exercice d'un processus de conception, nous identifieront différents types de communication et les mettrons en contexte afin de pouvoir circonscrire ceux qui vont pouvoir faire l'objet de cette recherche. Les intérêts et les attentes des acteurs concernés par ces types de communication seront étudiés. Nous verrons ainsi que leurs attentes et intérêts peuvent notamment se rapporter à trois caractères d'une solution architecturale, c'est-à-dire sa praticabilité, sa technicité et sa faisabilité. Ces trois caractères d'une solution architecturale, qui seront définis et examinés dans ce chapitre, nous amèneront alors à nous interroger sur « à quoi » réfèrent les acteurs pendant leur communication. Il s'agit de voir si ces acteurs réfèrent à une solution formulée ou à un objet architectural. Cette différence de définition de la référence pendant une communication implique des affiliations théoriques remarquables qui seront considérées.

Au second chapitre, les moyens de communication et leur mise à contribution par des acteurs pendant une communication en architecture retiendront l'attention. L'objectif est d'examiner et de mettre en contexte les moyens disponibles pour la communication. Dans un premier temps, avant de présenter ces moyens qui sont des modes et des techniques permettant de traduire une information relative à une solution architecturale, nous verrons pourquoi l'expression « représentation architecturale » communément employée pour désigner ces moyens est mal adaptée au contexte de recherche actuel. Elle est remplacée, conformément à notre approche, par l'expression « figuration architecturale ». Dans un deuxième temps ensuite, nous étudierons la question de la communication au moyen de ces modes de figuration. Il s'agira de voir comment les acteurs d'un processus de conception utilisent ces différents modes de figuration pendant leur communication et les difficultés qu'ils peuvent rencontrer avec ces modes pour la compréhension d'une solution architecturale. Pour compléter notre compréhension, nous verrons également différents enjeux que l'emploi de ces modes de figuration peut impliquer pendant un processus de conception.

La compréhension de la communication en architecture ainsi élaborée au niveau de ces deux chapitres permettra de relever des discordances entre les fins et les moyens des acteurs qui communiquent relativement à une solution architecturale. Ces discordances sont présentées en fin de cette première partie et seront accompagnées d'une précision de la question de recherche initiale.

CHAPITRE 1 : Réalisation d'un projet d'architecture et communication

Un projet d'architecture peut être réalisé par plusieurs personnes, un architecte, un client, un ingénieur, etc. (Farel, 1995). Dans ce cas, ces personnes collaborent à la réalisation d'un projet d'architecture et, pour cela, peuvent communiquer entre elles. La communication leur permet alors de se concerter sur la façon de réaliser ce projet. Elle leur permet d'envisager des actions à entreprendre dans le cadre d'un projet d'architecture et ainsi de renforcer leur rôle d'acteurs dans un processus de conception.

Cependant, l'action de chaque acteur d'un processus de conception peut se rapporter différemment à la réalisation d'un projet d'architecture. Pour un projet comme la réalisation d'un édifice à bureaux, un terrassier peut préparer l'assiette pour la construction de l'édifice, un ingénieur peut définir sa structure ou encore un comptable peut calculer les coûts relatifs à ce projet. L'ingénieur peut intervenir avant le terrassier et le terrassier avant un peintre en bâtiment. Par conséquent, plusieurs types de communication peuvent avoir lieu entre les différents acteurs d'un processus de conception. Dans un même contexte socio-économique et culturel, à l'origine de façons particulières de réaliser un projet d'architecture¹, ces types de communication peuvent donc dépendre de chaque acteur et de ses actions pendant un processus de conception.

Dans ce qui suit, pour essayer de comprendre à qui et dans quel contexte un moyen de communication peut servir, une approche qui considère des acteurs et leurs actions est privilégiée. Nous examinerons les façons possibles de communiquer pendant un processus de conception et les acteurs impliqués dans ces communications.

1.1. La communication pendant la conception

1.1.1. Communication et processus de conception

La communication est omniprésente pendant un processus de conception architecturale (Laseau, 1984 ; Pousin, 1991 ; Prost, 1992). En effet, un acteur, tel un architecte, engage ses premiers échanges dès le début de la commande et peut les poursuivre pendant tout le processus de conception qui prend fin à la livraison du résultat de ce processus : le bâtiment. En amont de cette livraison, une idée de bâtiment est formulée puis progressivement détaillée jusqu'à être transcrite dans une figuration prescriptive :

¹ Ces façons particulières se définissent par rapport aux règles et aux coutumes de la société dont elles sont issues et dans laquelle elles sont considérées. Ce contexte influence, et la façon de concevoir un projet, et la façon de communiquer entre acteurs pendant un processus de conception.

les plans d'exécution du bâtiment. En aval, un usager s'approprie ce bâtiment en l'ajustant à sa façon d'habiter par exemple, lorsqu'il s'agit d'une maison¹ (Teasdale et Wexler, 1987). Entre les deux, l'idée de bâtiment passe d'une présence mentale qui appartient aux acteurs qui cherchent une solution à un problème d'architecture, à un état matériel à partir duquel un usager pourra se constituer sa propre représentation mentale. Tout au long de cette transformation d'une solution architecturale, plusieurs types de communication peuvent avoir lieu qui sont relatives à l'idée d'un bâtiment à différents stades de son développement. Pour voir les différents types de communication possibles, voici une investigation du processus de conception pendant lequel ce passage s'inscrit.

- *Un processus de conception architecturale*

Un processus de conception architecturale peut être vu comme un enchevêtrement d'actions. Une action est ce qui permet à une personne de réaliser une intention, comme amorcer un projet d'architecture ou construire un mur. Une personne devient « acteur » parce qu'elle définit et réalise une action pour certaines finalités. La première action d'un processus de conception est définie au moment de l'amorce d'un projet.

Une ou plusieurs personnes amorcent un projet d'architecture parce qu'elles désirent modifier un environnement physique de façon à ce que cet environnement puisse répondre à leurs besoins (Zeisel, 1981, p. 3). Une personne peut vouloir construire un nouveau siège social pour son entreprise parce qu'elle souhaite que les personnes qui vont percevoir ce siège social se forment une certaine image de son entreprise. Pour cela, le chef d'entreprise peut par exemple imaginer un édifice en hauteur ayant une façade faite à base d'aluminium et de matière plastique pour souligner la réussite et le caractère de haute technologie de son entreprise. Ce faisant donc, avant de s'adresser à des professionnels de la construction, ce chef d'entreprise aura déjà essayé de formuler et de résoudre un problème d'architecture.

Cependant, un processus de conception inclut également les conceptions, les intentions et le savoir-faire de plusieurs acteurs concernés par un projet d'architecture (Prost, 1992). L'intervention d'un acteur à tout moment d'un processus de conception peut transformer et le problème posé et la solution qui lui a été apportée. Sur un chantier de construction, un acteur peut modifier la solution envisagée pour un problème d'architecture parce qu'il est en face d'une pénurie d'un matériau, par exemple. Cet acteur peut aussi considérer des dispositifs techniques qui n'avaient pas été complètement définis initialement, comme la mise en place d'une canalisation ou la construction d'un échafaudage.

¹ En ajustant un bâtiment, une personne peut par exemple encore communiquer comme lorsqu'il s'agit de partager ce bâtiment avec une autre personne.

Une idée de bâtiment peut être en constante révision, jusqu'à ce que les personnes par qui un projet d'architecture a été initié, s'approprient le bâtiment construit en y réalisant leurs différentes activités. L'imprévisibilité du caractère et du moment de l'intervention d'un acteur qui apporte une révision, ainsi que les conséquences possibles de cette intervention sur la réalisation du projet introduisent la nécessité de considérer ce processus de conception comme récursif. Un processus de conception est récursif parce qu'un bâtiment est obtenu après plusieurs aller-retour entre un problème et sa solution.

Ainsi, le chef d'entreprise qui a pensé utiliser pour sa façade un matériau à base de matière plastique peut changer d'idée au cours du processus de conception et opter pour du verre. Au moment de l'introduction de cette nouvelle option, l'idée du bâtiment peut être à un stade de formulation avancé, c'est-à-dire où l'introduction de ce nouveau matériau peut nécessiter, par exemple, la re-considération de la répartition des espaces initialement réservés à certaines activités à cause d'un confort thermique déjà calculé.

T. Heath (1984) définit la méthode en architecture sur la base d'actions et écrit :

« Method, which we have been calling the model of the activity, is then the list of actions that must be performed to get from the problem to the solution, the "design" and ultimately the building; the actions themselves are the problem-solving process or the design process » (p. 15).

Pour T. Heath (1984), les actions sont le processus de design. L'auteur considère cependant les actions sous la forme d'une liste ce qui contredit en quelque sorte le caractère récursif que nous venons de reconnaître pour un processus de conception.

R. Prost (1992), par contre, met les acteurs et leurs actions au centre du processus de conception et entrevoit ce processus dans sa dynamique sous trois registres interdépendants et qui se bouclent; (1) les processus de formulation de problème, (2) les processus de formulation de solution et (3) les processus de concrétisation d'une solution conçue. D'après l'auteur, cette façon de voir un processus de conception architecturale offre l'avantage de considérer :

« [...] **l'ensemble des acteurs inhérents au processus**, partant du principe qu'une solution ne se constitue pas uniquement dans le rapport symbiotique création/créateur, mais par des rapports complexes entre des acteurs aux multiples rationalités et évoluant dans des contextes socio-économiques et culturels précis » (Prost, 1992, p. 12).

En partant du principe qu'un processus de conception est fondé sur des actions de plusieurs acteurs, il est possible de comprendre les besoins en moyens pour la communication de tous les acteurs qui réalisent un projet d'architecture. L'implication d'une telle compréhension d'un processus de conception est de considérer que dans la

réalisation de ce projet non seulement une formulation d'idées mais également leur concrétisation sont réalisées par plusieurs acteurs. Les moyens de communication pourraient alors être mis à contribution pour soutenir la réalisation d'un projet en tenant compte des besoins pour les actions de toutes les personnes impliquées dans un processus de conception.

Les trois registres que R. Prost (1992) a identifié et qui viennent d'être énumérés appartiennent et sont des sous-processus enchevêtrés d'un processus de conception. Le premier registre consiste à formuler un problème visant la définition d'un énoncé décrivant le projet d'architecture à réaliser. Il s'agit d'un travail à la fois de recueil et d'interprétation d'informations initiales, et de compréhension des acteurs initiateurs du projet et de leurs intentions. Ce travail est entrepris par les acteurs du processus de conception pour définir les principes et comprendre les contraintes du projet envisagé. Pendant ce processus de formulation du problème, les acteurs précisent les besoins, les intentions et les souhaits des personnes par qui et pour qui le projet d'architecture a été initié. Les aspects juridiques, financiers et techniques du projet sont également pris en considération. Les acteurs discutent des besoins en matière d'activités et d'usages, en terme d'espace et ébauchent les caractéristiques techniques qu'ils entrevoient pour un futur édifice. Ils abordent aussi la question de l'organisation générale du processus de conception, c'est-à-dire les entreprises qui pourraient intervenir, la façon et le moment de leur intervention, par exemple.

Toutes les contraintes du projet sont considérées en parallèle et sont interdépendantes pour la formulation du problème. Par exemple, une personne peut souhaiter construire un immeuble de cinq étages mais si le coût estimé du projet est supérieur aux prévisions initiales alors ce nombre d'étages peut devoir être réduit. Mais en réduisant ainsi le nombre des étages, la superficie des espaces disponible pour l'exercice des activités prévues se trouve également réduite. Les conséquences de cette contrainte financière pourraient alors se traduire soit par une diminution des activités prévues dans cet immeuble, soit par une baisse de la dimension des espaces envisagés.

Cependant, à ce stade d'un processus de conception, le sens que les contraintes d'un projet d'architecture peuvent prendre pour les différents acteurs peut rester encore relativement vague. Les acteurs ne réussissent pas encore à faire contenir dans l'énoncé du problème toutes les informations opératoires susceptibles d'apporter une solution à ce problème (Prost, 1992, p. 25-36). C'est dans la collaboration des acteurs concernés par les questions soulevées pendant cette formulation que le problème prend progressivement forme et que ces acteurs donnent un sens aux différentes contraintes et à des solutions possibles. Cette collaboration ne peut être envisagée que lorsque les acteurs communiquent entre eux.

Un processus de formulation de problème se poursuit pendant le processus de formulation de solution qui est le second registre reconnu par R. Prost (1992). D. Schön (1983) exprime la simultanéité de ces deux processus par *reflection-in-action* qu'il définit ainsi :

« In a good process of design, this conversation with the situation is reflective. In answer to the situation's back-talk, the designer reflects-in-action on the construction of the problem, the strategies of action, or the model of the phenomena, which have been implicit in his moves » (p. 79).

Pour résoudre et préciser davantage un problème d'architecture, les personnes en charge de la formulation d'une solution architecturale communiquent encore entre elles. Elles font un va-et-vient entre le problème et la solution, tous deux en formulation, et leur communication porte sur « en même temps l'objet en création et la pensée qui le crée » (Lebahar, 1983, p. 20). Par affinements successifs et après de nombreux bouclages que J. Zeisel (1981, p. 14) a traduit par la métaphore de la spirale pour montrer la progression itérative du processus de résolution, une ou plusieurs solutions architecturales peuvent ainsi être produites. Parmi ces solutions, les personnes qui ont initié le projet d'architecture vont retenir celles qu'elles auront jugé répondre le mieux au problème formulé initialement et précisé par la suite. Pendant cette formulation de la solution, un équilibre est recherché entre le problème et sa solution en opérant des choix influencés par les expériences et le contexte social des acteurs du processus de conception (Cuff, 1991, p. 194). L'expérience des acteurs permettra notamment de considérer la concrétisation de la solution envisagée pendant la résolution du problème d'architecture.

Pendant le processus de formulation de solution et même, pendant la formulation du problème, l'idée de la concrétisation peut être déjà considérée par les acteurs. Cette concrétisation se fera de plus en plus présente au fur et à mesure de la précision de la solution, car, comme l'écrit R. Prost (1992, p. 76), « les solutions architecturales, imposant le passage des mots aux choses, réclament la désignation de la chose conçue ». Une solution à un problème d'architecture est également formulée avec pour objectif d'être réalisée sur un chantier de construction. Pour cela, progressivement pendant la résolution du problème, la solution considérée est disciplinée au moyen de la géométrie (Lebahar, 1983, p. 21). Elle est traduite au moyen de la géométrie pour fixer les décisions prises pendant la résolution d'un problème d'architecture.

Après qu'ils aient jusqu'ici mis à contribution des mots et des ébauches pour communiquer relativement aux concepts et aux principales caractéristiques de la solution envisagée, les acteurs tels les architectes et les ingénieurs peuvent assujettir les différents constituants de cette solution aux règles strictes et rigoureuses de la géométrie. Ces acteurs

se consacrent alors à l'objet que va devenir la solution architecturale, une fois construite. Ils vont tracer des traits précis pour délimiter et montrer la forme de ce que sera, par exemple, une salle de bain. Pour ce faire, ils précisent et détaillent une information non constitutive, dans ce sens où c'est une information résultante et ne se rapportant pas à ce qui a permis de résoudre un problème d'architecture. Le détail et la précision de la solution sont établis en fixant avec des mesures et des formes géométriques précises les différents constituants de la solution. Ce faisant, ces acteurs vérifient en même temps la cohérence et l'adéquation de la forme retenue pour ces constituants par rapport au projet d'architecture tout entier. En cas d'un constat d'irrégularités, ils corrigent ou adaptent, au moyen de la géométrie ou de la mesure, les constituants de la solution jugés impropres, soit à résoudre le problème initialement formulé, soit à être concrétisés sur un chantier de construction.

À l'issue de ce processus de formalisation, une solution aura été « mise au propre », c'est-à-dire qu'elle sera passée des idées premières des initiateurs d'un projet à une solution arrêtée de façon géométrique. Des processus de formalisation il ne restera de trace que les dessins de leurs résultats. Alors que pour certaines personnes, le processus de conception peut s'achever à ce stade de la définition d'une solution¹, en produisant une « architecture de papier », pour d'autres, il se poursuit pendant la concrétisation de cette solution sur un chantier de construction (Prost, 1992).

Le processus de concrétisation de la solution, le troisième registre du processus de conception considéré par R. Prost (1992, p. 97), consiste à transformer une solution formalisée en une solution concrète. Le passage s'effectue en exprimant la première au moyen d'informations directement traduisibles sur un chantier de construction. J.-C. Lebahar (1983, p. 106) écrit que face à « l'imminence du chantier qui ne pardonne ni l'erreur, ni l'ambiguïté », on tentera d'éliminer un maximum de choix possibles qui pourraient conduire à des décisions de chantier différentes de celles projetées. L'établissement de ces choix, d'après R. Prost (1992), doit :

« [...] porter sur une définition exhaustive de ce que sera la solution concrète. En ce sens, la conception de la concrétisation réclame, d'une part, une **connaissance** approfondie de la "matérialité architecturale" mais, d'autre part, une **expérience** du bâti/bâtir sans laquelle le concepteur ne pourra juger de la pertinence de ses choix » (p. 100).

La transformation d'une solution architecturale formalisée en une solution concrète consiste donc à traiter de et à faire des choix relatifs à la matérialité d'un bâtiment. Il s'agit plus précisément d'une confrontation aux aspects techniques, physiques, économiques et plastiques d'une solution architecturale (Prost, 1992, p. 100). Pour réaliser

¹ À ce stade d'un processus de conception, la solution formulée est aussi appelée solution conçue.

cette confrontation, un acteur d'un processus de conception est amené à connaître cette matérialité et posséder une expérience de la façon de la concrétiser. La connaissance et l'expérience impliquées dans un processus de concrétisation se rapportent donc tant à un état qu'à une façon de parvenir à une matérialité pour une solution architecturale.

À ce stade d'un processus de conception, la solution architecturale est généralement développée dans ses moindres détails tout en tenant compte de façons permettant de la concrétiser. Pour cela, on établit un dossier « d'exécution » comprenant les prescriptions techniques pour la réalisation de la solution. Ce dossier comprend les plans d'exécution, les devis et le cahier des charges. Le chantier de construction est ensuite lancé sur la base de ce dossier et les modes de production propres à ses acteurs permettront de concrétiser la solution envisagée. En cas de problèmes insurmontables sur ce chantier, une révision du dossier d'exécution peut être nécessaire et une solution nouvelle peut alors être recherchée. Parfois, au besoin, la recherche d'une nouvelle solution peut entraîner la reformulation même de l'énoncé du problème d'architecture initial.

Le processus de concrétisation d'une solution architecturale est achevé lorsque le bâtiment est réalisé et donc prêt à être soumis à un nouveau processus, celui de son appropriation par de futurs usagers (Prost, 1992, p. 118). De manière à l'adapter à leurs besoins, ces usagers pourront encore transformer le bâtiment obtenu. La figure 2 schématise la compréhension d'un processus de conception architecturale élaborée jusqu'ici, avant l'appropriation par des usagers du bâtiment produit. Cette figure montre l'enchevêtrement des trois registres du processus de conception qui viennent d'être exposés.

- *Cinq types de communication*

Avec cette compréhension d'un processus de conception architecturale, il est possible de reconnaître cinq types de communication susceptibles de se produire entre différents

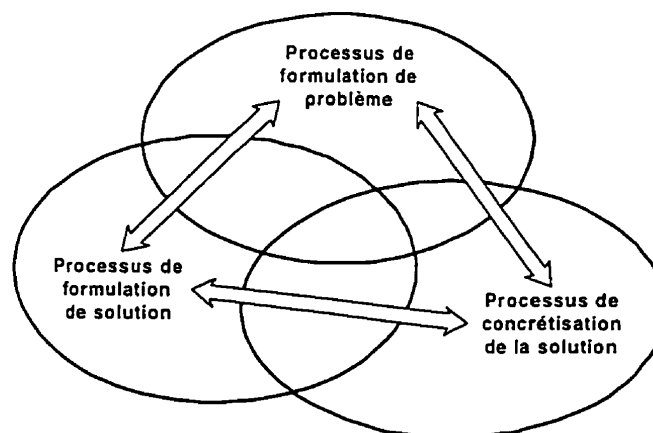


Figure 2 : Enchevêtrement de trois processus du processus de conception architecturale

acteurs. Ces types de communication peuvent être reconnus à partir des objectifs spécifiques poursuivis par les acteurs d'un processus de conception et par rapport à leur inscription dans la durée de ce processus.

Un premier type de communication a lieu au tout début d'un processus de conception. Les acteurs visent alors principalement l'énoncé d'un problème d'architecture. Pour ce faire, ils peuvent communiquer par la parole, des documents écrits, des schémas, des photos ou tout autre moyen, tels des gestes, susceptible de les aider à exprimer et à échanger leurs premières idées relatives à un problème d'architecture.

Un second type de communication peut être reconnu au stade de la recherche d'une solution à un problème. Les acteurs essaient alors de donner une forme à une solution. Dans le temps, ce second type de communication peut être simultanément au premier type identifié. Les acteurs peuvent continuer à s'exprimer avec les mêmes moyens pour la communication précédents mais peuvent également avoir recours de plus en plus fréquemment à des dessins (croquis, ébauches) ou à des modèles réduits leur permettant de visualiser les orientations formelles qu'ils étudient pour une solution architecturale (Lawson, 1980, p. 173).

Dès qu'une solution architecturale est suffisamment formulée pour que sa forme puisse être traduite par la géométrie, un troisième type de communication peut alors avoir lieu entre les acteurs d'un processus de conception. Pendant cette communication, l'objectif est d'arriver à évaluer si cette solution est pertinente pour le problème formulé. Pour cela, les acteurs peuvent essayer de considérer la solution comme si elle était déjà concrétisée. Pendant cette évaluation, ils peuvent décider de la poursuite ou non du projet d'architecture initié. À ce stade du développement de la solution, des architectes pourront essayer de présenter aux initiateurs de ce projet quelles seront la forme et l'organisation spatiale d'une ou plusieurs solutions architecturales. Sur la base de cette présentation, les initiateurs du projet pourront alors décider si une solution convient à leurs différents critères financiers ou besoins organisationnels, sociaux, etc., et envisager des alternatives dans le cas où une solution ne satisfait pas au problème d'architecture énoncé.

Un quatrième type de communication peut avoir lieu lorsqu'une solution architecturale est acceptée pour être développée davantage. L'objectif des acteurs est alors de détailler les aspects techniques de cette solution. Cet objectif peut être atteint par les acteurs qui possèdent une connaissance et une expérience relative à la façon de définir la matérialité d'une solution. Ce type de communication implique par conséquent des acteurs ayant une compétence dans un certain domaine d'expertise de la construction comme des ingénieurs, des entrepreneurs en bâtiment ou des architectes. En communiquant, ces acteurs envisagent notamment comment la solution architecturale pourrait être concrétisée.

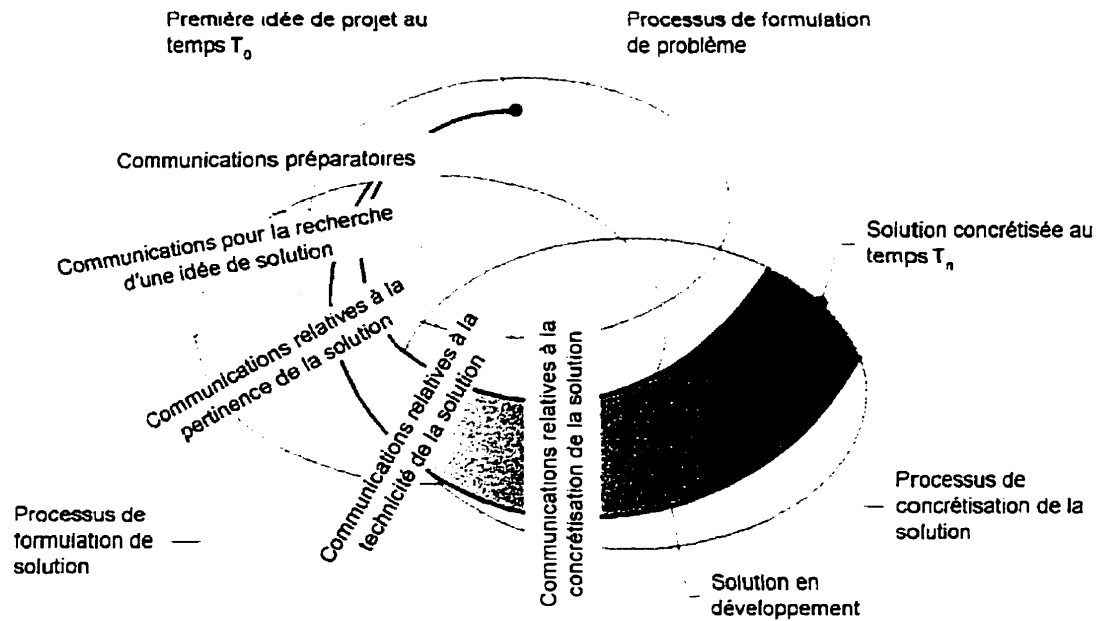


Figure 3: Cinq principaux types de communication du processus de conception architecturale

Enfin, un cinquième et dernier type de communication a trait directement à la concrétisation de la solution formulée. Ces communications concernent principalement les acteurs qui agissent sur le chantier de construction, tel un maçon ou un électricien. L'objectif de cette communication est de permettre à ces acteurs de disposer de toute l'information nécessaire à la concrétisation de la solution, c'est-à-dire une information relative aux résultats matériels à atteindre et aux méthodes pour les obtenir. En d'autres termes, il s'agit du «quoi faire ?» et du «comment faire ?» sur ce chantier. La communication porte sur la question de la faisabilité de la solution formulée. La double visée de cette communication, du quoi et du comment faire, renvoie à des modes de production sur un chantier de construction où il est question de disposer d'une information relative à la solution «efficace» et «pertinente» pour la concrétisation (Prost, 1992, p. 107). L'efficacité concerne la capacité de cette information à pouvoir être adaptée à la production sur un chantier de construction et la pertinence renvoie à la qualité de l'information dont peuvent avoir besoin les acteurs pour cette production.

Les cinq types de communication reconnus, pouvant avoir lieu entre différents acteurs pendant un processus de conception, sont schématisés en figure 3. Les ellipses en trait grisé, reprises du schéma de la figure 2, désignent les trois processus enchevêtrés d'un processus de conception. Le point inscrit dans l'ellipse représentant le processus de formulation de problème indique la genèse, au temps T_0 , de la première idée de projet d'architecture. De ce point, deux lignes courbes sont acheminées à travers les trois ellipses

jusqu'à un nouveau point indiquant une solution concrétisée à un temps T_n . Entre ces deux points, les deux lignes courbes s'écartent graduellement pour illustrer la précision progressive de la définition d'une solution architecturale. De même, le dégradé de gris entre T_0 et T_n , remplissant la surface délimitée par ces deux lignes courbes indique le rétrécissement progressif de l'espace des solutions possibles pendant la durée d'un processus de conception. Sur les deux lignes courbes, sont tracées transversalement des segments de droite entre lesquels les cinq types de communication reconnus sont mentionnés. Ces segments de droite sont tracés en traits pointillés pour souligner que ces cinq types de communication ne sont pas cloisonnés et peuvent se chevaucher.

Les trois derniers types de communication reconnus sont particulièrement intéressants pour être retenus pour la poursuite de la recherche. Il s'agit des types de communication pendant lesquels une solution est formulée, non encore concrétisée mais suffisamment avancée dans la formulation pour pouvoir être considérée comme si elle était déjà un objet architectural pouvant avoir une matérialité. D'une part, cette solution est susceptible d'être évaluée ; ainsi, à ce stade d'un processus de conception par exemple, les personnes qui auraient eu pour projet de se construire une maison peuvent essayer de comprendre comment elle est organisée et si les espaces qui y sont prévus répondent bien aux besoins de leurs activités, comme recevoir des invités ou lire un livre sans être dérangé par le bruit. D'autre part, pendant chacun de ces trois types de communication, cette solution est à un stade différent de son développement. Cette solution est amenée progressivement à un niveau de détail devant permettre sa réalisation sur un chantier de construction. Ces trois types de communication vont permettre aux acteurs d'un processus de conception de prendre de nouvelles décisions ou d'accomplir, sur leur base, de nouvelles actions. Le dernier type de communication est d'autant plus important qu'il permet d'inscrire définitivement une solution formulée dans le monde matériel, sans grande possibilité de retour sur la plupart des décisions prises pendant un processus de conception.

Dans ce qui suit, il s'agit de voir qui sont et à quoi s'intéressent les acteurs d'un processus de conception pendant ces trois types de communication.

1.1.2. Les acteurs participant à la communication

Le nombre et le profil des acteurs prenant part à un processus de conception dépendent de la nature et de l'envergure du projet d'architecture considéré. Ainsi, dans le cas d'un projet pour la construction d'une résidence, un architecte, son client et un entrepreneur en construction peuvent être les trois seuls acteurs à communiquer. Par contre, pour de grands projets publics tels des ensembles d'habitations ou un centre sportif, une multitude d'acteurs peuvent communiquer. De plus, le contexte socio-économique et culturel dans lequel un

processus de conception s'inscrit peut également déterminer la façon dont ce processus peut être organisé et les types d'échanges qui peuvent avoir lieu entre les acteurs de ce processus. Comme il peut y avoir plusieurs différents acteurs pendant un processus de conception, une façon d'essayer de comprendre ces acteurs peut consister à s'intéresser aux finalités qu'ils peuvent poursuivre pendant la réalisation d'un projet d'architecture.

En effet, par rapport aux trois types de communication retenus précédemment, certains acteurs peuvent essayer d'établir la convenance d'une solution pour un problème d'architecture en examinant sa forme, sa décoration ou l'organisation de ses espaces, par exemple. D'autres acteurs peuvent aussi viser la résolution des problèmes d'ordre technique posés par la solution architecturale avant sa mise en chantier. D'autres acteurs encore peuvent s'intéresser à la concrétisation de cette solution.

- *Les intéressés par une praticabilité*

Les acteurs d'un processus de conception qui essaient d'établir la convenance d'une solution à un problème d'architecture peuvent chercher à comprendre la praticabilité de cette solution. Par praticabilité sont désignés tous les aspects d'usage possibles d'une solution une fois concrétisée ainsi que les pertinences propres au projet lui-même, financières ou autres. En communiquant, ces acteurs peuvent s'intéresser à la façon dont la solution pourra servir une fois concrétisée et s'il convient de la concrétiser. En plus des aspects d'usage et d'espace d'une solution architecturale, ils peuvent soulever des questions relatives au coût et à l'orientation technique considérées au moment de l'énoncé du problème d'architecture.

L'usage et l'espace sont liés et renvoient aux façons possibles d'exercer des activités et de s'approprier un espace. Ils intéressent principalement les personnes pour qui une solution est développée, c'est-à-dire celles qui vont prendre possession de cette solution une fois concrétisée. Les personnes qui ont initié un projet de maison peuvent essayer de comprendre, dès qu'une solution est suffisamment formulée, comment elles pourraient meubler telle ou telle pièce, par exemple. À ce stade de définition de la solution, elle peuvent voir le résultat des initiatives prises pendant le processus de conception et apporter, si nécessaire, des modifications à la solution.

Le volet financier concerne davantage les personnes qui financent le projet, généralement le client ou maître d'ouvrage. Ces personnes peuvent voir non seulement si une solution formulée répond à un problème d'architecture mais aussi peuvent décider si cette solution vaut l'investissement prévu au départ. Ces personnes peuvent, par exemple, vouloir comprendre si pour leur investissement elles obtiennent une certaine flexibilité des espaces réservés aux bureaux de façon à pouvoir changer la vocation de l'édifice construit, en cas de difficultés d'un marché immobilier.

Enfin, les orientations techniques considérées pour une solution architecturale peuvent être évaluées par différents acteurs en relation avec les objectifs poursuivis, leur réalisation et la présentation du résultat escompté. Par exemple, les ingénieurs peuvent étudier les principes de solidité de la structure porteuse d'une solution apportée à un projet d'immeuble, les entrepreneurs, la possibilité de la concrétiser et ceux qui ont initié le projet, l'effet que cette structure pourra avoir sur l'image de marque de leur compagnie.

- *Les spécialistes de la technicité*

Lorsqu'une solution formulée est acceptée pour être développée davantage, différents acteurs peuvent également intervenir pour résoudre, détailler, préciser et compléter les aspects techniques de cette solution. Les acteurs qui prennent en charge ce développement, sont généralement des professionnels. Ils sont ingénieurs, techniciens ou architectes et peuvent communiquer relativement à la substantialité d'une solution architecturale mais principalement sous un aspect technique. Ils peuvent prêter moins d'attention aux activités pour lesquelles les espaces ont été formés et proposer des solutions techniques¹ pour assurer une « solidité » à un édifice (structure), un éclairage de ses espaces (électricité), des conditions thermiques (chauffage et climatisation), etc.

Les activités prévues dans des espaces intéressent les acteurs qui développent les aspects techniques d'une solution architecturale seulement dans le cas de leur incidence sur le problème qu'ils ont à résoudre. Pour un acteur chargé de l'éclairage par exemple, comme l'ingénieur ou le technicien en électricité, les personnes et les activités qui pourront se produire dans un espace pourront avoir plus d'importance que pour celui qui, comme l'ingénieur en bâtiment, est chargé de l'établissement de la structure porteuse de la solution.

Les intérêts et le nombre de ces acteurs peuvent être variés et dépendent aussi de l'envergure du projet et de la technologie qui y est considérée. Cependant, le point d'intérêt commun à ces acteurs est la technique associée à la solution formulée. Chacun de ces acteurs développe la « technicité » de la solution formulée en communiquant avec les autres acteurs d'un processus de conception.

- *Les concernés par une faisabilité*

Une fois retenue pour un problème d'architecture et ses principes techniques suffisamment élaborés, une solution architecturale est prête à être concrétisée sur un chantier de construction. Les acteurs chargés de cette concrétisation, comme un maçon, un menuisier ou un entrepreneur en construction, peuvent alors s'intéresser plus particulièrement à la « faisabilité » de cette solution. Pour une solution formulée, ils peuvent vouloir connaître non seulement la substance qui lui est associée mais également les modalités qui permettront

¹ En ce sens, ces acteurs sont également des concepteurs.

de la concrétiser. Les acteurs sur un chantier de construction peuvent s'intéresser à des matériaux à mettre en œuvre, aux installations techniques prévues et à prévoir pour concrétiser la solution. Ils peuvent également s'intéresser à la façon de considérer ces matériaux et ces installations pour arriver à un résultat.

Habituellement, ces acteurs reçoivent des acteurs ayant développé la technicité d'une solution, une description précise de la configuration de cette solution et des matériaux à mettre en œuvre (plans et devis) et mettent à contribution leurs expériences et connaissances professionnelles pour la concrétiser. Les personnes qui œuvrent sur les chantiers de construction possèdent un savoir et un savoir-faire dans des domaines spécialisés complémentaires (électricité, maçonnerie, gros œuvre, etc.) qui leur permettent de concrétiser cette solution. Une formation professionnelle et une expérience sur différents de ces chantiers peuvent être à l'origine de ces savoir.

Parfois, cependant, les « contraintes de faisabilité peuvent détourner de façon significative la solution conçue et l'obligation au concret peut évacuer bon nombre d'exigences initiales de l'ordre des finalités, voire des utilités », écrit R. Prost (1992, p. 107). Si les techniciens, ingénieurs ou architectes, qui fournissent aux acteurs sur un chantier de construction une description détaillée d'une solution architecturale à concrétiser, ne distinguent pas clairement le « comment faire ? » du « quoi faire ? » sur un chantier, l'écart entre une solution concrétisée et celle qui avait été formulée au départ peut être important¹. Cet écart peut être tel que l'édifice résultant d'un processus de conception peut ne plus constituer une réponse satisfaisante au problème pour lequel il a été construit. Les acteurs sur un chantier de construction peuvent être amenés à prendre des décisions qui ne vont pas toujours dans le sens des intentions auxquelles d'autres acteurs d'un processus de conception ont voulu répondre en formulant une solution. Afin de pallier à ces problèmes de la concrétisation, des visites sur les chantiers de construction sont préconisées.

En somme, pendant les trois types de communication retenus, les acteurs d'un processus de conception architecturale peuvent s'intéresser à la matérialité d'une solution formulée en fonction de chacun de leurs objectifs propres au sein de ce processus. Ainsi, différents acteurs (futurs ou potentiels usagers de l'espace, clients, investisseurs, etc.), sans compétences techniques particulières dans la construction, peuvent vouloir comprendre la praticabilité de cette solution pour pouvoir décider si celle-ci convient à un problème initialement formulé. D'autres acteurs, ayant chacun une certaine expertise technique en

¹ R. Prost (1992, p. 103) écrit que la « [...] **faisabilité réclame un enchevêtrement entre l'ordre substantif et l'ordre procédural** [...] [qui fait] partie intégrante du problème général de la conception ».

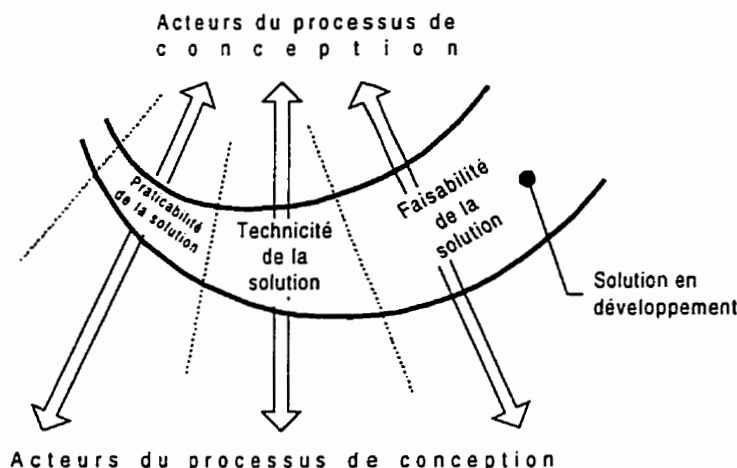


Figure 4 : Trois principaux intérêts des acteurs qui communiquent relativement à une solution architecturale formulée mais toujours en développement

construction, peuvent s'intéresser à la technicité de cette solution. Enfin, pour d'autres acteurs encore, ceux qui peuvent concrétiser sur un chantier de construction cette solution et qui possèdent des connaissances et expériences en construction, l'intérêt peut porter sur la faisabilité de la concrétisation de cette solution.

Ce à quoi les acteurs d'un processus de conception peuvent s'intéresser en communiquant relativement à une solution architecturale est schématisé en figure 4, qui est un détail de la figure 3. Les deux lignes courbes en trait plein qui s'écartent graduellement désignent toujours la solution en développement. Par rapport à ces lignes sont indiquées à présent les trois principaux intérêts que peuvent avoir ces acteurs. Ces intérêts, la praticabilité, la technicité et la faisabilité d'une solution formulée ne sont séparés que d'un segment de droite en trait pointillé pour signaler, d'une part, qu'ils sont dépendants les uns les autres et, d'autre part, qu'ils ne sont ni exclusifs à certains acteurs seulement ni situés avec précision par rapport à la durée d'un processus de conception. Dans ce chapitre, nous reviendrons plus en détail sur ces différents intérêts des acteurs après avoir examiné les conceptions possibles de la communication en architecture.

1.2. Communication relative à une solution architecturale

1.2.1. Conception de la communication

Une communication en architecture peut être comprise de différentes façons. Elle peut être comprise comme un processus pendant lequel des personnes s'échangent une information relative soit à un objet, c'est-à-dire un édifice, soit à une solution architecturale. S'il s'agit d'un objet, alors il y a en quelque sorte un renoncement aux processus qui ont permis d'obtenir cet objet. En effet, ce n'est plus le « comment faire ? » qui serait ainsi

sous-jacent à une communication en architecture mais plutôt le « de quoi c'est fait ? ». Dans cette perspective, c'est l'objet, et donc le résultat, qui primerait sur les actions par lesquelles les acteurs essaient de résoudre un problème pendant un processus de conception.

Selon cette approche, on suppose que les acteurs peuvent comprendre une solution architecturale uniquement à partir d'une analyse de ses constituants. À partir de l'état de cette solution à un certain stade d'un processus de conception, on admet que n'importe quel acteur de ce processus peut savoir non seulement « comment » formuler davantage la solution mais également comment elle a été amenée à ce stade de son développement.

Une compréhension de la communication en architecture selon cette approche tombe alors sous le joug du modèle « mécanique »¹ de la théorie de l'information dont un des principes est précisément « *l'extériorité et l'atomisation* » de ce qui y est appelé, dans son jargon, l'émetteur, un canal avec un message et le récepteur de la communication (Sfez, 1992, p. 61). « Le message est distinct de l'émetteur et du récepteur » (Sfez, 1992, p. 61). Ni comment les acteurs sont parvenus ni comment ils vont parvenir à formuler davantage la solution par rapport à laquelle ils communiquent n'ont alors d'importance pour comprendre cette solution. Selon cette conception linéaire de la communication, il suffirait d'abord qu'un acteur « représente » (code) le résultat du processus de conception à un certain stade de son développement. Ensuite, que cet acteur (émetteur) présente dans un langage approprié et sur un support donné (canal), comme le papier, le produit de cette représentation à un autre acteur (récepteur). Et finalement, que l'acteur à qui le produit de cette représentation est destiné, le reçoive et l'assimile (décode). Selon cette conception, il n'y a aucune implication des acteurs qui prennent part à cette communication et au processus de conception architecturale. La communication se fait dans un sens unique, de l'émetteur au récepteur, et ce qui est communiqué, le message, est établi indépendamment de l'émetteur et du récepteur et de leurs façons de faire respectives.

Pourtant, comme l'écrit L. Sfez (1992) :

« L'œuvre - le produit - n'est pas distincte de ce qui lui donne naissance. C'est le procès qui seul compte et dans ce procès, toujours inachevé, se mêlent le faire et le fait, le dire et le dit. L'effet, qui par un mouvement retour affecte la cause, ne lui est pas inférieur » (p.70).

L. Sfez (1992) présente une autre façon de comprendre la communication. Il s'agit d'une communication où le produit et l'action qui l'engendre sont de même importance pour la compréhension de ce produit. L'action et son produit s'inscrivent ensemble par

¹ L. Sfez (1992, p. 59-60) introduit ce néologisme pour souligner le rapprochement qu'il fait de la théorie de l'information avec le fonctionnement d'une machine. Ce rapprochement est réalisé notamment en raison de la linéarité du schéma émetteur-message-récepteur.

rapport à un procès. Il s'agit d'une approche systémique qui par définition « passe commodément par la notion de PROCESSUS » et dont le concept de base est l'action (Le Moigne, 1990, p. 46). Selon cette approche, la communication est définie comme une interaction entre des acteurs, avec toute la complexité que cela peut sous-entendre.

Par exemple, considérons deux acteurs qui participent à un processus de conception, un ingénieur en climatisation et un maçon. Ces deux acteurs, aux expériences et aux connaissances différentes, peuvent communiquer relativement aux différentes façons qu'ils entrevoient chacun pour résoudre un problème d'installation de gaines de ventilation. Dans ce cas, ils essaient, en communiquant, de formuler une solution à un problème. Si l'ingénieur a déjà prévu une solution, il pourra essayer d'expliquer au maçon comment il envisage sa réalisation. De même, si le maçon estime que cette solution est difficile à concrétiser sur un chantier de construction, il pourra discuter avec l'ingénieur d'une autre façon de résoudre le problème soulevé. Comme l'ingénieur et le maçon participent tous deux à un processus de conception et comme le résultat de ce processus n'est pas par définition encore atteint, la communication entre ces acteurs ne peut donc être relative uniquement au résultat escompté au bout de ce processus, c'est-à-dire des gaines de ventilation installées.

Ainsi, la communication entre les acteurs d'un processus de conception peut également être relative à comment obtenir un résultat. En communiquant, un acteur

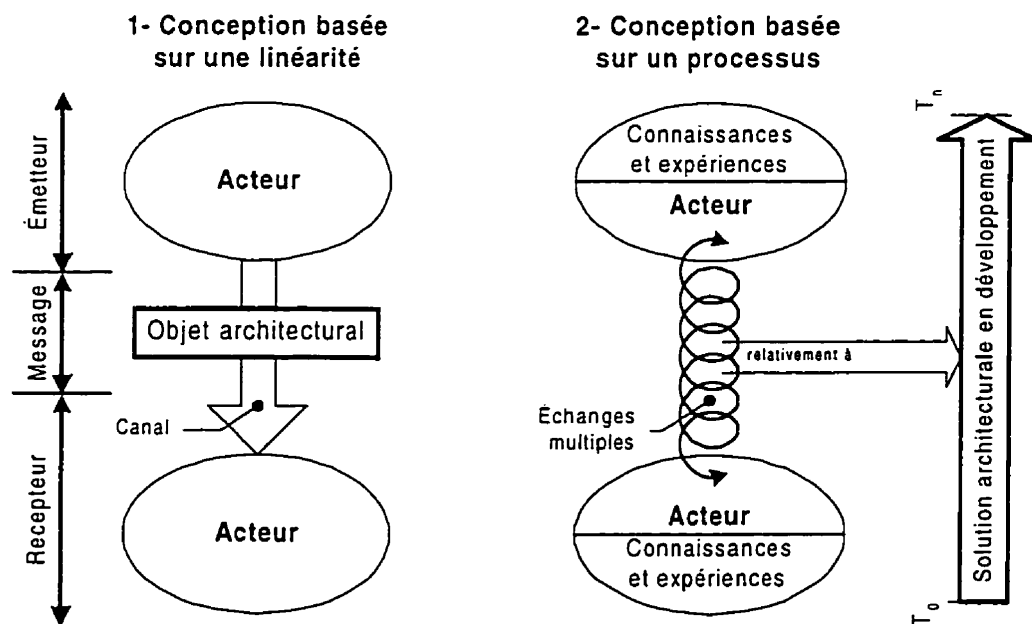


Figure 5 : Deux conceptions de la communication entre acteurs d'un processus de conception

s'« exprime » en fonction des idées exprimées par un autre acteur. Les acteurs s'expriment pour savoir comment une solution pourrait résoudre un problème d'architecture et quel en sera le résultat. La figure 5 schématise les deux conceptions de la communication entre les acteurs d'un processus de conception architecturale qui viennent d'être présentées.

Dans ce qui suit, nous examinons ce par rapport à quoi les acteurs d'un processus de conception peuvent communiquer pendant les trois différents types de communication précédemment retenus.

1.2.2. Trois caractères d'une solution

- *De la praticabilité d'une solution*

La praticabilité d'une solution architecturale découle de ce qui est possible de faire avec cette solution. Il s'agit du pourquoi d'un projet d'architecture : pourquoi il a été initié, par exemple pour permettre à des personnes de réaliser certaines activités ou de satisfaire à un besoin telle l'expression d'une image de marque pour une compagnie. De ce point de vue, la praticabilité d'une solution fonde un processus de conception. En comprenant la praticabilité d'une solution formulée, les acteurs tant initiateurs d'un projet que futurs usagers d'espaces, peuvent donner un sens à cette solution architecturale (Heath, 1984, p. 85).

La praticabilité d'une solution architecturale peut porter sur deux registres complémentaires et indissociables d'un projet d'architecture; un premier qui touche aux utilités et un second se rapportant à des finalités. Les utilités sont les « nécessités en matière d'activités et d'usages correspondant à des "besoins" en matière "d'espaces" » (Prost, 1992, p. 26). Les finalités sont les dimensions d'un projet d'architecture relatives aux intentions et aux desseins que les acteurs veulent réaliser en initiant ce projet. Ces intentions et ces desseins peuvent être la recherche, par exemple, d'un signe qui distingue la solution d'autres édifices, de quelque chose susceptible d'attirer le client d'une compagnie ou encore d'une image de soi que la personne voudrait projeter à travers la solution architecturale aux membres de sa société.

Les utilités intéressent au plus haut point les acteurs susceptibles de réaliser des activités dans les espaces d'une solution, une fois concrétisée. Autrement dit, elles sont les caractéristiques de la solution qui permettent à une personne de faire usage de cette solution.

D. Pinson (1993, p. 85-110) déduit, après une étude comparée de l'étymologie du mot, que l'usage suppose :

« [...] un acteur, non pas l'individu passif auquel on destine l'espace, ni l'élément humain auquel l'édifice ou le lieu désigne une fonction, mais un producteur d'actes répétés et complexes qui mettent l'espace dans une situation d'accord ou de conflit avec celui qui le pratique » (p. 88-89).

Pour comprendre l'usage possible d'une solution architecturale, une personne peut avoir besoin d'imaginer un certain nombre de processus pendant lesquels elle réalise différentes activités dans cette solution. Ces processus sont réalisés par une personne et peuvent donc faire appel non seulement à des notions de confort et de superficie d'espace pouvant soutenir physiquement une activité, mais également à des dimensions psychologiques et sociales. Pour recevoir des invités dans un salon, une personne peut penser à la capacité d'accueil de cet espace, au confort acoustique et thermique qui peut convenir à cette activité mais aussi à la décoration qui pourra permettre de présenter une certaine image de soi à ses invités ou à l'ameublement qui pourra favoriser des conversations. Les utilités sont donc toutes les caractéristiques de la solution qui permettent un usage au sens large du terme, c'est-à-dire incluant différentes dimensions propres au mode de vie et aux finalités de la personne qui réalise une activité.

Une personne peut envisager l'usage d'un espace à condition qu'elle arrive à comprendre comment elle pourrait mettre cet espace en accord avec ses besoins. Pour A. Rapoport (1969), la compréhension des possibilités de mise en rapport d'une activité avec un espace dépend de la lecture de ce qu'il nomme la « *criticality* » de l'espace. Cette notion de *criticality* est centrée sur ce qu'il est possible de réaliser pour une personne comme activités dans un espace. Elle est dite élevée (*high criticality*) lorsque l'espace contraint l'exercice d'une activité et basse (*low criticality*), lorsque la personne peut réaliser une plus grande variété d'activités. À la différence des situations d'accord et de conflit, cette notion de *criticality* introduit la prise en compte de ce qu'un espace permet ou non à une personne de réaliser comme activité. Un espace peut restreindre ou accroître les possibilités d'activité lorsque cette *criticality* est élevée ou basse respectivement. Une personne qui agit peut subir l'espace, sa grandeur, sa forme ou son confort, et ne plus pouvoir réaliser certaines de ses activités¹. Un espace peut être en situation de parfait accord avec celui qui y pratique une activité tout en étant qualifié par une *criticality* élevée. De même, la *criticality* peut être basse et l'espace en situation de conflit avec l'acteur qui y réalise une activité mais avec, cette fois-ci, des perspectives de négociation plus grandes (transformation de l'espace ou adaptation de l'activité). Aussi, cette valeur de la *criticality* d'un espace vient se superposer au concept d'usage pendant une communication relative à une solution architecturale puisqu'une fois établie par un acteur

¹ Ce qui est d'ailleurs parfois délibéré pendant la formulation de certaines solutions architecturales telles, par exemple, les salles de spectacles ou encore des stations d'essence.

elle lui permet de mieux comprendre les contraintes de l'espace et ainsi convenir d'usages plus probables.

Comme une solution formulée est encore en développement, elle n'a donc pas la valeur déterministe d'un espace physique concret et, de ce fait, peut encore être facilement modifiée. Une personne qui arrive à établir la *criticality* d'une solution formulée peut alors encore agir sur cette solution pour adapter cette *criticality* à ses besoins. Pour réaliser cette adaptation, une personne peut communiquer avec les autres acteurs d'un processus de conception. Ce faisant, l'argumentation pour le maintien ou la transformation d'une solution formulée peut devenir nécessaire (Heath, 1984, p. 92). Les acteurs qui ont participé au développement de la solution pourront alors essayer de mettre en évidence la façon et les raisons qui les ont conduites à cette solution.

De plus, des finalités pendant la réalisation d'un projet d'architecture peuvent être en filigrane d'une communication en architecture. Il s'agit de ce qui justifie un projet d'architecture et permet à un acteur de rendre « plus ou moins explicite, d'une part, sa conception du monde et de la place qu'il y occupe, et, d'autre part, la compréhension qu'il a de l'architecture » en tenant compte bien entendu du contexte socio-économique dans lequel le projet est initié (Prost, 1992, p. 26). Ces finalités qui, au début du processus de conception, étaient restées quelque peu floues pour les acteurs trouvent à présent une interprétation dans la solution formulée. En communiquant, ces acteurs peuvent essayer de les percevoir dans la solution. Ces finalités qui peuvent être de multiples sortes, peuvent être exprimées dans la configuration générale de l'édifice (ouverture sur l'extérieur, plancher libre, etc.), par son intégration au site (respect des règlements d'urbanisme, rapport à l'environnement, etc.) ou encore par ses principes techniques et de décoration (structure métallique, façade en aluminium, etc.). Elles peuvent vouloir expliciter un statut social, un mode de vie ou encore une idéologie. Parfois même, elles peuvent primer sur l'utilité du projet comme cela a été le cas, par exemple, pour la forme de l'Arche de la Défense à Paris. Pour pouvoir rappeler la forme de l'Arc de Triomphe, la répartition des bureaux à l'intérieur de l'édifice semble avoir été contrainte plus par cette forme que par les exigences d'une façon de travailler des personnes occupant cet édifice.

Les finalités d'un projet d'architecture sont également liées à un contexte socioculturel et économique pouvant se traduire par des règlements d'urbanisme, des conventions sociales, une technologie disponible, des mouvements artistiques ou le budget alloué au projet par exemple. Ce contexte peut prendre une place significative pour la compréhension d'une solution formulée, les corrections à lui apporter et plus généralement pour l'évaluation de la pertinence de cette solution.

En somme, les acteurs tant initiateurs d'un projet d'architecture que futurs usagers des espaces peuvent être intéressés, à l'occasion d'une communication pendant un processus de conception, par la praticabilité d'une solution architecturale. Un acteur peut essayer de comprendre comment faire usage d'une solution envisagée et comment voir ses intentions réalisées dans la solution en question. En communiquant, un acteur peut essayer de comprendre la praticabilité de cette solution par rapport à l'espace et à l'édifice qui vont être concrétisés. Par rapport à l'espace, il peut essayer de comprendre les utilités de la solution en relation avec une grandeur, une forme et un confort. Il s'agit notamment d'établir la *criticality* de l'espace. Par rapport à l'édifice tout entier, il peut essayer de comprendre l'interprétation de finalités dans la solution qui peuvent être traduites dans la configuration générale, l'intégration au site, les techniques utilisées ou encore les décorations considérées.

- *De la technicité d'une solution*

La technicité d'une solution architecturale est tout ce qui se rapporte, de près ou de loin, à la technique permettant de développer davantage cette solution. Lorsqu'une solution est acceptée, il s'agit de détailler les utilités nécessaires à son usage, de définir sa solidité et de préparer sa concrétisation. Pour ce faire, des acteurs, comme les ingénieurs, les architectes ou les techniciens, aux qualifications techniques spécifiques, peuvent tirer parti de leurs connaissances théoriques dans différents domaines spécialisés du bâtiment. Mais d'autres acteurs, comme les initiateurs du projet, les personnes qui vont faire usage de la solution ou encore celles qui vont la concrétiser sur un chantier de construction peuvent également participer à développer cette technicité en contribuant à la prise des décisions durant cette phase de développement.

Pour développer la technicité d'une solution, la communication entre ces acteurs peut porter sur au moins deux registres interdépendants, celui relatif aux substances et celui relatif aux commodités de la solution. Les substances de la solution sont la matière par laquelle les espaces destinés à l'usage sont circonscrits ou enveloppés, protégés et supportés. Il s'agit des cloisons, des planchers, de la structure porteuse, de l'étanchéité ou tout autre constituant physique et statique de la solution. Les commodités d'une solution architecturale sont les dispositifs d'appoint également destinés à supporter l'usage mais qui sont intégrés à la solution pour rendre cet usage plus confortable aux personnes à qui la solution est destinée. Il s'agit par exemple de canalisations d'eau, de réseaux électriques, de dispositifs de conditionnement de l'air, des isolants thermiques des murs ou encore d'installations de chauffage.

Les substances et les commodités d'une solution sont interdépendantes en ce sens que chacun de ces deux registres de la technicité peut être développé par des acteurs l'un

en fonction de l'autre. Par exemple, c'est la composition d'un mur qui peut déterminer le dispositif de chauffage à prévoir et c'est le type de dispositif de conditionnement de l'air qui peut contraindre la hauteur d'un mur de façon à laisser passer des gaines de ventilation. Dans la sphère des professionnels de la construction, cette technicité est généralement élaborée dans trois champs de compétence complémentaires, le gros œuvre, les équipements et le second œuvre du bâtiment. Cependant, ce découpage par champs de compétence ne correspond pas à une différenciation par type d'objectif des acteurs mais plutôt à une division du travail accommodant une organisation contemporaine des chantiers de construction.

La technicité d'une solution peut être développée en parallèle par différents acteurs. Les acteurs qui peuvent s'occuper spécifiquement de la solidité d'une solution peuvent être différents de ceux qui vont préparer son confort. En ce qui concerne la solidité, des ingénieurs en bâtiment vont, par exemple, utiliser des modèles physiques pour calculer une résistance de matériaux ou une structure et, en fonction des résultats obtenus, ajusteront la solution. Pour ce faire, ils peuvent avoir besoin de disposer d'informations relatives à la solution (ex : charge/surcharge d'un plancher, matériau, dimension, composition, forme, etc.) qui conviennent aux modèles de calcul qu'ils mettent à contribution.

Le confort d'une solution est pris en charge par des acteurs qui s'intéressent aux substances pour préciser certaines de leurs caractéristiques ou réserver des passages. Pour préparer ce confort, ils peuvent avoir besoin d'une information relative aux espaces (grandeur, forme et usage) et aux substances qui les circonscrivent. Un ingénieur en climatisation peut pourvoir un espace d'une bouche d'aération parce que l'activité qui y est prévue peut être à fortes émanations toxiques. L'ingénieur peut alors avoir à résoudre des problèmes d'alimentation en air et de passage de gaines jusqu'à cet emplacement. Pour cela, il peut réaliser divers calculs en tenant compte non seulement des caractéristiques physiques et de l'usage de l'espace considéré mais également de ceux des autres espaces intermédiaires qui se trouvent sur le parcours de la gaine à partir de la source d'air. De même, un autre ingénieur pourra essayer d'assurer une certaine température ou un éclairage à l'espace et spécifier l'emplacement ou apporter des modifications aux substances sur la base d'autres calculs.

Pour développer la technicité d'une solution, plusieurs acteurs agissent de concert sur les substances et les commodités de la solution mais de façons différentes. Le résultat de l'action d'un acteur peut permettre à un second acteur de considérer une autre action. Et, à l'inverse, le résultat de l'action du second acteur peut permettre au premier acteur de reconsidérer son action ou d'en définir une nouvelle. C'est donc en communiquant que ces acteurs peuvent réaliser cette technicité de la solution architecturale.

En somme, la technicité de cette solution peut être rapportée à la résolution de deux types de problèmes relatifs à la solidité et au confort attendus pour la solution. Ces deux types de problèmes sont pris en charge par des acteurs différents qui agissent en même temps, chacun à sa façon, pour préciser d'une part les caractéristiques physiques des substances de la solution et d'autre part pour définir les dispositifs techniques nécessaires à l'usage de la solution. Pour développer cette technicité, ces acteurs communiquent donc relativement à une solution architecturale en considérant des informations qui vont leur permettre de réaliser leurs calculs et dispositifs techniques.

- *De la faisabilité d'une solution*

La faisabilité d'une solution formulée est ce qui se rapporte à la concrétisation de cette solution. Elle porte sur le « Quoi faire ? » et le « Comment faire ? » ou, en d'autres termes, le résultat et les actions qui vont permettre d'obtenir ce résultat. Cette faisabilité implique principalement des personnes qui possèdent une connaissance et une expérience en construction. Elle suppose une organisation des actions de ces personnes et des moyens appropriés pour la réalisation de ces actions.

Comme cette faisabilité dépend en majeure partie des acteurs qui peuvent concrétiser une solution architecturale, elle ne peut donc être établie en dehors de la façon de faire de ces acteurs. Par conséquent, pour comprendre cette faisabilité et la façon dont des acteurs peuvent en débattre, il semble alors nécessaire de comprendre sur quoi portent les actions des acteurs qui concrétisent une solution sur un chantier de construction, et comment elles sont réalisées.

Pour concrétiser une solution architecturale, un acteur sur un chantier est amené à exercer ses actions sur un substrat. Pour réaliser ses actions, un acteur peut communiquer avec un autre acteur pour définir l'objectif qu'il va viser, le résultat de son action, et pour connaître la substance qu'il va employer pour obtenir ce résultat. Pendant cette communication, les acteurs peuvent soulever des questions relatives à la géométrie et aux caractéristiques physiques des différentes substances à employer. Dans certaines situations, la marque et l'identification d'un produit normalisé dans l'industrie du bâtiment peuvent suffire pour spécifier le substrat d'une action. C'est le cas, par exemple, d'une porte ou encore d'un type de tuile où il suffit parfois uniquement d'indiquer un numéro de modèle et le nom d'un fabricant pour s'entendre entre acteurs sur leurs caractéristiques. Cependant, d'autres situations peuvent réclamer que la substance soit préparée directement sur le chantier auquel cas l'explicitation de ces caractéristiques devient nécessaire. C'est le cas par exemple d'un voile de béton à couler sur place ou d'une charpente en bois à fabriquer sur mesure.

Une communication entre acteurs sur un chantier de construction peut également porter sur le lieu de l'action à réaliser, c'est-à-dire où obtenir un résultat par rapport aux autres résultats déjà obtenus ou à venir. Pour ce faire, les acteurs peuvent communiquer relativement à l'emplacement ou à la disposition d'un résultat escompté. La définition d'un emplacement peut nécessiter un système de repérage et une connaissance de la forme du résultat à produire. En communiquant, les acteurs peuvent, par exemple, déterminer le lieu d'installation de cadres de fenêtres ou d'équipements sanitaires. Par contre, pour des installations plus complexes tels des dispositifs de gaines ou des emboîtements de tout genre, leur communication peut aussi être relative à une articulation du résultat visé car, dans cet exemple, le substrat de l'action concerne un arrangement de plusieurs composantes et non plus seulement une composante isolée. Cette possibilité soulève la question relative aux façons de faire sur un chantier de construction.

Sur un chantier de construction, les acteurs peuvent également communiquer relativement à la façon et au moment de réaliser des actions. Selon la façon que ces acteurs organisent le chantier, plusieurs acteurs peuvent réaliser des actions simultanément. En fonction de leurs qualifications professionnelles et du caractère technique de la solution à concrétiser, les acteurs peuvent également intervenir à des moments différents sur un chantier de construction. Avant qu'un plâtrier puisse revêtir un mur, un maçon doit l'avoir monté. Mais pendant que le plâtrier agit, un électricien peut également passer les fils nécessaires à une installation électrique. De même, cet électricien peut aussi attendre pour compléter son installation que le plâtrier et les peintres aient fini leurs travaux respectifs. Souvent, certaines actions ne peuvent être réalisées avant d'autres, certaines peuvent être exécutées pour en préparer d'autres, certains travaux peuvent être réalisés par plusieurs actions réparties dans le temps ou encore nombre d'actions peuvent être accomplies simultanément. Un acteur qui intervient trop tôt ou trop tard sur un chantier peut gêner, voire même contraindre, la réalisation des actions d'autres acteurs. Pour concrétiser une solution architecturale, les acteurs peuvent donc être amenés à s'entendre sur une synchronisation de leurs actions.

En communiquant, les acteurs sur un chantier de construction peuvent également considérer les différentes façons possibles de réaliser leurs actions. En effet, ils peuvent établir conjointement comment articuler ensemble certaines composantes de façon à obtenir un dispositif technique particulier. Ils peuvent aussi étudier les façons qui vont leur permettre d'arriver aux meilleurs résultats possibles. Pour l'étude de ces façons, ils peuvent considérer des moyens techniques, c'est-à-dire des engins mécaniques, des grues, des échafaudages, etc., leur nombre et la manière de les opérer. Dans certains cas, ces études peuvent permettre de sauver temps et argent lors de la réalisation d'un projet.

En somme, une communication entre acteurs d'un processus de conception relative à la faisabilité d'une solution architecturale peut porter sur au moins deux registres en même temps, celui du résultat que veulent obtenir ces acteurs par leurs actions et celui de la façon de réaliser ces actions. Pour communiquer relativement au résultat de l'action, les acteurs peuvent considérer la forme, la substance et les caractéristiques physiques de ce résultat ainsi que le lieu où il va être obtenu. En ce qui concerne la façon de réaliser une action, les acteurs peuvent communiquer relativement à une méthode, un moment et les moyens techniques à considérer pour cette action. À travers leur communication, les acteurs sur un chantier de construction peuvent échanger sur le « quoi » et le « comment » impliqués pendant la concrétisation d'une solution architecturale.

1.3. Communication relative à des démarches et des résultats

D'après ce que nous venons de voir jusqu'ici, les acteurs d'un processus de conception peuvent communiquer relativement à trois caractères d'une solution architecturale en développement : la praticabilité, la technicité et la faisabilité. Ces trois caractères se rapportent tous à des démarches et à des résultats. En communiquant de la praticabilité de la solution, différents acteurs peuvent envisager les usages possibles d'espaces et la traduction de leurs finalités dans la solution. Par ailleurs, lorsqu'il s'agit de la technicité de la solution, des acteurs peuvent considérer la façon de rendre solide cette solution et quelles installations et caractéristiques prévoir pour assurer le confort nécessaire à l'usage d'espaces. Et enfin, en communiquant sur la faisabilité de cette solution, des acteurs peuvent établir la façon d'obtenir un résultat et les qualités attendues pour ce résultat.

Les démarches par rapport auxquelles les acteurs d'un processus de conception communiquent sont relatives à l'ensemble des actions permettant d'envisager les résultats escomptés. Les acteurs peuvent considérer les actions à la fois par rapport à la façon et au moment de les réaliser, aux liens qu'elles peuvent avoir avec la réalisation d'autres actions et aux résultats qu'elles permettent d'obtenir. La communication en architecture peut donc se rapporter à comment, quand, en fonction de quelles autres actions et pour quel résultat une action est envisagée. Autrement dit, lorsque les acteurs d'un processus de conception communiquent pour réaliser un projet d'architecture, ils peuvent considérer la manière de réaliser ce projet en même temps que le résultat escompté : un bâtiment.

Pour compléter cette investigation de la communication en architecture, dans ce qui suit, les différents moyens que les acteurs d'un processus de conception peuvent mettre à contribution pour échanger relativement à une solution architecturale en développement sont examinés.

L'objectif du présent chapitre est d'étudier les moyens disponibles pour la communication en architecture et de voir comment ils sont mis à contribution pour la réalisation d'un projet d'architecture. Il s'agit tout d'abord d'examiner la définition de ces moyens et ensuite de les voir en contexte pour la réalisation des objectifs de la communication des acteurs pendant un processus de conception. Cela permettra de découvrir et de relativiser les problèmes qui peuvent se poser pour la compréhension d'une solution architecturale.

2.1. Moyens disponibles pour la communication

Les acteurs d'un processus de conception peuvent mettre à contribution différents moyens pour communiquer relativement à une solution architecturale. Ils peuvent utiliser des plans d'architecture, des modèles réduits, des photographies, etc. Chaque acteur peut se servir de ces moyens pour expliquer ses idées relatives à une solution architecturale et comprendre celles des autres acteurs qui participent à un processus de conception.

En architecture, le moyen qui permet de communiquer relativement à une solution architecturale est appelé « représentation architecturale ». Celle-ci peut prendre différentes formes empruntant des modes élaborés selon diverses techniques. Avant d'étudier ces différents modes un retour sur la définition du terme « représentation » est nécessaire.

2.1.1. Figuration architecturale

- *Représentation ou figuration ?*

Pendant un processus de conception, un moyen de communication est mis à contribution pour permettre à une personne de rendre présente à son esprit une solution architecturale. En tant que réponse à un problème d'architecture, cette solution trouve donc sa référence première dans le problème pour lequel elle a été formulée. De même, en tant que solution à concrétiser, elle est également le référent d'un objet architectural à venir. Le terme « représentation » qui signifie à la fois l'action de rendre présent, sensible, un objet absent et son produit, l'image, la figure, ne semble alors pas approprié. D'après sa définition, une représentation vise à reproduire un réel et ne coïncide donc pas avec les objectifs d'un processus de conception pendant lequel un produit est en développement. Comme le fait remarquer F. Pousin (1991, p. 130), c'est « plutôt l'édifice construit qui représente la figure anticipatrice [...] et c'est pourquoi d'ailleurs, le terme de figuration nous semble plus adéquat que le terme de représentation ». La substitution des termes est justifiée car la figuration invite plutôt à penser comment réaliser une action pour obtenir

un résultat et non le résultat de cette action seulement. Le terme « figuration » permet d'exprimer des intentions et des idées sans s'attacher uniquement à ce que sera une solution concrétisée. Il présente l'avantage de laisser entendre que les acteurs d'un processus de conception peuvent aussi communiquer relativement aux actions qui leur permettent de réaliser un projet d'architecture. Le terme de figuration est plus adapté à une communication relative à une solution en développement et c'est pour cette raison qu'il est adopté pour la suite de la recherche.

- *Figuration pour l'action*

Une figuration architecturale est inscrite sur un support comme le papier et est perçue par des acteurs qui communiquent. Pour que cette figuration permette à un acteur de comprendre une solution architecturale, certaines conditions sont nécessaires. Ö. Akin (1982) en propose trois :

- 1- « [...] contains all the information at a level of abstraction suitable for its intended purpose » (p. 7).
- 2- « [...] presents its contents in a way that is compatible with the expectations resulting from the mental representation of the perceiver » (p. 9).
- 3- « [is] consistent with the reality that it is intended to refer to » (p. 11).

Ces trois conditions sont nécessaires mais pas suffisantes. L'auteur souligne l'importance à la fois de l'information, sa forme et sa quantité par rapport à un objectif visé, de sa « présentation » par rapport aux besoins du processus de représentation mentale de l'« observateur » et enfin de sa compatibilité avec une « réalité » référentielle. La limitation de la quantité d'information contenue dans une figuration est sans doute incontournable, voire inévitable, parce qu'il est difficile de traduire tout ce qui peut être perçu par une personne dans la réalité. L'objectif au travers de la figuration ne peut être de substituer la réalité qui comporte trop de dimensions complexes, comme les relations sociales ou des phénomènes physiques, pour pouvoir être saisie sous une forme matérielle. C'est dans la forme et la qualité de l'information en rapport à un objectif que réside en effet une grande part du potentiel de la figuration.

Cependant, présenter l'information dans la figuration selon les attentes de la représentation mentale de l'« observateur » est en quelque sorte voir dans la perception une capacité réceptive uniquement. Or, les travaux en psychologie montrent que la perception est un processus d'interprétation dans le sens où les conceptions de celui qui perçoit participent à cette perception (Tye, 1991 ; Marr, 1982). Pendant qu'une personne perçoit, son interprétation est à l'œuvre et contribue ainsi à définir une image mentale. Les théories en psychologie ne dissocient pas une personne de sa perception mais en font plutôt un être actif qui se représente une information à partir de son propre cadre de

référence, et qui, à ce titre, est acteur et non plus seulement « observateur ». Cette compréhension de la perception a une incidence sur la façon de figurer une information. Ainsi, une figuration architecturale ne peut plus être considérée comme une présentation d'information mais plus comme une expression d'information où les personnes qui « figurent » et qui « se figurent » ont tous un rôle à jouer pour la compréhension d'une solution formulée.

Quant à la compatibilité d'une information avec une réalité à laquelle elle ferait référence, elle est difficile à envisager dans le cadre d'un processus de conception puisqu'une solution architecturale est relative à un problème formulé et non pas à un objet architectural absent. D'après la façon dont nous avons compris un processus de conception architecturale, l'information nécessaire pendant ce processus paraît devoir être rapprochée d'une intention derrière la conception et la faisabilité d'un projet d'architecture. Au lieu d'une compatibilité avec le réel comme le suggère Ö. Akin (1982, p.11), l'information pourrait avoir besoin de correspondre de façon fiable à la conception des acteurs de la solution. Si celle-ci est ensuite correctement traduite en réalité, la compatibilité à laquelle réfère Ö. Akin (1982, p. 11) devient alors une conséquence de cette fiabilité.

L'approche adoptée par Ö. Akin (1982) est relative à un émetteur qui transmet un message, un résultat, à un récepteur via une « représentation ». La communication est perçue dans un seul sens et l'information est relative au résultat d'un processus de conception et non à une solution formulée pour résoudre un problème. Ce qui manque dans cette formulation des conditions nécessaires à une bonne figuration architecturale est, d'une part, la prise en compte du rôle actif des acteurs qui communiquent et, d'autre part, la définition de ce sur quoi porte la communication comprise comme un processus intégré au processus de conception plus général.

A. Maller (1991) définit l'objectif de la figuration architecturale comme suit :

« [...] the purpose of architectural representation is to encourage observers to express their emotional and intellectual evaluation and judgements on the represented environment » (p. 68).

L'auteur, même s'il ne situe pas la figuration architecturale dans un contexte de conception, reconnaît néanmoins à celle-ci des objectifs différents de ceux d'une reproduction d'un réel. D'après A. Maller (1991), la figuration architecturale joue un rôle actif dans la constitution et dans l'expression chez une personne, l'« observateur », d'une évaluation de son contenu, l'« environnement représenté ». En effet, l'objectif principal d'une figuration architecturale est d'encourager les acteurs à se faire une idée d'une solution formulée afin qu'ils arrivent à définir leurs actions respectives. La définition de ces actions

peut impliquer une évaluation et un jugement de la solution. En ce sens, la figuration n'est pas neutre et peut jouer un rôle actif et déterminant dans le développement d'une solution formulée. Les principaux modes et techniques de figuration disponibles sont examinés ci-dessous.

2.1.2. Modes et techniques de figuration

Une figuration architecturale peut être constituée de plusieurs modes de figuration à la fois. Pour figurer une solution, une personne peut dessiner une façade, une coupe et un plan, par exemple ou encore préparer des perspectives ou une maquette. Chaque mode de figuration est élaboré au moyen d'une technique qui implique des moyens (crayon, ciseau, programme, etc.), un support (calque, carton, ordinateur, etc.) et qui peut faire appel à un savoir particulier (géométrie, photographie, informatique, etc.). De plus, chaque mode de figuration possède ses propres variantes et permet de communiquer en considérant une information selon un point de vue différent et en soulignant un groupe d'aspects de la solution plutôt qu'un autre. Certains des modes de figuration sont plus appropriés que d'autres en fonction des objectifs visés de la communication, des caractéristiques de la solution à figurer et de la dimension architecturale à traiter. Aucun des modes de figuration graphiques disponibles ne permet de figurer une solution architecturale au complet et le recours à plusieurs modes en même temps est souvent nécessaire (Gindroz, 1982; Weinel, 1982).

Les modes de figuration disponibles peuvent être regroupés en considérant la façon d'obtenir un résultat, c'est-à-dire en ayant recours à (1) une méthode géométrique, (2) une confection matérielle, (3) un procédé mécanique ou électronique, ou (4) l'écriture. Ainsi, la plupart des modes de figuration peuvent être rassemblés sous ces quatre rubriques ; les projections orthogonales, les perspectives et les axonométries dans la première, les maquettes à échelle réduite ou grandeur nature dans la seconde, les photographies et les simulations par ordinateur dans la troisième et enfin les devis descriptifs ou estimatifs dans la dernière. Les trois premiers modes de figuration sont les plus courants et sont appelés les modes graphiques. Cependant, ceux-ci peuvent également être obtenus au moyen d'un outil électronique comme l'ordinateur.

- *Méthode géométrique*

La géométrie permet de décrire la forme tridimensionnelle d'objets physiques sur des plans. Sur une feuille de papier par exemple, elle permet de traduire de façon précise les caractéristiques visibles de la forme d'une solution architecturale.

Une forme peut être traduite géométriquement à partir de différentes projections. Les modes de figuration où la forme d'une solution architecturale est projetée

orthogonalement sur un plan sont les plus répandus en architecture et représentent une norme chez les professionnels comme les ingénieurs, les architectes ou les entrepreneurs en construction (Lebahar, 1983). Il s'agit de la triade plan, coupe et élévation qui peut être incluse dans un dossier d'exécution pour des travaux de construction. Un plan d'architecture peut être dessiné en considérant une empreinte au sol d'un bâtiment et, à partir de ce plan, des élévations et des coupes peuvent ensuite être « tirées ». Ces modes de figuration offrent l'avantage notamment de pouvoir consigner avec précision une définition des formes et des mesures d'une solution architecturale.

La géométrie permet également d'obtenir un mode de figuration à partir de projections perspectives et axonométriques¹. Il existe différentes sortes de perspectives, d'axonométries et de méthodes pour les obtenir (Flocon et Taton, 1963). Les projections perspectives² ont pour but de simuler ce que l'œil d'une personne peut voir d'un objet. Avec plusieurs projections perspectives, une personne peut obtenir différentes vues d'une solution architecturale lui permettant de se faire une meilleure idée de la forme et des espaces d'un futur édifice. Ces modes de figuration permettent de créer une illusion de profondeur pour une solution. En les agrémentant d'ombres et de couleurs, ces modes de figuration en perspective peuvent engendrer chez une personne des impressions comparables à celles obtenues pendant la vue d'un édifice construit. Cependant les projections perspectives permettent difficilement de retracer les mesures des formes figurées. Par contre, les projections axonométriques³ ont la caractéristique de maintenir fixes les proportions relatives des mesures d'un objet sur chaque axe d'un repère tridimensionnel. Avec ces projections axonométriques toutefois, un objet paraît déformé par rapport à la vision des objets à laquelle nous sommes habitués.

Les modes de figuration basés sur des projections perspectives ou axonométriques sont employés pour compléter les modes de figuration en projection orthogonale présentés en premier. Tous ces modes de figuration peuvent également être désignés de graphiques parce qu'ils sont élaborés sur la base de primitives géométriques comme des points, des lignes, des polygones, etc.

¹ A. Flocon et R. Taton (1963, p. 88) définissent une axonométrie comme étant également une perspective qu'ils qualifient de parallèle parce qu'ils y supposent « une projection sur un tableau dont le centre O est rejeté à l'infini et dont les rayons sont parallèles ». En fait, il s'agit d'une autre façon de classer les projections géométriques.

² Elles appartiennent à la classe des projections coniques.

³ Elles appartiennent à la classe des projections cylindriques dont font également partie les projections orthogonales que nous avons sommairement présenté en parlant des plans, coupes et élévations.

- *Confection matérielle*

Une figuration d'une solution architecturale peut également être obtenue en utilisant de la matière, comme du carton ou du plâtre. Le résultat est alors une maquette ou un modèle physique.

Les maquettes sont des reproductions matérielles d'une solution architecturale à une échelle donnée, par homothétie. Certaines peuvent être démontables et ainsi permettent de voir l'intérieur d'une solution et d'autres sont rigides et ne permettent que d'en apprécier l'extérieur. On distingue entre deux types de maquettes ; les maquettes d'étude et les maquettes de présentation. Les maquettes d'étude sont généralement utilisées pendant la formulation d'une solution à un problème d'architecture parce qu'elles permettent des manipulations physiques et tridimensionnelles souvent difficiles à réaliser au moyen d'autres modes de figuration (Bentz, 1981 ; Armstrong, 1988). Les maquettes de présentation visent plus à montrer ce que pourra être le résultat d'un processus de conception. Pour cela, elles reproduisent la forme de la solution avec un degré de précision et de détail relativement supérieur aux maquettes précédentes. Différentes informations non reliées directement à la substance de la solution sont souvent ajoutées (personnages, voitures, arbustes, etc.) pour donner l'illusion du réel. Ce mode de figuration est souvent obtenu de façon manuelle et exige ordinairement du temps et de l'argent, ce qui en limite d'ailleurs l'usage.

- *Procédé électronique ou mécanique*

Les procédés électroniques ou mécaniques permettent d'utiliser des ordinateurs ou des appareils photographiques pour la figuration d'une solution architecturale. Ces procédés permettent d'obtenir deux types de figuration, les simulations par ordinateur et les photographies.

Les simulations par ordinateur sont des modes de figuration relativement récents et n'ont pas encore atteint leur maturité. Pour le moment, les logiciels disponibles permettent de produire la plupart des modes de figuration graphiques traditionnels mais avec des facilités nouvelles. Des procédures automatiques permettent de générer rapidement une série de vues en perspective ou en axonométrie à partir d'un géométral lui-même introduit au moyen de fonctions de dessin limitant au minimum les opérations géométriques nécessaires. Une fois l'information introduite, celle-ci peut ensuite être exploitée à de multiples fins pouvant aller, par exemple, du calcul pour l'établissement d'un devis quantitatif aux calculs plus complexes permettant la définition de la structure porteuse d'une solution. Au moyen d'autres opérations, une animation simulant un cheminement dans la solution peut aussi être envisagée mais à un coût en temps et en opérations encore souvent élevé. Les simulations par ordinateur sont de plus en plus utilisés mais posent encore un certain nombre de problèmes qui seront discutés au chapitre 8.

Quant aux photographies, elles sont des modes de figuration assez rares. Lorsqu'elles sont utilisées, c'est pour présenter des informations relatives à un projet d'architecture qui sont déjà présentes dans des édifices existants ou encore quand la solution formulée correspond à un édifice qui a déjà été réalisé ailleurs. Cela tient au caractère qui est propre à la photographie et qui se doit d'avoir pour objet un référent physique concret. Elles sont réalisées selon les mêmes principes géométriques qui permettent d'obtenir une perspective. Elles permettent de reproduire ce que l'œil peut voir dans un environnement physique et représentent l'environnement physique d'une manière qui nous est familière (Alexander, 1964, 1977).

- *Rédaction de devis*

La rédaction de devis consiste à mettre par écrit des informations se rapportant à une solution architecturale. Cette rédaction permet de produire deux types de documents, le devis descriptif et le devis estimatif (Lebahar, 1983, p. 111).

Le devis descriptif indique le détail des travaux, la nature des matériaux et les délais de réalisation d'un projet d'architecture. Il apporte des informations sur ce qui ne peut être figuré graphiquement dans des dessins. Il peut apporter des explications relatives à comment organiser et comment réaliser des actions sur un chantier de construction de façon à obtenir le résultat figuré graphiquement. Il permet également de préciser le temps alloué et les caractéristiques des matériaux à employer pendant la réalisation de chaque action. Ce devis descriptif est complété par un devis estimatif qui contient une évaluation des coûts de la réalisation d'un projet d'architecture. Le devis estimatif précise le coût financier associé à chaque opération sur un chantier de construction, comme les matériaux et leur acheminement jusqu'au chantier, les salaires des acteurs, etc.

Jusqu'ici, l'examen des modes et techniques disponibles pour la figuration en architecture permet de constater que ces modes et techniques constituent des moyens pour une communication qui porte sur un état arrêté d'une solution architecturale. Autrement dit, ces modes et techniques permettent de traduire le résultat d'un processus de conception à un temps t de son développement. Ils ne se prêtent ni à la figuration de la transformation d'une solution architecturale ni à celle des actions qui permettent de l'obtenir. Pour compléter notre examen des modes de figuration disponibles, dans ce qui suit, la redondance de l'information causée par le fait de recourir à plusieurs de ces modes de figuration à la fois est analysée.

2.1.3. La redondance dans la figuration

La redondance est relative au contenu d'un mode de figuration donné sous une autre forme dans un second mode. En préparant plusieurs modes de figuration en même

temps, l'objectif est de compléter et de préciser l'information fournie par chacun de ces modes. De cette façon, il est possible de surmonter les déficiences de l'un en sollicitant les qualités de l'autre.

J.-C. Lebahar (1983, p. 111) voit la redondance dans une figuration architecturale de deux manières, l'une par rapport à un même mode de figuration et l'autre, par rapport à différents modes de figuration. La redondance par rapport à un même mode de figuration permet « à un message ambigu de se retrouver par recoupement » et la redondance par rapport à différents modes de figuration permet de compléter ce message (Lebahar, 1983, p. 111). Cette redondance peut être comprise en examinant les modes de figuration graphiques.

- *Le recoupement géométrique*

A. Lévy (1981) a examiné les modes de figuration graphiques et considère qu'ils possèdent deux principaux niveaux qu'il appelle : le discursif et le textuel. Le niveau textuel est le niveau de base de tout mode de figuration graphique et est produit par deux opérations : la « planéarisation » et l'élasticité. La planéarisation produit la forme simplifiée des projections orthogonales (plans, coupes et élévations). L'élasticité consiste à la fois à hiérarchiser l'information constitutive par différentes techniques de distinction (grosceur des traits de coupe, poteaux-murs, etc.) et à condenser (simplifier) ou à développer certaines parties de la forme de la solution. Ces deux dernières actions peuvent faire appel à la perspective, au changement d'échelle, etc. Les figurations ainsi produites ne fournissent qu'une information à caractère géométrique qui sera par la suite documentée pour attacher à son contenu une signification architecturale. Cette documentation correspond au niveau discursif de A. Lévy (1981).

Le niveau discursif informe sur la destination et les dimensions des espaces, situe le projet d'architecture dans le temps et l'espace, référence les espaces par du texte, et habille la figuration par différents détails qui permettent de situer la forme de la solution

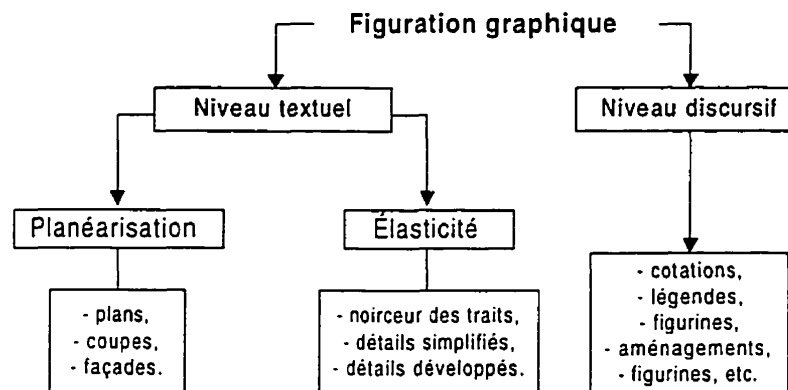


Figure 6 : Décomposition de la figuration graphique d'après A. Lévy (1981)

architecturale dans un contexte (iconisation) (Lévy, 1981). Ainsi, on peut représenter des personnages dans une figuration afin de donner une échelle et une fonction à un espace. on dessine, par exemple, un ciel, une végétation et un ombrage pour donner une illusion environnementale. Et finalement, on ajoute des cotations, des noms et des icônes pour renforcer la description. En figure 6, une schématisation de la décomposition de la figuration architecturale graphique mise de l'avant par A. Lévy (1981) est proposée.

D'après cette décomposition, c'est le niveau textuel et donc la description géométrique d'une solution formulée qui est le point commun à tous ces modes de figuration en projections orthogonales. Il est le niveau sur lequel se greffe par la suite le niveau discursif. Pour chaque mode de figuration en projection orthogonale, un acteur peut établir cette géométrie d'une façon particulière et, seulement par la suite, la compléter par un discours en fonction des intérêts respectifs des différents acteurs avec qui il communique. Il réalise différentes projections orthogonales (plans, coupes et élévations) de façon à permettre à l'acteur avec qui il communique de reconstituer par recoupement l'information relative à la forme de la solution formulée. La figuration en plan uniquement de la géométrie d'une solution architecturale ne suffit pas pour comprendre tous les aspects de la forme de cette solution et elle doit être complétée par des projections comme des élévations ou des coupes de cette solution. La redondance des modes de figuration graphiques en projections orthogonales est donc nécessaire pour des questions d'ordre géométrique. Mais elle sert également à enrichir l'information se rapportant à une solution architecturale.

- *Enrichissement des contenus*

En effet, la redondance dans la figuration peut également être introduite pour l'enrichissement de l'information communiquée entre acteurs. Cet enrichissement peut être réalisé en utilisant plusieurs modes de figuration à la fois.

Pour communiquer relativement à une solution de maison par exemple, un acteur peut utiliser des projections orthogonales et une perspective ou une maquette. Si, avec les projections orthogonales (plans, coupes et élévations) une personne arrive déjà à se figurer la forme de cette maison, la perspective, quant à elle, lui permet d'imaginer une ambiance pour l'intérieur de cette maison lorsque celle-ci est, par exemple, enrichie d'objets familiers comme des meubles ou des plantes. Une projection orthogonale, comme un plan qui permet de comprendre notamment la distribution des espaces dans la solution, et une perspective d'intérieur permettent de figurer des informations de même nature mais sous des formes et à des niveaux de définition différents. C'est dans des aller-retour entre différents modes de figuration qu'une personne peut alors progressivement comprendre différentes informations comme la position, la taille et la forme d'une porte.

L'utilisation de plusieurs modes de figuration peut également être contrainte par les possibilités de figuration de chacun de ces modes. Par exemple, l'écriture permet de décrire la façon de réaliser des actions alors que le dessin ne permet seulement que de traduire le résultat de ces actions. Une maquette à échelle 1:1 peut permettre à une personne de se servir de plusieurs de ses sens pour comprendre comment une solution pourra être une fois concrétisée alors que le dessin ne permet de mettre à contribution que la vue. Un mode de figuration peut être complété par la parole pour permettre une concertation entre les acteurs d'un processus de conception autour de questions relatives à une solution architecturale.

En somme, pour réaliser une figuration d'une solution architecturale les acteurs d'un processus de conception peuvent élaborer différents modes de figuration séparément en tenant compte des besoins des différents acteurs avec qui ils communiquent. En fonction de leurs besoins et des objectifs pendant la communication, les acteurs peuvent adopter les modes de figuration susceptibles de traduire les aspects de la solution qui les intéressent. Certains modes de figuration seront répétés pour différents acteurs mais reçoivent un traitement discursif distinct. À l'origine de tous les modes de figuration graphiques se trouve une description géométrique d'une même solution architecturale. Lorsqu'il s'agit de modes de figurations à projections orthogonales, la compréhension de cette description géométrique peut nécessiter un recoupement d'informations géométriques qui implique une redondance d'informations. Mais la redondance peut également s'avérer nécessaire pour enrichir la compréhension de la solution formulée.

Pour compléter notre examen des modes de figuration disponibles, dans ce qui suit, la façon dont les modes de figuration disponibles sont mis à contribution pour la réalisation d'un projet d'architecture est étudiée.

2.2. Modes de figuration en contexte

Pour mettre en contexte les modes de figuration disponibles, la communication relative à des solutions architecturales au moyen de ces modes sera tout d'abord examinée. Il s'agit de considérer la communication eu égard au complément verbal qui peut accompagner les modes de figuration et aux principales difficultés pour la compréhension d'une solution architecturale que peuvent poser l'emploi et la facture de ces modes.

Ensuite, nous verrons la communication relative à une solution architecturale au moyen de modes de figuration pendant un processus de conception. Il s'agit de comprendre les enjeux pour la compréhension d'une solution architecturale pouvant être impliqués par l'utilisation d'un mode de figuration. Pour ce faire, sont considérés les processus de conception pendant lesquels la plupart des difficultés d'interprétation du contenu des

modes de figuration ont été constatées et étudiées, c'est-à-dire ceux où la participation du client à la réalisation d'un projet d'architecture a été retenue.

2.2.1. Emploi des modes de figuration

- *Le complément verbal*

En utilisant un mode de figuration, les acteurs d'un processus de conception peuvent accompagner ce mode d'une description verbale. Une description verbale peut être ajoutée pour traduire, expliquer et commenter l'information contenue dans un mode de figuration dans un langage parlé accessible aux personnes intéressées par une solution architecturale. Lorsque cette description émane d'acteurs qui ont participé au processus de conception, cette description peut alors amener des informations additionnelles, non contenues dans une figuration. La solution peut être exprimée par rapport au problème formulé pendant le processus de conception.

Cependant, dans le contexte socio-économique actuel, caractérisé par une division du travail, ce ne sont pas toujours uniquement les acteurs ayant participé au processus de conception qui communiquent relativement à une solution architecturale. Parfois, c'est une personne étrangère au processus de conception qui se charge de décrire cette solution à une autre personne.

Par exemple, un agent de promotion immobilière peut soumettre à ses clients des solutions architecturales par catalogue. Ainsi, pour expliquer à ses clients le contenu de modes de figuration, il remplace les acteurs qui ont développé ces solutions. Il utilise l'information disponible dans la figuration et la complète d'une information susceptible d'enrichir sa signification. Tout en ne perdant pas de vue son objectif qui est de faire acquérir une solution architecturale par ses clients, le promoteur peut utiliser un vocabulaire courant pour traduire les différentes caractéristiques de la solution qu'il propose. Ne disposant pas de l'information complète, puisqu'il présente un résultat et n'exprime donc plus une solution à un problème, il peut souligner l'information importante pour son client, soit parce que le client le souhaite, soit parce qu'il juge certains aspects de la solution intéressants. Il peut accorder plus d'importance à un aspect et peut en négliger d'autres aussi. Par conséquent, ces descriptions verbales peuvent aussi exposer « inégalement » une solution architecturale.

La question de l'inégalité des descriptions verbales pour une même solution architecturale peut provenir de l'absence dans la figuration d'une information relative au problème d'architecture pour lequel cette solution a été formulée. C'est ce que révèlent les résultats d'une recherche menée par R.T. Belgasem (1987) sur les vues contradictoires de professionnels, exprimées dans plusieurs revues d'architecture, à propos de la critique

des mêmes édifices. Ces professionnels arrivaient à des évaluations différentes d'une même solution architecturale parce qu'ils ne considéraient pas les mêmes aspects humains ou critères dans leurs évaluations. Comme ces professionnels ne connaissaient pas le problème pour lequel la solution avait été apportée, ils étaient donc amenés à définir leurs propres critères d'évaluation.

Avec une description verbale¹, une personne cherche à compléter une figuration architecturale et, de ce fait, ces descriptions jouent un rôle important dans la compréhension d'une solution architecturale. Néanmoins, un complément verbal ne se justifie pas uniquement parce qu'un mode de figuration ne contient qu'une information partielle relative à une solution architecturale. Il peut également être nécessaire pour comprendre le contenu même des modes de figuration disponibles.

- *Interprétation des contenus*

Les descriptions verbales peuvent également être considérées pour surmonter les difficultés d'interprétation du contenu des modes de figuration. La compréhension de ce contenu peut être difficile tant pour les professionnels que pour les non-professionnels d'un processus de conception architecturale, c'est-à-dire ceux qui ont ou qui n'ont pas l'expérience de communiquer en utilisant ces modes de figuration.

En effet, certaines personnes peuvent ne pas comprendre une solution architecturale figurée graphiquement, en plan, coupe et élévation (Lawrence, 1987, 1981; Kaplan, 1977; Gobert et Frederiksen, 1988; Hornyanszky Dalholm et Rydberg-Mitchell, 1992). Par exemple, certaines personnes, des non-professionnels généralement, ont de la difficulté à apprécier dans les modes de figuration graphiques la grandeur des espaces d'une solution (Amstrong, 1988; Bentz, 1981; Eisemon, 1975; Lawrence, 1987, 1981). Dans les figurations graphiques, les espaces semblent, à certaines personnes, plus grands que lorsque la solution est concrétisée. D'après R. Amheim (1977), ce phénomène pourrait être attribué à la notion d'échelle qui produirait des effets perspectifs particuliers. Dans une solution concrétisée, les espaces seraient compris à partir d'une série de vues en perspective et non à partir d'une vue d'ensemble des espaces de la solution uniquement comme cela est possible dans un plan, par exemple.

Certains non-professionnels surtout ont également de la difficulté à établir un rapport entre les différents modes de figuration graphiques pour en déduire la troisième dimension de la forme d'une solution architecturale (Amstrong, 1988; Lawrence, 1987). Le caractère abstrait, c'est-à-dire requérant la considération de règles mathématiques, empêcherait

¹ Cette description peut également être sous forme écrite comme dans le cas, par exemple, des articles de magazines spécialisés en décoration ou en aménagement de maisons d'habitation.

certaines personnes d'établir une relation entre le plan et une élévation ou une coupe (Lawrence, 1987).

Dans certains travaux de recherche, il est aussi fait mention de difficultés liées à la reconnaissance des relations entre les espaces d'une solution architecturale (Amstrong, 1988; Bentz, 1981; Lawrence, 1987 ; Gobert, 1989). Il s'agit principalement des positions relatives des espaces ainsi que des relations fonctionnelles et visuelles qu'une personne pourrait établir si elle était dans une solution architecturale concrétisée. Une des façons de surmonter cette difficulté, d'après R.J. Lawrence (1987), serait de considérer des maquettes à échelle réduite ou en grandeur nature.

Pour essayer de surmonter ces types de difficultés, les chercheurs qui s'intéressent à la communication en architecture préconisent généralement l'emploi de plusieurs modes de figuration à la fois (Lawrence, 1987; Amstrong, 1988 ; Kaplan, 1987). En fonction du type de difficulté rencontré et de ce sur quoi porte la communication, on choisit les modes de figuration qui semblent les plus adaptés à la compréhension de chaque personne. Par exemple, on pourra utiliser une maquette au lieu d'une coupe, à côté d'un plan, pour communiquer relativement à la répartition des espaces d'une solution dans les trois dimensions de l'espace.

- *Codes graphiques*

Les modes de figuration graphiques peuvent également être difficiles à comprendre à cause des codes qui y sont utilisés. Par exemple, un plan d'édifice peut indiquer une ouverture qui ne se retrouve pas sur l'élévation correspondante du même édifice. Dans ce cas, il s'agit d'une erreur de concordance du code graphique, produite au moment de la facture de la figuration.

J.-C. Lebahar (1983, p. 110-118) a relevé, en plus du problème de concordance du code graphique, les problèmes liés à la variabilité de ce code et les renvois, par ce code, à d'autres documents graphiques.

Le code graphique utilisé pour la facture d'un mode de figuration peut être variable d'un professionnel à l'autre (Lebahar, 1983, p. 118). Cette variabilité du code dépend non seulement des habitudes graphiques de chaque professionnel mais aussi du caractère de la solution architecturale à figurer. Même si les principes généraux pour la codification graphique sont normalisés et parfois institutionnalisés, c'est à la personne qui prépare une figuration graphique de préciser le code pour rendre compte de chaque solution en particulier.

Dans un mode de figuration graphique, l'on ne peut pas non plus considérer un nombre illimité de codes graphiques (Lebahar, 1983, p. 110). Les dimensions de la feuille

de papier et l'échelle de la figuration limitent ce qu'il est possible de rapporter pour une solution architecturale. Pour contourner cette limitation, le professionnel renvoie habituellement à certains détails figurés à des échelles plus grandes (1/10, 1/5, etc.), souvent dans d'autres documents graphiques ou écrits (devis). Mais cette alternative connaît également ses limites. Elle permet certes de préciser la solution architecturale mais souvent au prix d'une multiplication de documents qui, pour que leur contenu puisse être compris, demandent un exercice de recouplement qui peut être laborieux.

Finalement, si la redondance d'une information permet de compléter la compréhension d'une solution architecturale, l'exercice de recouplement de cette information éparpillée dans plusieurs documents peut diminuer l'apport possible de cette redondance. Pour la communication en architecture, cela peut alors signifier que la définition des modes de figuration disponibles est à l'origine des difficultés qu'un acteur d'un processus de conception peut rencontrer en essayant de comprendre l'état d'une solution à un certain stade de son développement. D'après ce que nous venons de voir, ce sont principalement les non-professionnels d'un processus de conception qui peuvent rencontrer ces difficultés. Ce constat nous amène par conséquent à nous intéresser à la spécificité des professionnels d'un processus de conception qui ne rencontrent pas ces difficultés. Autrement dit, plus largement, il s'agit de voir quels sont les enjeux pendant une communication en architecturale.

2.2.2. Enjeux pendant la communication

Lorsque des personnes réalisent des activités pendant un processus de conception, tout en exerçant leur métier, leurs connaissances et leurs expériences peuvent être spécifiques. Ces personnes sont des professionnels et les autres personnes qui ne participent qu'à l'occasion au processus de conception peuvent par conséquent être désignées de non-professionnels. Il s'agit de comprendre, dans ce qui suit, ce qui pourrait différencier les professionnels et les non-professionnels au niveau de leurs connaissances et de leurs expériences. Ensuite, il s'agit de voir l'interaction entre acteurs pendant un processus de conception. L'objectif est de comprendre les enjeux qui, pendant une communication, sont susceptibles de rendre plus difficile la compréhension d'une solution architecturale au moyen de modes de figuration. Pour cela, il est possible de retenir les processus de conception qui ont fait participer un client, c'est-à-dire un non-professionnel, à l'élaboration d'une solution architecturale.

- *Expériences et connaissances*

L'intérêt de la participation des non-professionnels au processus de conception se situe, d'abord et avant tout, par rapport aux possibilités qu'ont ces personnes à pouvoir exprimer et vérifier leurs idées et leurs intentions pendant la formulation d'une solution

architecturale (Lawrence, 1979, p. 128 ; Alexander, 1985). Pendant cette participation, les non-professionnels mettent à contribution une somme considérable d'expériences passées et de connaissances pour formuler une solution pouvant répondre à leurs attentes dans un projet d'architecture (Lawrence, 1981, p. 43). Ils se familiarisent avec les nombreuses contraintes (financières, juridiques, physiques, etc.) impliquées par la réalisation du projet et, en fonction de ces contraintes, essayent de formuler et de résoudre un problème d'architecture. Pendant ce processus de conception, un professionnel, tel l'architecte, intervient pour apporter une expertise.

Pour S. Kaplan (1977), cette expertise du professionnel consiste en une aptitude particulière à pouvoir se représenter mentalement un problème d'architecture. D'après S. Kaplan (1977), trois propriétés principales caractérisent la représentation cognitive des unités d'un problème chez le professionnel qu'il désigne par le terme expert :

- « 1- They are both compact and abstract. [...]
- 2- The cognitive elements in the head of the expert are part of a rich and highly developed network. [...]
- 3- This high level of compactness and access makes possible another vital cognitive facility, the capacity to manipulate the critical elements of the problem » (p. 223-224).

Ainsi, avec l'expérience, les professionnels apprennent à éliminer l'information superflue se rapportant à un problème à résoudre et ne retiennent que l'information importante en la structurant progressivement selon une organisation cognitive particulière (Kaplan, 1977). Pour s'en rendre compte, S. Kaplan (1977, p. 224) suggère d'observer la signification que les architectes accordent aux termes qu'ils emploient. Les termes qui paraissent a priori communs, comme « espace » ou « échelle », véhiculent pour les architectes des significations particulières. Les architectes peuvent parler d'un « sens de l'espace » ou bien d'un « bon espace », laissant ainsi sous-entendre une importante ramification cognitive possible du terme « espace ». Celui-ci ne s'entend plus uniquement comme un lieu plus ou moins délimité où un objet peut être situé mais plus comme un concept spécialisé. Pour ces professionnels, le terme « échelle » également ne s'entend pas uniquement comme un simple rapport entre dimensions mesurables. Pour P. Boudon (1992, p. 132-133) par exemple, il pourrait exister quatre échelles dans le cas d'une piscine seulement. En partant de la pertinence des mesures (longueur, largeur, profondeur) choisies pour cette piscine, il arrive à dégager une échelle fonctionnelle, une échelle socioculturelle, une échelle technique et une échelle humaine. Des exemples de termes qui montrent la compacité et le caractère abstrait des unités de la représentation d'un problème chez le professionnel sont nombreux et ne sont pas spécifiques au seul domaine de l'architecture. Plusieurs travaux de recherche ont permis de constater qu'en informatique (Adelson,

1984), en électronique (Egan et Schwartz, 1979) ou encore en physique (Chi et Glaser, 1979), les professionnels mettent à contribution une structure cognitive à caractère abstrait et compact pour résoudre les problèmes dans leur champ de compétence respectif.

La façon dont les professionnels organisent mentalement l'information relative à un problème à résoudre, facilite la considération de ce problème à partir de différents angles d'approche. Les professionnels peuvent avoir de la facilité à se figurer un bâtiment à partir de modes de figuration très différents (plans, coupes et élévations; maquettes; etc.) alors que les non-professionnels ne peuvent parfois se figurer ce même bâtiment qu'à partir d'une photographie, par exemple (Kaplan, 1977, p. 224). En physique, M.T. Chi et R. Glaser (1979) ont constaté que tandis que les physiciens experts catégorisent les problèmes en fonction des lois et principes sous-jacents de la physique, les physiciens novices le font de façon similaire mais à un niveau d'abstraction beaucoup moins élevé. Les physiciens novices s'appuient principalement sur les propriétés superficielles du problème posé. Au lieu de catégoriser les problèmes en fonction des principes physiques abstraits et des conditions de leur application, ils groupent les problèmes par rapport aux propriétés directement observables.

La compréhension d'un problème repose largement sur le caractère de la construction cognitive que la personne se fait de ce problème (Greeno, 1977). W.G. Chase et M.T. Chi (1981) ont étudié l'aptitude de deux groupes de personnes, des architectes et des non architectes, à reproduire, en dessin, un campus universitaire. Ils ont constaté que toutes les personnes qui ont pris part à leur expérimentation avaient en général correctement disposé dans leur dessin les objets physiques de ce campus mais que, par ailleurs, la plupart de ces personnes avaient commis une erreur quant à l'intersection de deux voies qui n'étaient pas rectilignes comme toutes les autres. Seules quatre personnes, tous des architectes, avaient rendu compte dans leur dessin de l'intersection à 45° des deux voies qui particularisaient ce campus. Face à un pareil problème à résoudre, c'est-à-dire le dessin du campus universitaire, les architectes ont mis à contribution une représentation cognitive particulière, apparemment différente de celle des autres personnes, puisqu'elle leur a permis de restituer graphiquement et correctement l'organisation spatiale de l'environnement physique considéré.

S. Kaplan (1977) a également reconnu des aptitudes particulières chez les non-professionnels. Il en a distingué au moins trois :

- « 1- People have great facility in nonverbal cognition. [...]
- 2- People have highly developed and efficient internal models of the environment. [...]

3- People have a capacity for involvement, for putting themselves into a hypothetical situation » (p. 226).

La cognition non verbale, au moyen d'images, de maquettes ou de gestes, permet d'éliminer les difficultés et les distorsions qui peuvent survenir si le langage verbal seul est employé (Schermer, 1987). En général, les non-professionnels trouvent l'expression non verbale plus accessible car elle dépend moins d'un niveau de formation initial ou de facteurs culturels par exemple, que sa contrepartie verbale (Kaplan, 1977, p. 226).

De même, tout le monde connaît un environnement physique. Pour avoir pratiqué, modifié ou adapté différents espaces, chaque personne a développé depuis son enfance un modèle cognitif relativement élaboré de l'environnement. Ce modèle est suffisamment riche et compact pour permettre à un non-professionnel de le considérer pour la résolution¹ de différents problèmes, tel le réaménagement d'un espace ou encore la conception d'une petite maison.

Les non-professionnels ont aussi la capacité de s'impliquer en s'imaginant dans une situation qui n'existe pas encore (Kaplan, 1977). Ils possèdent une conception d'eux-mêmes et une habileté à mettre cette conception dans différentes situations hypothétiques, ce qui leur permet alors d'évaluer des environnements physiques non encore présents.

À la différence de S. Kaplan (1977), il faut cependant postuler que les non-professionnels peuvent également et surtout être animés par une volonté d'apprendre. Tout comme le professionnel qui s'enrichit en échangeant avec ses collaborateurs et découvre de nouvelles alternatives à différents problèmes d'architecture, les non-professionnels aussi peuvent développer progressivement une connaissance et une expérience leur permettant de résoudre différents problèmes nouveaux. Par exemple, E. H. Dalholm et B. Rydberg-Mitchell (1992) ont remarqué que les non-professionnels engagés dans un processus de conception et qui n'ont pas appris à interpréter des dessins d'architecture :

« [...] try to interpret the drawings by comparing the setting on the drawing with existing surroundings. There are also people who are extremely committed in the planning of their own dwelling and who develop during this process a skill for reading and understanding drawings » (p. 243).

D'ailleurs, D. Cuff (1981) fait une observation semblable et écrit :

« One can observe that as the design process wears on, clients do become more astute at "reading" drawings » (p. 164).

¹ Cette faculté à pouvoir prendre conscience de son environnement et à pouvoir le modifier est cependant variable d'une personne à une autre. F.I. Steele (1973) a associé cette faculté au concept de compétence environnementale. Ce concept sera considéré au chapitre 4.

Les non-professionnels essaient de comprendre et pour cela peuvent s'engager dans un processus d'apprentissage (Bonta, 1979). Ils essaient de surmonter les difficultés que peuvent poser certains modes de figuration pour pouvoir réaliser leur engagement dans un processus de conception architecturale.

En somme, le professionnel et le non-professionnel possèdent, tous deux, une connaissance et une expérience qui leur permettent de s'impliquer dans un processus de conception architecturale. Néanmoins, la connaissance et l'expérience du professionnel peuvent être plus développées car pendant sa formation et ses expériences professionnelles, il apprend à organiser et à enrichir cette connaissance et cette expérience d'une façon qui lui permet, par la suite, d'approcher un problème d'architecture de manière efficace. Comparativement au professionnel, les connaissances et les expériences d'un non-professionnel en matière de conception architecturale sont moins développées et proviennent principalement de ses expériences vécues. Cependant, un non-professionnel peut les enrichir car il peut aussi se mettre en situation d'apprentissage. Un non-professionnel peut apprendre ce dont il a besoin pour résoudre le problème d'architecture qu'il se pose et qui le concerne. Il est prêt à partager ses connaissances et ses expériences avec celles de professionnels et à apprendre, si cela peut contribuer à améliorer son environnement physique, en communiquant avec ces professionnels.

Mais le partage entre des personnes fait appel à des qualités humaines qui se manifestent dans un savoir-être dont peut dépendre la réussite de l'idée de participation à un processus de conception (Beaudoin, 1992, p. 176). Ce savoir-être, qui est ici la conception du rapport professionnel/non-professionnel, affecte l'attitude que prennent les personnes qui communiquent (interaction) et, par conséquent, le choix des moyens qu'elles peuvent mettre à contribution pour cette communication.

- *Acteurs et interactions*

En effet, indépendamment des moyens utilisés pour communiquer, la réussite d'un projet d'architecture dépend aussi en grande partie de la qualité des interactions qu'établissent entre eux les différents acteurs impliqués dans un processus de conception (Cuff, 1981, p. 160). Si les moyens de communication sont adaptés à la façon d'interagir des acteurs, ils permettront de soutenir ces interactions, mais ils ne permettront pas de les définir. Une interaction entre des personnes est principalement une relation sociale avec tout ce que cela peut comporter comme rationalités différentes et d'intérêts propres à chaque personne (Cherry, 1966, p. 3-19).

J. Forester (1985) propose de considérer un processus de conception impliquant une participation d'un groupe communautaire comme « a process of "sense-making," of making sense together in practical conversation » (p. 16). Il considère que le concept de

recherche (*search*) d'une solution à un problème d'architecture ne suffit pas pour définir un processus de conception à caractère participatif car il ne rend pas suffisamment compte des dimensions subjectives introduites par chaque personne participant à un tel processus. Les valeurs, les intérêts, les préférences, etc. des personnes impliquées dans un processus de conception participatif sont, selon lui, occultés en faveur d'une raison à caractère technique véhiculée par le concept de « recherche » d'une solution architecturale.

D. Cuff (1981) écrit que :

« Architecture can be as much the design of human interaction as the design of buildings » (p. 160).

La façon dont les acteurs interagissent pendant la réalisation d'un projet d'architecture dépend de leur savoir-être respectif. Le savoir-être est la conception que se fait la personne du rapport entre elle et la personne avec qui elle interagit. Il peut se réaliser dans une conception à la fois du moi, de la personne avec qui elle interagit et la relation qui découle de la conception du moi avec l'autre personne. Ainsi, si l'architecte se conçoit comme partenaire dans une relation avec son client pendant le processus de conception, il peut essayer de définir une approche à la relation avec son client qui tienne compte des similitudes et des différences de personnalité, de connaissances et d'expériences pouvant se manifester pendant cette relation. Par conséquent, l'architecte pourra adopter une méthode et des moyens de communication qui traduisent la prise en compte de ces similitudes et de ces différences.

Cependant, les architectes ne manifestent pas toujours leur compréhension des différences de connaissances et d'expériences qui peuvent exister entre eux et leurs clients. Selon S. Kaplan (1977), cette situation engendre parfois chez les architectes un comportement qui est « counterproductive and even self-defeating » (p. 223). Au lieu que le client participe à sa façon au processus de conception, l'architecte peut parfois tenter d'imposer sa compréhension du problème à formuler et de la solution à apporter, remettant ainsi en question la notion même de participation associée à ce processus de conception. Récemment, E.H. Dalholm et B. Rydberg-Mitchell (1992) écrivaient que :

« Our impression is that many architects feel uncomfortable about users' participation. This might be due to this being an unusual situation for the architect: he finds it difficult to fulfill both users' and builder's demands. Our experience is that the architect wants to assist the users, not only with pure planning solutions, but also with his view on architecture » (p. 243).

L'architecte peut donc être inconfortable avec la participation du client à un processus de conception. Lorsqu'il considère cette participation, il peut lui être difficile de faire fi de son besoin de contrôle sur le processus de conception. D. Cuff (1992) remarque que

lors d'un échange entre des architectes et des clients, « an underlying consideration is control over knowledge and information » (p. 39). Elle poursuit, en écrivant :

« Indeed, architects can and do capitalize on client's lack of knowledge, particularly technical knowledge about structure, materials, codes, and building systems, as well as the significant but ambiguous knowledge based on "experience". Since architectural decisions are inherently negotiable, this protects the architect's decision-making authority—design control. Technical knowledge and experience offer protective shelters where clients' challenges can be rebuffed » (p. 39).

Le contrôle d'un processus de conception peut constituer pour un architecte une façon de délimiter un domaine de connaissances lui permettant d'assurer une certaine autonomie et de distinguer sa profession par rapport à d'autres professions (Freidson, 1986). Cependant, la recherche de cette autonomie et de cette distinction s'est parfois développée au détriment du client à qui il arrive d'ailleurs d'associer à l'architecte une image d'arrogance et d'ignorance par rapport aux besoins et aux attentes du client (Sawyer, 1983).

En somme, pour un professionnel donc, un premier enjeu de la communication en architecture peut être le maintien d'un certain contrôle sur le processus de conception. Cet enjeu peut alors conditionner sa façon d'interagir avec les autres acteurs d'un processus de conception et, par conséquent, sa manière de figurer une solution architecturale. Pour un professionnel, cette manière de figurer pourra alors dépendre de sa décision de prendre en compte, ou, au contraire, de ne pas considérer les différences qu'il peut avoir avec les acteurs avec qui il communique au niveau tant des intérêts que de la connaissance et de l'expérience dans la réalisation d'un projet d'architecture.

En effet, deux autres enjeux de la communication ont également pu être notés. D'une part, les professionnels et les non-professionnels peuvent mettre à contribution des connaissances et des expériences différentes, et d'autre part, les non-professionnels peuvent être intéressés à s'engager dans un processus d'apprentissage pour arriver à réaliser leur participation à un processus de conception. Ces enjeux peuvent être d'ordre cognitif. Les professionnels et les non-professionnels peuvent ne pas considérer la même information relative à une solution architecturale et peuvent aussi traiter l'information considérée de manière différente. Aussi, ils peuvent arriver à des produits cognitifs distincts. Cependant, pour réduire l'écart entre ces produits, une personne peut chercher à comprendre comment une autre personne arrive à un résultat différent. Pour un moyen de figuration, cela peut alors signifier qu'il permette d'expliquer la façon dont un résultat est obtenu pendant un processus de conception. Autrement dit, de façon à permettre l'explication à l'aide de moyens de figuration, il peut s'avérer nécessaire, au moment de la définition de ces moyens,

de comprendre les processus cognitifs pouvant être mis à contribution par une personne pour la compréhension d'une solution architecturale.

2.3. Figuration d'un état d'une solution architecturale

Finalement, le présent chapitre a permis de voir que les moyens disponibles pour la communication en architecture sont définis de façon à pouvoir figurer l'état d'une solution architecturale à un certain stade d'un processus de conception. Cet état de la solution peut être figuré en préparant plusieurs modes de figuration à la fois, tels des plans, des coupes, des élévations, des perspectives, des maquettes, etc. Ce faisant, l'information contenue dans ces modes peut être redondante ; ce qui peut être non seulement nécessaire pour disposer avec ces modes d'une description précise de la forme d'une solution architecturale mais aussi souhaité pour enrichir l'information se rapportant à cette solution.

Cependant, en examinant la mise à contribution des moyens disponibles pour la communication en architecture, nous avons pu constater que différentes personnes peuvent avoir des difficultés à comprendre le contenu de ces moyens. Ces personnes peuvent être tant des professionnels que des non-professionnels d'un processus de conception. Les non-professionnels surtout mais également les professionnels peuvent éprouver des difficultés à recouper l'information d'ordre géométrique qui se trouve répartie entre plusieurs modes de figuration différents. Les difficultés des non-professionnels peuvent être expliquées par le fait qu'ils n'ont pas reçu la formation et ne possèdent pas nécessairement l'expérience qui permettent à des professionnels d'interpréter le contenu de plusieurs modes de figuration à la fois. Mais avec ces modes de figuration, les professionnels, comme nous l'avons vu, peuvent aussi avoir des difficultés à comprendre une solution architecturale parce que l'information traduite dans ces modes peut être incohérente, incomplète ou sous une forme qui ne répond pas toujours à leurs attentes.

À partir de ce que nous venons de voir jusqu'ici et en guise de conclusion de cette première partie de la recherche, nous pouvons donc relever des discordances entre les fins des acteurs d'un processus de conception et les moyens disponibles pour leur communication pendant ce processus. Ces discordances sont présentées ci-dessous.

A.-P. Contandriopoulos et ses collaborateurs (1989) écrivent que toute recherche « a comme point de départ la présence d'une situation perçue comme problématique, c'est-à-dire qui cause de l'inconfort et qui, par conséquent, exige une explication » (p. 6). Cette situation problématique survient lorsque des discordances sont perçues.

Discordances entre fins et moyens

Une discordance est un « défaut d'accord, d'harmonie »¹. D'après ce que nous avons vu jusqu'ici, deux discordances sont remarquables entre les fins des acteurs qui communiquent entre eux pendant un processus de conception et les moyens de figuration utilisés pendant cette communication. Il y a une discordance entre ce sur quoi portent les communications entre acteurs pendant un processus de conception et les moyens de figuration utilisés pour communiquer. Il y a également un manque d'harmonie entre la manière dont les personnes peuvent comprendre le contenu d'un mode de figuration et la façon dont ce contenu est présenté avec les modes de figuration disponibles.

L'examen de la communication pouvant avoir lieu pendant un processus de conception a permis de relever que les acteurs peuvent communiquer relativement à trois caractères d'une solution architecturale : sa praticabilité, sa technicité et sa faisabilité. L'étude de ces trois caractères a permis de mettre en lumière le fait que la communication entre les acteurs pouvait porter à la fois sur la façon de réaliser une action, autrement dit une démarche, et sur quel pourrait être son résultat. Ces acteurs peuvent essayer de comprendre comment « faire usage de » et « réaliser un dessein avec », « assurer le confort et la solidité de » ou encore « concrétiser » sur un chantier de construction cette solution. Pendant la formulation d'une solution architecturale, en fonction d'un problème énoncé, les acteurs peuvent vouloir comprendre quelle action entreprendre et comment l'envisager afin d'obtenir tel ou tel résultat et en agissant sur quel substrat, celui-ci pouvant être le résultat d'autres actions. C'est en communiquant relativement à ces actions et leurs résultats que les acteurs peuvent arriver à réaliser un projet d'architecture.

Les modes de figuration qui ont été examinés plus haut permettent de présenter le résultat des actions envisagées par les acteurs pendant la formulation d'une solution architecturale. Ils permettent de simuler, à différents stades d'un processus de conception, l'apparence que pourrait avoir une solution architecturale lorsqu'elle sera construite. Cependant, ils ne permettent pas de figurer les actions permettant d'obtenir ce résultat ni

¹ Le dictionnaire Petit Robert, édition 1989.

de figurer les différentes façons possibles d'arriver à ce résultat. Le seul mode de figuration permettant de considérer une action et sa réalisation est le devis descriptif. Mais ce devis est une prescription. Il permet de décrire la façon de réaliser une action déjà définie et n'est pas employé pour communiquer relativement aux différentes façons de réaliser une action.

Les moyens de figuration disponibles sont en opposition avec le caractère évolutif et participatif d'un processus de conception. En ne permettant de figurer qu'un résultat, ils ne permettent pas de considérer ce qui caractérise un processus de conception, c'est-à-dire les transformations apportées dans le temps par les acteurs à une solution architecturale.

Au niveau de la transformation d'une solution architecturale dans le temps, ces moyens de figuration ne permettent pas non plus de figurer « comment » à partir d'une première solution les acteurs en arrivent à une seconde. Pendant un processus de conception, aucune solution n'est encore définitive et plusieurs solutions sont nécessaires avant d'en arriver à une susceptible de répondre le mieux au problème pour lequel elle est formulée. Pour arriver à une solution, les acteurs réalisent de nombreuses boucles entre les formulations de problème et de solution. Pendant ces formulations, les acteurs peuvent revenir sur des résultats en reconsidérant les actions et les finalités qu'ils avaient envisagées au moment de l'obtention de ce résultat et ainsi définir de nouvelles actions permettant d'arriver à un autre résultat.

Au niveau des interventions pour la transformation de la solution, ces modes de figuration ne permettent pas non plus à un acteur de tenir compte des liens établis par les autres acteurs entre les résultats de leurs différentes actions. Avec ces modes, les résultats des actions de chaque acteur sont mis les uns à côté des autres sans explicitation sur la manière dont ils ont été obtenus les uns par rapport aux autres. Ces modes ne permettent pas à des acteurs qui communiquent de se rendre compte de l'implication que peuvent avoir leurs actions sur les résultats d'autres actions. Pendant un processus de conception, les acteurs agissent de concert pour la réalisation d'un projet d'architecture et les modes de figuration disponibles semblent pourtant n'avoir été définis que pour satisfaire un acteur en particulier, celui qui développe tout seul une solution architecturale et qui donc connaît les liens entre différentes actions et leurs résultats.

L'autre discordance entre les fins pendant une communication entre acteurs d'un processus de conception et les modes de figuration utilisés concerne la compréhension du contenu de ces modes. Les personnes qui veulent se figurer une solution architecturale à partir des modes de figuration disponibles peuvent avoir des difficultés à interpréter le contenu de certains de ceux-ci. Pour interpréter le contenu des modes de figuration les plus répandus, c'est-à-dire ceux réalisés graphiquement, les personnes peuvent avoir besoin

de connaître certaines règles de géométrie et les conventions graphiques utilisées par la personne qui les a préparé. Une personne peut également arriver à se figurer une solution architecturale en recevant des explications verbales complémentaires d'une autre personne ou en ayant recours à différents modes de figuration en même temps.

D'après les travaux de recherche menés sur la participation de non-professionnels au processus de conception, les difficultés que pose la compréhension du contenu des modes de figuration disponibles sont principalement liées à des considérations d'ordre psychologique. Les modes de figuration disponibles peuvent nécessiter une certaine expérience cognitive sur la façon d'interpréter leur contenu. De plus, celui-ci peut être perçu différemment selon la manière dont une personne peut apprécier ce à quoi réfère ce contenu, c'est-à-dire un édifice construit. La compréhension d'une solution architecturale figurée au moyen d'un mode de figuration disponible peut demander des processus mentaux supplémentaires et différents de ceux auxquels une personne est habituée lorsqu'elle perçoit un édifice construit. Ces processus mentaux supplémentaires peuvent donc rendre la compréhension d'une solution architecturale plus difficile. Or, les acteurs d'un processus de conception mettent à contribution un mode de figuration pour faciliter la compréhension de ce relativement à quoi ils communiquent, c'est-à-dire la solution architecturale. La nécessité de ces processus mentaux supplémentaires met donc ces modes de figuration en discordance avec les fins de la communication qui consiste à s'entendre entre acteurs relativement à cette solution.

La figure 7 schématise les discordances entre les fins et les moyens pendant une communication en architecture. Pour cela le schéma de la figure 5 traduisant notre compréhension de cette communication est repris. Un rectangle encadrant les moyens pouvant être mis à contribution pour la communication est placé entre les acteurs qui communiquent et une définition de la solution architecturale. Conformément à notre compréhension de cette solution, celle-ci est représentée par une démarche et son résultat. Pour souligner qu'un moyen de communication est destiné à prendre en charge cette solution, deux flèches partant respectivement de cette démarche et son résultat sont dirigées vers l'encadré des moyens disponibles pour la communication. Alors que la flèche partant du résultat est en trait plein, celle partant de la démarche est en trait pointillé pour montrer que cette démarche n'est pas prise en charge ou très peu par les modes de figuration examinés. De même, afin de souligner que des acteurs peuvent aussi avoir des difficultés à comprendre le contenu de ces modes, deux autres flèches sont également mises en trait pointillé entre les ellipses indiquant des acteurs et l'encadré des moyens de communication.

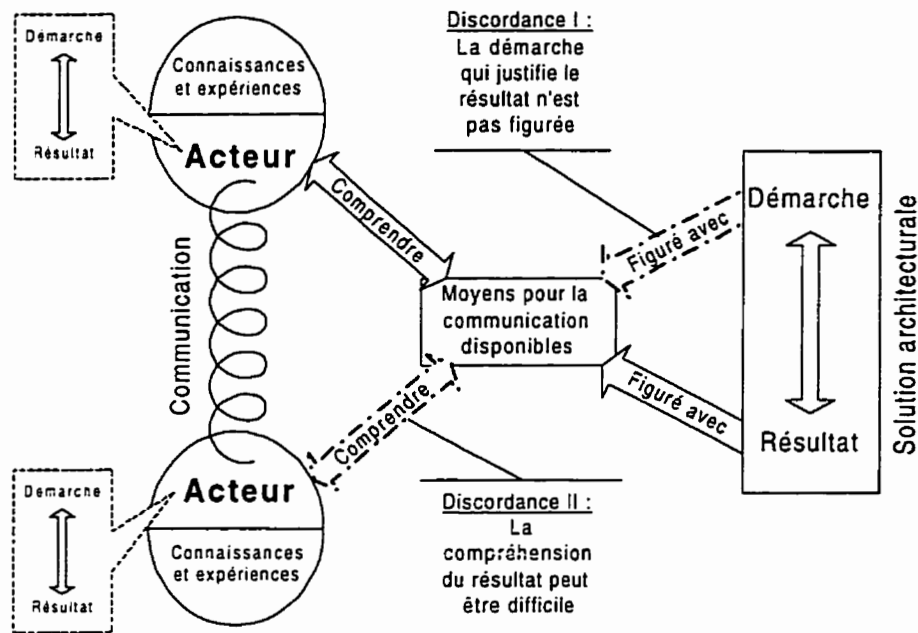


Figure 7 : Discordances entre fins et moyens pendant une communication relative à une solution architecturale

Précision de la question de recherche

Les discordances qui viennent d'être relevées entre les fins pendant les communications entre acteurs d'un processus de conception et les moyens disponibles pour la figuration amènent à préciser la question de recherche, comme suit :

De quel moyen de figuration pourraient se servir les acteurs d'un processus de conception pour communiquer relativement à une solution architecturale en développement ?

Par cette question de recherche, le moyen de figuration est mis au service des acteurs d'un processus de conception. La question de recherche porte sur un moyen de figuration pouvant répondre aux besoins des acteurs d'un processus de conception qui développent et communiquent relativement à une solution architecturale. Il s'agit donc d'un moyen permettant de faire figurer les actions et les résultats envisagés pendant un processus de conception. En d'autres mots il s'agit, pour le moyen de figuration faisant l'objet de la question de recherche, de permettre à ces acteurs de comprendre également comment les résultats des actions peuvent être obtenus pendant le développement d'une solution architecturale, et non les résultats uniquement. Cette question de recherche vise à définir un moyen de figuration qui permettrait aux acteurs de comprendre la solution architecturale relativement à laquelle ils communiquent.

La question de recherche implique les acteurs d'un processus de conception qui sont entendus comme toute personne participant par ses actions à la réalisation d'un projet d'architecture. Il peut s'agir tant de l'ingénieur que de l'architecte ou du maçon sur un chantier de construction. Ces acteurs peuvent poursuivre des finalités particulières dans un projet d'architecture, posséder une expérience et des connaissances propres et envisager des actions différentes pour la réalisation de ce projet. Ils communiquent et, pour ce faire, peuvent se servir de moyens de figuration afin de mieux comprendre et expliquer comment définir la solution architecturale qu'ils développent.

Dans la question de recherche, une solution architecturale est entendue comme ayant été formulée mais devant encore être développée davantage pour pouvoir constituer une réponse à un problème énoncé. Autrement dit, il s'agit d'une solution dont la forme et l'organisation ont déjà été sommairement définies et sur laquelle les acteurs vont encore agir pour l'amener à un édifice construit, c'est-à-dire un édifice dont des personnes pourront faire usage. Cette solution est considérée en développement et donc non arrêtée. Elle peut encore être transformée par les acteurs d'un processus de conception en fonction de leurs finalités dans un projet. Ce développement de la solution peut se faire pendant une communication entre acteurs.

De la façon dont la question de recherche est formulée, le moyen de figuration d'une solution architecturale reste donc à définir. Il s'agit de proposer celui susceptible de correspondre à différentes façons de comprendre et d'agir des acteurs d'un processus de conception. La question de recherche repose sur une hypothèse de recherche : avec les moyens informatiques disponibles il est possible de figurer une solution architecturale de façon à résoudre les deux discordances relevées entre les fins des acteurs pendant un processus de conception et les moyens disponibles pour la communication en architecture.

Cette hypothèse peut être vérifiée en adoptant une stratégie de recherche en deux temps :

- 1- comprendre l'origine des deux discordances relevées dans cette partie, et
- 2- proposer et mettre à l'épreuve une façon de figurer une solution architecturale basée sur cette compréhension.

La stratégie de recherche

La stratégie de recherche adoptée consiste à comprendre à la fois comment une personne peut se figurer une solution architecturale et comment les moyens de figuration disponibles ont été développés dans le temps. Cette double démarche peut être menée en considérant deux recherches complémentaires, une recherche exploratoire en psychologie

relative à la perception et une recherche historique en architecture. Ces deux recherches permettront alors de préparer une troisième recherche, une recherche de développement, qui vise la proposition et la validation d'une méthode alternative pour la figuration d'une solution architecturale (De Ketele et Roegiers, 1996, p. 92-105).

En effet, pour se figurer une solution architecturale, une personne réalise une activité de l'esprit. Elle tente d'imaginer cette solution qui, par définition, pendant un processus de conception, n'est pas encore concrétisée. En essayant de voir comment une personne peut se figurer une solution architecturale, l'objectif est de comprendre les phénomènes de l'esprit avec lesquels un moyen de figuration peut être harmonisé. Il s'agit de faire correspondre la définition d'un moyen de figuration d'une solution architecturale à la façon dont une personne peut comprendre cette solution. Comme pendant une communication en architecture le but est de rendre compréhensible une solution architecturale, il semble alors nécessaire de prendre en compte la façon dont une personne peut comprendre cette solution. Pour atteindre cet objectif, il est possible de considérer la psychologie qui étudie les phénomènes de l'esprit. Une recherche exploratoire portant sur les résultats de travaux de recherche réalisés en psychologie permettra de mieux comprendre quels sont les phénomènes tant affectifs que cognitifs pouvant être associés à la compréhension d'une solution architecturale. Cependant, cette recherche ne permettra pas de comprendre comment il est possible de prendre en compte, pendant la définition d'un moyen de figuration, les actions impliquées pour la réalisation d'un projet d'architecture. Pour cela, une recherche historique peut être envisagée.

Les moyens de figuration disponibles ont été développés pour servir, d'une façon ou d'une autre, à la réalisation d'un projet d'architecture. Ces moyens de figuration ne sont pas le fruit du hasard. Ils sont le produit de la réalisation d'intentions et de motivations de personnes ayant eu une certaine conception de la façon de réaliser un projet d'architecture et donc de communiquer pendant cette réalisation. En essayant de voir comment ces moyens de figuration ont été développés, l'objectif est de comprendre l'origine des discordances, reconnues plus haut, entre les fins des acteurs d'un processus de conception et les moyens de figuration disponibles. Il s'agit de considérer chaque moyen de figuration par rapport au contexte d'une façon de réaliser un projet d'architecture, c'est-à-dire celui pour lequel ce moyen a été initialement défini. Ce faisant, il sera alors possible de voir quelles sont les conditions qui ont permis d'envisager ces moyens de figuration, lesquelles demeurent encore et lesquelles ont changé ou cédé la place à d'autres. Pour ce faire, l'histoire du développement des moyens utilisés pour la communication en architecture est examinée.

DEUXIÈME PARTIE : IMAGERIE MENTALE ET APPRÉCIATION EN PSYCHOLOGIE—
RECHERCHE EXPLORATOIRE

Les phénomènes mentaux d'une personne sont étudiés en psychologie. Parmi les travaux de recherche en psychologie, certains portent sur la représentation mentale et d'autres sont relatifs à la relation personne-environnement. Sur la base des résultats de ces travaux, des théories ont été élaborées, certaines pour expliquer la formation et les caractéristiques d'une représentation mentale et d'autres, pour expliquer comment une personne réalise des transactions avec son environnement physique. Afin de mieux comprendre comment et quels sont les concepts psychologiques qui peuvent intervenir pendant un processus de communication en architecture, cette partie est consacrée à l'étude de certaines théories soutenant les travaux de recherche en psychologie et les résultats obtenus. L'objectif est de comprendre comment, en psychologie, on explique la formation d'une représentation mentale d'une part, et comment on considère les transactions entre une personne et son environnement en termes de communication, d'autre part. Il repose sur l'hypothèse que les recherches en psychologie peuvent expliquer ce dont les personnes ont besoin pour comprendre une solution architecturale figurée.

La psychologie s'intéresse à la vie psychique, c'est-à-dire aux processus mentaux des personnes. Se figurer une solution architecturale est un processus mental. Pour atteindre l'objectif, il s'agit de mener une recherche exploratoire sur la vie psychique des personnes en relation avec la communication en architecture.

Principes méthodologiques de la recherche exploratoire

La recherche exploratoire a été menée à partir de la lecture de différentes sources documentaires en psychologie et se rapportant à différents aspects de la compréhension d'une solution architecturale. Elle impliquait un choix de sources documentaires, une compréhension critique de leur contenu et une articulation des connaissances dégagées en fonction des dimensions pertinentes du problème de recherche à couvrir (Contandriopoulos *et al*, 1989, p. 14). J.-M. De Ketele et X. Roegiers (1996) écrivent que :

« Dans une *recherche exploratoire*, le recueil d'informations a surtout une fonction **heuristique** : c'est surtout à travers l'information recueillie que le chercheur émet des hypothèses » (p. 126).

La fonction heuristique¹ réfère à une démarche de recherche inductive correspondant à un processus d'inférence du général à partir du particulier (Barth, 1987). Il s'agit de donner du sens à l'information recueillie (De Ketele et Roegiers, 1996, p. 163). Pour cela,

¹ Dictionnaire Le Petit Robert, édition 1989 : « Qui sert à la découverte ».

nous avons consulté de nombreuses sources documentaires se rapportant à la perception et la cognition d'un objet ou d'un environnement physique construit ou figuré jusqu'à ce que nous ayons le sentiment d'une emprise suffisante sur les travaux de recherche en psychologie qui traitent de cette perception et cette cognition chez l'homme (principe de saturation). Nous avons, par la synthèse, donné une nouvelle signification aux différentes théories et aux résultats des travaux de recherche rencontrés en psychologie et qui sont en rapport avec la communication et la figuration en architecture. Pour établir cette signification, nous avons examiné des théories qui expliquent différemment la perception humaine. Nous avons étudié les travaux de recherche qui ont porté sur des aspects différents de la vie psychique d'une personne qui prend connaissance d'un objet ou d'un environnement physiques. Nous nous sommes également intéressé de façon critique aux limites des conclusions émises et aux méthodologies de recherche utilisées pendant ces travaux. Le point de départ de la recherche exploratoire a été de voir comment est définie l'imagerie mentale en psychologie.

En effet, l'une des productions sensibles de la vie psychique d'une personne est une image mentale à laquelle X. Lameyre (1993) accorde au moins trois particularités lorsqu'il écrit :

« Images que le rêve organise en scène comme un drame actuel. En raison de la primauté du visuel dans la vie onirique [...], les images du rêve sont principalement des images *visuelles* » (p. 72).

Les images mentales pendant un rêve semblent donc pouvoir être organisées, actualisées et perçues. Elles peuvent permettre un usage en rendant présente une scène comme si c'était l'organe visuel, l'œil, qui la percevait dans un univers d'objets tangibles. Mais les particularités de l'activité onirique que l'on retrouve chez une personne¹ peuvent également être présentes durant sa veille.

En effet, l'image mentale est une ressource qu'une personne peut mettre à contribution pour la réalisation d'actions conscientes sur des objets tangibles ou imaginés. C'est à quoi s'intéresse précisément la psychologie cognitive dans ses travaux de recherche sur la représentation mentale.

Plus spécifiquement, la psychologie cognitive étudie les processus mentaux en essayant de comprendre la représentation mentale, ses caractéristiques et sa formation. L'image mentale n'est qu'une des formes de représentation possibles de l'activité psychique d'une personne et ni sa présence, ni sa définition, ne font l'unanimité en psychologie cognitive. Plusieurs travaux de recherche expérimentaux ont pourtant apportés dans leurs

¹ E. Morin (1986, p. 97-98) utilise l'expression *Unitas multiplex* pour souligner l'unité et également la complexité d'une personne.

sillages des résultats intéressants ayant donné lieu à des théories qui méritent d'être étudiés (Anderson, 1977). Pour ce faire toutefois, une mise en garde d'ordre méthodologique est nécessaire pour réaliser les limites de certaines de ces théories.

Comme le fait remarquer L. Sfez (1988, p. 396), la psychologie cognitive assigne au cognitif le sens de « computationnel », ce qui dégrade en un sens la complexité de l'activité mentale chez une personne et la simplifie pour l'assimiler au modèle de fonctionnement d'une machine informatique. En d'autres mots, nous avons dû faire attention à un biais méthodologique qui peut être présent dans ces travaux de recherche car, en psychologie cognitive, pour certains chercheurs, la « justesse de l'analyse tient au juste fonctionnement du programme [informatique] qu'elle permet de concevoir » (Sfez, 1988, p. 397). Une objectivité mathématique peut devenir ainsi un critère méthodologique fondamental sans lequel toute programmation informatique ultérieure risque de n'être plus opérable. Par conséquent, les résultats et leurs interprétations en psychologie cognitive ont été pris avec précaution et ont dû être complétés par l'étude d'autres travaux en psychologie.

Nous avons donc retenu les travaux de recherche en psychologie qui ont pour objectif l'étude des transactions de personnes avec leurs environnements physiques. Il s'agit de la psychologie de l'environnement qui a pour principal objectif de pourvoir les acteurs d'un processus de conception en connaissances susceptibles de les aider à formuler un problème d'architecture et sa solution (Gifford, 1987, p. 2).

En psychologie de l'environnement non seulement les processus perceptifs et cognitifs sont considérés mais également les dimensions affectives et émotionnelles en présence pendant les transactions d'une personne avec un environnement physique. Les travaux de recherche en psychologie de l'environnement sont menés pour essayer de comprendre comment certaines caractéristiques de l'environnement physique peuvent affecter la vie psychique d'une personne. Les résultats de ces travaux sont proposés pour permettre de répondre favorablement aux besoins à caractère psychologique des personnes à qui une solution architecturale est destinée. Nous les avons examinés pour en tirer, par synthèse, une signification pour la figuration d'une solution architecturale.

De plus, parfois pour arriver à des résultats, les chercheurs en psychologie de l'environnement ont également recours à des modes de simulation permettant de présenter à des personnes, à des fins d'évaluation, des environnements physiques absents. Comme ces modes de simulation sont nombreux et peuvent présenter un même environnement physique différemment, un certain nombre de travaux de validation des résultats obtenus ont dû être entrepris. Différents modes de simulation ont ainsi été étudiés par rapport à

leurs capacités à pouvoir engendrer chez une personne les mêmes effets psychologiques qu'une perception d'un environnement physique tangible arrive à produire. Nous les avons donc également étudié.

Dans ce qui suit, les résultats de notre recherche exploratoire sont présentés. Nous allons tout d'abord examiner comment en psychologie cognitive, la représentation mentale chez une personne peut être comprise. Ensuite, nous verrons les principales dimensions de la vie psychique d'une personne qui peuvent intervenir dans sa relation avec un environnement physique d'une part et d'autre part les résultats de travaux de recherche pendant lesquels la simulation d'environnements physiques a été étudiée. Enfin, à la fin de cette partie, nous récapitulerons les principales implications des résultats de cette recherche exploratoire en psychologie pour la figuration d'une solution architecturale.

CHAPITRE 3 : Psychologie cognitive et imagerie mentale—une étude de recherches récentes

En psychologie cognitive, plusieurs travaux de recherche ont été menés pour comprendre la façon dont une personne peut se représenter des configurations spatiales (un univers d'objets) et de les considérer pour la réalisation de ses actions. Il s'agit de travaux portant sur l'imagerie mentale qui est l'activité cognitive permettant à une personne d'engendrer et de transformer des images mentales. L'objectif de ce chapitre est de voir quelles sont les implications des résultats de ces travaux pour la préparation d'une figuration d'une solution architecturale. Nous avons donc effectué une recherche exploratoire du domaine selon l'approche explicitée en pages 65 à 68.

Il est possible de considérer, en gros, deux grands courants de pensée qui caractérisent les théories contemporaines¹ de la psychologie cognitive traitant de l'imagerie mentale (Johnson-Laird, 1983, p. 146-148). Le premier courant est celui qui envisage une image mentale sous la forme d'une représentation dite « analogique » et le second, celui qui considère une représentation dite « propositionnelle ». L'analogie d'une représentation est établie relativement au monde extérieur d'une personne, c'est-à-dire une conformité en tout point par rapport à ce qu'une personne peut percevoir d'un univers d'objets physiques tangibles. Quant à la représentation propositionnelle, elle consiste en une collection de symboles associée à des procédures pour interpréter ce qui est perçu par une personne (Rumelhart et Norman, 1985).

Dans ce qui suit, ces deux courants vont être présentés et étudiés pour comprendre :

- 1- la manière dont une personne pourrait se former une représentation mentale d'une configuration spatiale ;
- 2- la manière dont cette représentation mentale pourrait refléter une configuration spatiale perçue ;
- 3- la manière dont une personne pourrait mettre à contribution cette représentation mentale pour la réalisation de ses actions.

Pour ce faire, l'une des principales théories contemporaines de l'imagerie mentale, celle proposée par S.M. Kosslyn (1980) dans son ouvrage *Image and Mind*, sera présentée en premier lieu. Ensuite, les plus importantes propriétés qui ont été découvertes en ce qui

¹ Les conceptions psychologiques contemporaines de l'imagerie mentale doivent également beaucoup à la contribution d'autres sciences telles la philosophie, l'anthropologie, la neuroscience ou encore la psychanalyse. Voir à ce sujet les chapitres II et III de X. Lameyre (1993, pp. 28-85).

concerne l'image mentale et qui soutiennent cette théorie seront examinées et discutées. Il sera alors possible de mieux comprendre comment une personne pourrait traiter une image mentale pour ses différentes actions. Cet examen sera suivi d'un exposé des principales critiques formulées par rapport à la proposition de S.M. Kosslyn (1980) et aux résultats des travaux de recherche sur lesquels il s'appuie. Une présentation de théories alternatives avancées par Z. Pylyshyn (1981b) et G. Hinton (1979a) accompagnera ces critiques.

En dernier lieu enfin, une des plus importantes théories contemporaines sur la vision, celle de D. Marr (1982), sera sommairement présentée et rattachée aux théories sur l'imagerie mentale qui auront été discutées et à la théorie du modèle mental plus générale proposée par P.N. Johnson-Laird (1983). De cette façon, la représentation mentale aura pu être située entre deux pôles, celui de sa formation et celui de sa mise à contribution pour une action. Ceci permettra de voir des implications concernant les moyens à mettre à contribution pour une communication relative à une solution architecturale.

3.1. Une image mentale quasi-perceptive

Une image mentale est une représentation interne d'une personne et, de ce fait, ne nous est pas donnée à l'observation directe. Il est par conséquent difficile d'établir sa présence de façon décisive. Toutefois, comme nous le font remarquer D.E. Rumelhart et D.A. Norman (1985), quels que soient les arguments avancés, pour ou contre la présence d'une telle image mentale, nous nous étonnerons toujours que :

« [...] people can create images that are surprisingly veridical and that can be processed in the way that an actual picture would be processed » (p. 46).

Sans les déclarations des personnes qui se forment ces images¹, cet étonnement pourrait donc être sans fondement. Les chercheurs qui s'intéressent à l'imagerie mentale s'appuient en partie sur les déclarations des personnes qui participent aux expérimentations qu'ils proposent et en partie sur leurs observations pendant ces expérimentations. Ces déclarations correspondent à ce que ces personnes elles-mêmes ont constaté après qu'elles aient réalisé une introspection. Les travaux de recherche contemporains² ont permis de

¹ Les images mentales ont souvent une connotation visuelle mais peuvent également être la conséquence de modalités sensorielles autres que la vision. Les travaux de R. Passini *et al.* (1988) sur les aveugles de naissance en environnement architectural viennent précisément confirmer cette idée.

² Depuis longtemps, en philosophie et, à partir du siècle dernier, en psychologie, l'image mentale a été au centre de débats animés qui étaient alimentés principalement par les observations rapportées par les personnes qui réalisaient une introspection, c'est-à-dire qui essayaient de prendre conscience des phénomènes psychiques qui pouvaient se produire chez elles (Lameyre, 1993, p. 7-27; Tye, 1991, p. 1-17). Ce n'est que vers la fin des années 60, sous l'influence de l'école piagétienne (Piaget et Inhelder, 1966) et le courant néomentaliste amorcé par A. Pavio (1969, 1971) que des travaux de recherche à caractère expérimental ont permis d'arriver à des résultats permettant d'avancer certaines théories nouvelles pour expliquer la cognition imagée.

tirer des conclusions à partir de ce type de déclarations qui se rapportent à la similitude entre des processus engagés pendant une activité d'imagerie et ceux qui sont mis à contribution pendant une activité inscrite dans un monde tangible. Ainsi, il a pu être constaté par exemple, que les processus de représentation internes (mentaux) d'une personne peuvent avoir quelque ressemblance avec les processus de transformation qu'une personne peut percevoir directement sur un objet physique (Rumelhart et Norman, 1985, p. 43).

La constatation d'une ressemblance entre ces processus de transformation rendait ainsi caduques les hypothèses anciennes selon lesquelles on supposait que des images étaient stockées dans la mémoire d'une personne et que chacune était, disait-on, rappelée lorsqu'une expérience imagée particulière l'exigeait (Tye, 1991). De nouvelles théories ont alors été élaborées. Nous présentons, très sommairement dans les lignes qui suivent, les principaux concepts d'une de ces théories qui a retenu l'intérêt en psychologie cognitive et qui est celle proposée par S.M. Kosslyn (1980).

3.1.1. L'imagerie mentale d'après S.M. Kosslyn (1980)

S.M. Kosslyn (1980) suggère qu'on conçoive les images mentales à la manière de ce qui se produit sur un écran cathodique. Il propose une théorie de l'image mentale articulée entre un niveau superficiel correspondant à ce qui est affiché sur un écran cathodique et un niveau profond équivalent à ce qui est emmagasiné dans une mémoire d'ordinateur. Pour S.M. Kosslyn, qui s'aligne apparemment sur l'approche « computationnelle » de l'image mentale, le niveau superficiel correspond à l'image visuelle en ce qu'elle assume une spatialité. Ce niveau reprend la structuration du produit de la perception visuelle et conserve des liens entre les unités constitutives (ex : distance entre objets, positions relatives, etc.). L'image mentale est supposée posséder une étendue limitée, une définition par grains et un dispositif pour son rafraîchissement périodique comparable à celui d'un écran cathodique. Cette image mentale est comprise par S.M. Kosslyn comme étant quasi-perceptive (*quasi-pictorial*).

De plus, l'image mentale, d'après S.M. Kosslyn (1980), est générée à partir d'un niveau profond. Il ne s'agit plus d'une conception où une personne extrait une image toute définie de sa mémoire mais bien de considérer un processus permettant à cette personne de générer cette image à partir d'une information stockée dans sa mémoire à long terme (LTM)¹. Dans cette LTM, l'information nécessaire à la génération d'une image mentale est « codée » sous une forme abstraite, c'est-à-dire une représentation propositionnelle. Toujours d'après S.M. Kosslyn, cette représentation propositionnelle

¹ LTM abréviation de l'expression anglaise *Long Term Memory*.

est décomposable en deux types de représentations; une propositionnelle standard pour le stockage d'une information générale relative aux unités constitutives, leur localisation, les relations entre ces unités, etc., et une autre qu'il nomme littérale contenant les données structurales schématiques (*skeletal encoding*). D'après S.M. Kosslyn, c'est ce niveau profond qui permettrait d'expliquer la déformation possible des propriétés de certaines images mentales du niveau superficiel chez certaines personnes.

3.1.2. Traitement de l'image mentale

S.M. Kosslyn (1980) postule également dans sa théorie qu'il y aurait trois types de processus qui opèrent en imagerie mentale. En premier lieu, l'application de processus activateurs aux représentations du niveau profond permet de générer et de maintenir une image mentale dans un dispositif qu'il nomme *buffer*¹ visuel. Ces processus d'activation correspondent à l'action d'imaginer (*image*). Lorsque l'image mentale est dans ce *buffer* alors les deux autres types de processus d'exploration (*lookfor*) et de transformation (*transform*) peuvent être mis à contribution pour l'action sur cette image. L'exploration va servir à l'inspection de l'image et permettre à une personne de vérifier si deux livres sont posés l'un par dessus l'autre par exemple. La transformation consiste à faire pivoter (rotation mentale), réaliser une translation ou agrandir (zoom) le contenu de l'image. De cette façon, une personne pourrait par exemple faire pivoter ou déplacer une chaise consignée dans son image mentale pour contrôler si celle-ci s'insère correctement ou pas dans une configuration spatiale imagée.

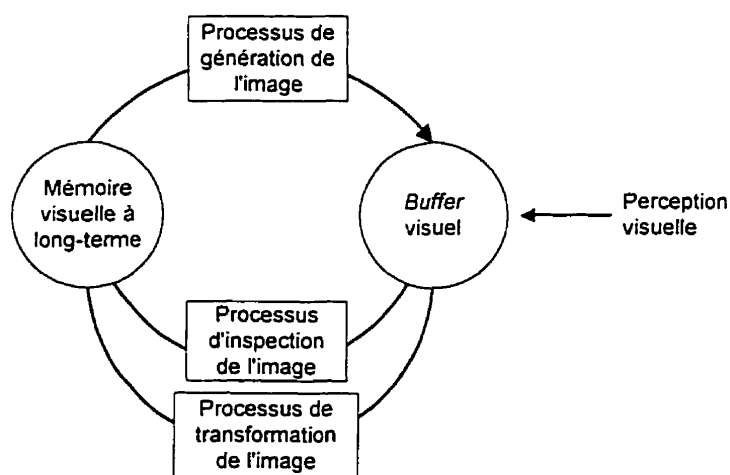


Figure 8 : Schématisation des concepts de la théorie sur l'imagerie mentale quasi-perceptive proposée par S.M. Kosslyn (1980)

¹ En français, tampon.

En figure 8 sont schématisés les principaux concepts de la théorie de S.M. Kosslyn (1980) qui viennent d'être présentés. On y retrouve encerclés deux pôles, la LTM et le *buffer* visuel ou la mémoire à long terme et la zone d'activation de l'image mentale. Y sont également indiqués par un encadré les trois processus, l'inspection, la transformation et la génération, qui soutiennent l'activité d'imagerie. Enfin, les deux pôles et les trois processus sont disposés de façon circulaire et sont liés par des arcs de cercles orientés qui bouclent sur eux-mêmes pour signifier le caractère récursif de la formation et le traitement d'une image mentale.

3.2. Rôle et propriétés de l'imagerie mentale

Les propriétés des images mentales peuvent être nombreuses et variées. Elles peuvent dépendre des fonctions ou des tâches pour lesquelles une image mentale peut être mise à contribution. Elles peuvent également dépendre de la diversité des activités possibles d'imagerie chez chaque personne. La complexité même d'une personne rend tout inventaire exhaustif de ces propriétés inconcevable. Pour les besoins de cette recherche donc, seules les propriétés générales qui semblent caractériser une imagerie mentale d'après les résultats de travaux de recherche en psychologie cognitive vont pouvoir être considérées ; l'examen de l'analogie entre l'imagerie mentale et la perception visuelle constatée par ces travaux peut alors constituer un point de départ.

3.2.1. Imagerie mentale et perception visuelle

Le caractère analogique attribué à l'image mentale provient de l'observation d'une similitude entre les résultats en imagerie mentale et en perception. Les deux processus, imagerie et perception, peuvent concerner des configurations spatiales et produisent des expériences cognitives sensiblement identiques (Fortin et Rousseau, 1989; Denis, 1989). La différence significative entre ces deux activités mentales se situe au niveau de leur prise d'information. Alors que le produit de la perception est élaboré à partir d'une configuration spatiale présente et tangible, l'image mentale est constituée sur la base d'une connaissance mémorisée relative à une configuration absente. Mais, un fragment ou la totalité de cette connaissance, peut aussi être issue d'une ou plusieurs perception(s) antérieure(s) pouvant être différente(s) aussi. À partir de là donc, il est possible de soupçonner une parenté et une interférence entre les deux processus, et peut-être même une filiation de l'image mentale à l'égard de la perception.

En effet, L.R. Brooks (1968) a pu montrer que les processus de perception et d'imagerie mentale pouvaient interférer lorsque des personnes avaient à engager les deux processus simultanément. Pendant ses expériences, les personnes qui devaient imaginer une situation et, en même temps, répondre à des questions posées par les chercheurs en

pointant un « oui » ou un « non » sur un tableau mettaient plus de temps à répondre que celles à qui la situation était présentée dans un dessin sur ce tableau. Ces expériences montrent donc que l'imagerie mentale et la perception visuelle pourraient partager un même médium cognitif (Tye, 1991, p. 48). Cette mise en rapport de la perception visuelle et de l'imagerie mentale permet alors de s'interroger sur les similitudes qui pourraient exister entre ces deux processus tant à un niveau fonctionnel que structural.

3.2.2. Similitudes fonctionnelle et structurale

À un niveau fonctionnel tout d'abord, une similitude est décelable si une activité de perception et une activité d'imagerie mentale produisent toutes deux des résultats comparables tant par leur nature que par leur intensité. En d'autres termes et dans un contexte expérimental, ceci signifierait que pour parler d'une similitude fonctionnelle entre les deux processus, il est capital qu'une personne qui accomplit une tâche donnée arrive à des résultats équivalents en ayant recours soit à la perception visuelle soit à l'imagerie mentale. Dans ces conditions, l'imagerie mentale mettrait alors à la disposition d'une personne un événement psychique qu'elle pourrait approcher de la même manière que celui résultant d'une perception visuelle.

Différents travaux de recherche ont été réalisés pour vérifier l'hypothèse d'une similitude au niveau fonctionnel entre l'imagerie mentale à caractère visuel et la perception visuelle. Leurs résultats confirment cette hypothèse. Plusieurs de ces travaux ont porté sur l'activité de mémorisation (dite aussi mnémonique) de divers faits et objets. Sans les décrire, citons parmi ceux là les travaux de A. Pavio et ses collaborateurs (1968) sur le rappel des listes de mots concrets et abstraits, ceux de J. Engelkamp et K. Krumnacker (1980) sur la mémorisation d'énoncés décrivant des actions, ou encore les analyses de M.J. Peterson (1975) sur la reconstitution de matrices contenant des lettres.

À un niveau structural, la similitude entre perception visuelle et imagerie mentale concerne l'organisation des unités contenues dans une image mentale et celles disponibles dans le produit de cette perception. Pour vérifier cette similitude, il s'agit donc de reconnaître si une image mentale possède une structuration de ses unités qui est comparable à celle des configurations spatiales qui sont perceptibles visuellement dans un monde tangible. D'ailleurs, la similitude fonctionnelle suggère déjà un rapprochement possible entre les organisations des deux produits, le percept et l'image mentale. Sinon, comment pourrait-on alors comprendre certains des comportements nécessitant la présence d'une sorte d'intuition spatiale ? S.M. Kosslyn (1980) est de ceux qui ont précisément essayé de comprendre, par leurs travaux de recherche, cette dimension spatiale des images mentales.

3.2.3. Principaux résultats de recherche

Après une série d'expérimentations sur le balayage d'images mentales¹, S.M. Kosslyn (1980) a constaté que la distance à parcourir entre deux unités incluses dans une image mentale était directement proportionnelle au temps nécessaire pour se déplacer mentalement entre ces deux unités. Sans vouloir entrer dans le détail de la mise en œuvre de l'expérimentation, signalons seulement que ces résultats avaient été obtenus alors que les personnes avaient été expressément invitées à se constituer une image mentale pendant leur processus de résolution du problème posé, à savoir déplacer l'attention d'une unité à une autre de l'image mentale. En l'absence de cette recommandation, les données relatives à la distance parcourue et au temps requis n'étaient plus en corrélation, ce qui laisse supposer que les unités auraient tout aussi bien pu être conservées sous une forme autre que l'image mentale (Denis, 1989).

M. Tye (1991) suggère que la variation du temps de balayage d'images mentales pourrait s'expliquer ainsi :

« Scanning across a mental image involves accessing the appropriate image parts serially (either by shifting the locus of attention across a stationary image or by translating the imaged pattern across the visual buffer so that different aspects of the pattern fall under a fixed central focus of attention) » (p. 53).

Tout se passerait donc comme si les unités d'une image mentale étaient positionnées d'une façon sérielle et que pour atteindre une de ces unités, une personne peut soit déplacer son attention en passant successivement par les différentes autres unités de l'image, soit faire se défiler l'image mentale devant son attention. Cette explication de la variation du temps nécessaire au repérage d'une unité ne nécessite donc pas forcément une image mentale et pourrait se limiter à une représentation mentale sous la forme d'une liste d'unités, par exemple.

M. Tye (1991) s'interroge également sur le pourquoi d'un balayage d'images mentales quand on sait qu'il est aussi possible de générer de nouveau une image mentale pour les besoins de la tâche en cours ; il apporte la réponse suivante :

« One possible explanation is that moving an activation pattern already in the medium is easier. In other words, allowing an image to fade and then going back into storage to construct another appropriately different image may be more complicated (in terms of both the number and the complexity of the operations). If this is so, then, since effort in scanning increases with the extent of the transformations (and the number of iterations), there should

¹ Traduction de C. Fortin et R. Rousseau (1989) de l'expression anglaise *mental scanning*.

arise a point at which the price paid to scan rather than to generate a new image is too high. It appears that there is indeed such a point » (p. 56).

M. Tye (1991) se réfère¹ aux constatations faites par S.M. Kosslyn (1980) lui-même pour appuyer l'idée d'une régénération de l'image lorsqu'un effort trop important est nécessaire pendant un processus de balayage d'une image mentale. Cependant, pour les autres cas mentionnés, c'est-à-dire lorsque l'effort mental nécessaire n'est pas assez important, M. Tye n'apporte pas d'arguments convaincants pour soutenir son explication. En effet, nous ne savons pas « mesurer » le temps nécessaire à la génération d'une image mentale à partir de la LTM d'une personne et donc comparer cette mesure avec celle impliquée par un balayage d'images mentales. La question reste donc posée à savoir si le balayage d'images mentales s'effectue par régénération d'images mentales ou tout simplement en maintenant une image mentale active jusqu'à ce que l'effort mental impliqué devienne trop important pour pouvoir continuer à soutenir cette activité de balayage.

Une image mentale pourrait aussi être construite sans qu'il y ait eu au préalable une indication dans ce sens de la part des chercheurs. En effet, A. Paivio (1978) qui s'est intéressé à la question de la comparaison mentale entre deux objets, et notamment entre les angles formés par les aiguilles d'une horloge, rapporte que les personnes qui ont participé à ses expérimentations ont toutes mentionné avoir mis à contribution des images mentales pour répondre aux questions qui leur avaient été posées. Ce constat a d'ailleurs aussi été établi récemment par L.A. Cooper (1988) qui remarque qu'une représentation mentale concernant une configuration tridimensionnelle, quelle que soit sa forme, est générée même si une telle construction mentale n'est pas nécessairement requise pendant la résolution des problèmes considérés. Dans ce sens, L.A. Cooper (1991) écrit ailleurs :

« [...] the generation of three-dimensional object representations is in some sense "obligatory", in that such representations are constructed even when information about two-dimensional shape alone would suffice for performing the required task » (p. 4).

L'auteur suggère que ces représentations mentales sont élaborées pour des raisons stratégiques qui permettent à une personne à la fois d'établir des relations entre les différentes unités d'un objet et, en même temps, d'économiser les opérations d'exploration mentale nécessaires pour retrouver certaines informations.

Les travaux de A. Paivio (1978) permettent de constater encore deux autres événements remarquables concernant l'imagerie mentale. Tout d'abord au niveau du temps de réponse enregistré par chacune des personnes ayant pris part à ses travaux, les résultats

¹ Chapitre huit de S.M. Kosslyn (1980).

obtenus montrent que ce temps peut dépendre de leur capacité d'imagerie, mesurée au moyen d'une batterie de tests psychométriques. Ensuite, par rapport au niveau de difficulté des problèmes posés aux différentes personnes, A. Pavio (1978) a également pu constater que plus les angles formés par les aiguilles de l'horloge étaient ouverts et plus les personnes interrogées établissaient la comparaison plus facilement. Cette dernière constatation peut alors suggérer que par rapport aux produits d'une perception visuelle, les unités contenues dans une image mentale pourraient être non seulement disposées d'une façon similaire mais que, de plus, leur organisation pourrait hériter des mêmes limites et des mêmes contraintes que celles rencontrées pendant la perception.

Pour M. Denis (1989), la caractéristique fondamentale des images mentales est relative à l'« isomorphisme structural » qu'elles maintiennent avec les représentations produites par un processus de perception visuelle. D'après l'auteur, un tel isomorphisme est atteint :

« [...] si les différentes parties de l'objet, leurs positions respectives, leurs relations topologiques sont les mêmes dans la représentation perceptive et dans la représentation imaginative de l'objet » (p. 75).

Cette similitude structurale laisse supposer aussi qu'il pourrait exister une certaine raison utilitaire qui motive cet isomorphisme structural entre le produit de la perception visuelle et l'image mentale. À partir d'observations portant sur les différents résultats expérimentaux rapportés, la raison utilitaire qui leur semble commune paraît concerner le traitement des unités de l'image mentale et du percept visuel.

Au niveau des processus de traitement des unités, une similitude entre l'imagerie mentale et la perception visuelle pourrait occasionner une série d'opérations qui produiraient des transformations similaires dans les deux cas. C'est ce qu'ont essayé de démontrer R.N. Sheppard et J. Metzler (1971) par leurs travaux de recherche sur la rotation mentale (Fortin et Rousseau, 1989). Leurs conclusions qui s'établissent à partir de l'observation de manipulations faites par différentes personnes d'un stimuli tridimensionnel particulier auquel il fallait faire subir mentalement des rotations confirment cette similarité. Une expérience ultérieure sur un polygone réalisée par L.A. Cooper (1976) suggère même qu'au cours de cette rotation un processus mental passe par des états intermédiaires qui correspondent aux positions successives de l'objet physique tangible subissant la même rotation (Denis, 1989; Cooper et Sheppard, 1973). Les transformations en imagerie mentale pourraient donc mimer celles qui peuvent être considérées sur un objet tangible.

En somme, l'imagerie mentale peut être caractérisée par des propriétés fonctionnelles ayant des similitudes avec celles qui peuvent être considérées pendant une perception visuelle. Une image mentale pourrait également posséder des propriétés structurales

comparables à celles de produits de perceptions visuelles. Néanmoins, la formation de ces images mentales ne peut être mise à contribution que sous certaines conditions. L'imagerie mentale peut dépendre à la fois de la capacité d'une personne à pouvoir élaborer des images mentales et du caractère de l'action qu'elle a à accomplir. Enfin, l'isomorphisme structural que des images mentales pourraient maintenir avec les produits d'une perception visuelle pourrait permettre de considérer une série de transformations équivalentes à celles qui peuvent avoir lieu sur un objet du monde tangible.

Dans ce qui suit, des points de vue des opposants à la conception quasi-perceptive de l'image mentale et leurs propositions alternatives sont examinés.

3.3. Imagerie mentale—Oppositions et autres alternatives

La conception de l'image mentale comme une manifestation cognitive à caractère quasi-perceptif a été contestée par un certain nombre de chercheurs en psychologie cognitive. Parmi ces chercheurs, Z. Pylyshyn (1981a) est un des plus représentatif.

3.3.1. Oppositions de Z. Pylyshyn (1981a, 1981b)

Les oppositions que Z. Pylyshyn a manifesté par rapport aux théories de la conception quasi-perceptive de l'image mentale portent principalement sur deux points. D'une part, il questionne au niveau méthodologique les travaux de recherche dont les résultats appuient ces théories et, d'autre part, il propose des activités cognitives qui récusent ces théories.

Au niveau méthodologique, Z. Pylyshyn (1981b) reproche aux travaux de recherche qui ont permis de concevoir l'image mentale comme quasi-perceptive d'avoir explicitement demandé aux personnes participantes à ces travaux de se former une image mentale pour répondre aux questions posées. D'après l'auteur, le seul fait de suggérer à une personne de se former une image mentale introduit un biais non négligeable dans le comportement cognitif de la personne et, par conséquent, les déclarations que cette personne peut faire par la suite. Suggérer la formation d'une image mentale peut, par exemple, rendre une personne consciente des distances à parcourir entre deux points de sa représentation mentale et se traduire dans ses déclarations par une lenteur de réponse proportionnelle à ces distances. Il est possible également que c'est ce qui s'était produit pendant la réalisation des travaux de recherche de S.M. Kosslyn relatifs au balayage d'images mentales mais cependant pas pour d'autres travaux.

En effet, les travaux de R.N. Sheppard et J. Metzler (1971) sur la rotation mentale n'incluaient pas dans leur protocole de recherche d'indications relatives à l'activation d'une image mentale et pourtant les personnes interrogées avaient déclaré avoir mis à contribution une image mentale. Z. Pylyshyn a d'ailleurs dû reconnaître récemment que

sa critique ne pouvait s'appliquer à tous les travaux de recherche réalisés sur l'imagerie mentale (Tye, 1991, p. 67).

Cependant, M. Tye (1991) va plus loin dans l'interrogation des méthodologies adoptées pour ces travaux de recherche et considère que les personnes qui prennent part à ces travaux pourraient aussi deviner les attentes des chercheurs. Ainsi, les personnes pourraient éventuellement « use their guesses to control their responses » (p. 65). Cette dimension de la méthodologie n'a pas été suffisamment considérée dans les écrits relatifs à l'imagerie mentale et reste donc en effet encore ouverte au débat.

Mais comme le remarque également M. Tye (1991), quelles que soient les observations critiques formulées par rapport à ces méthodologies, les résultats obtenus pendant ces travaux gardent toutefois un côté plausible, sinon « Why can't we see a four-dimensional cube ? » (p. 66-67). Puisque des cubes en quatre et en trois dimensions sont tous deux des constructions logiques de l'esprit pourquoi alors arrivons nous à imaginer seulement un cube en trois dimensions ? À la question de fond concernant l'absence des images mentales quasi-perceptives, la réponse ne peut donc être apportée uniquement par des critiques du niveau méthodologique.

Z. Pylyshyn (1981b) est partisan d'une conception alternative de l'imagerie mentale qui considère l'image mentale comme une description structurale. M. Tye (1991) en donne une définition en écrivant :

« A structural description of an object is simply a complex linguistic representation whose basic nonlogical semantic parts represent object parts, properties, and spatial relationships. The explicit representation of properties and spatial relations is one key difference between structural descriptions and quasi-pictures [...] Another key difference [...] arises with respect to syntax » (Tye, 1991, p. 61-62).

Ainsi par rapport à une conception quasi-perceptive de l'image mentale, cette conception alternative se caractérise principalement par deux points singuliers. Tout d'abord, dans une conception descriptive de l'image mentale, les propriétés et les relations spatiales entre les unités d'une représentation sont explicitées. Alors que dans une conception quasi-perceptive de l'image mentale ce sont les parties de l'image qui sont mises en relation, ici ce sont les unités constitutives de l'image qui sont considérées. Ce n'est plus une partie de l'image qui est à une certaine distance d'une autre mais c'est plutôt la définition de l'objet contenue dans une image, ou une de ses unités, qui est en rapport avec une autre unité de la représentation mentale (Tye, 1991, p.61).

Le deuxième point singulier de la conception descriptive de l'image mentale concerne la syntaxe. Une description structurale de l'image mentale suppose une syntaxe, non pas

celle d'un langage courant mais cognitive, qui met en relation les unités d'une représentation mentale entre elles. Selon cette conception de l'image mentale deux objets ayant les mêmes unités, et donc la même syntaxe, mais pas décrites dans un même ordre syntaxique sont des objets différents. Une image quasi-perceptive ne connaît pas cette distinction syntaxique.

Z. Pylyshyn apporte deux arguments forts pour soutenir sa conception descriptiviste de l'image mentale (Tye, 1991, p. 68-70). Le premier concerne les résultats d'un travail de recherche impliquant de jeunes enfants âgés de quatre ans à qui un tube à essai rempli d'un liquide et incliné d'un certain angle a été présenté. Lorsque les enfants ont reproduit au moyen d'un dessin ce qu'ils avaient observé, les dessins obtenus représentaient en effet un tube à essai incliné mais dont la ligne délimitant le liquide était perpendiculaire aux parois de ce tube. D'après Z. Pylyshyn, parce que les enfants à l'âge de quatre ans ne connaissent pas encore les principes géocentriques, leur conception du tube à essai rempli d'un liquide ne pouvait donc être semblable à celle d'une personne adulte.

L'autre argument avancé par Z. Pylyshyn est relatif à la mnémonique et est illustré au travers de la mémorisation d'un échiquier. L'auteur part de l'idée qu'un joueur d'échec expert pourrait avoir plus de facilité qu'une autre personne à mémoriser une disposition de pièces d'échec sur un échiquier. Après un travail de recherche, il constate cependant, que lorsque la disposition des pièces sur un échiquier est aléatoire et ne correspond plus à une logique de jeu, les experts tout comme les autres personnes ont tous les mêmes difficultés à reproduire la disposition qui leur avait été présentée initialement. D'après Z. Pylyshyn, si les joueurs d'échec experts se construisaient effectivement une image mentale quasi-perceptive de la disposition, il n'y aurait alors aucune explication qui puisse justifier que les experts n'arrivent pas à reproduire une disposition aléatoire des pièces d'un jeu. Ce résultat amène alors l'auteur à penser que l'expertise d'un joueur d'échec ne peut donc venir que d'une description structurale évoluée de l'échiquier acquise dans l'action du jeu et non d'une compétence à mettre à contribution une collection d'images mentales à caractère quasi-perceptif.

Z. Pylyshyn n'est pas seul à défendre une conception descriptiviste de l'image mentale. Parmi les défenseurs de cette conception, il y a également G. Hinton (1979a, 1979b) qui formalise un peu plus sa compréhension de l'imagerie mentale.

3.3.2. La description structurale d'après G. Hinton (1979a;1979b)

G. Hinton (1979a, 1979b), favorable à une description structurale, apporte une conception de l'imagerie mentale plus explicite que celle de Z. Pylyshyn. Pour G. Hinton (cité par M. Tye, 1991), l'imagerie mentale est principalement :

« [...] made up of viewer-centered information affixed to object-centered structural descriptions of objects' shapes » (p. 71).

G. Hinton conçoit l'imagerie mentale comme l'activation d'une composante appartenant à une description structurée hiérarchiquement et enregistrée dans la LTM d'une personne. Cette description structurale correspond à une sorte d'arborescence dans laquelle les unités sont liées entre elles par des informations concernant leur localisation, leurs distances relatives et leur position angulaire.

Simplifiée et reportée à une partie de bâtiment par exemple, la description structurale hiérarchisée de G. Hinton pourrait être illustrée par le schéma inscrit en figure 9. Ainsi, lorsqu'une personne imagine une pièce, disons A, elle choisirait un point de vue donné et fixerait son attention sur le nœud de l'arbre correspondant à la pièce A de cette partie de bâtiment. Elle activerait ensuite, selon ses besoins, les branches subséquentes au nœud en leur appliquant les paramètres d'un nouveau point de vue choisi. De cette façon, cette personne disposerait d'une description articulée de la pièce du bâtiment qui l'intéresse et pourrait la considérer pour en reconnaître les unités constituantes dont elle pourrait avoir besoin pour son raisonnement. L'image en tant que manifestation quasi-perceptive est bien entendu exclue de cette conception et seules les unités de la description et leurs relations seraient prises en compte pendant un processus d'imagerie mentale.

Bien que la théorie proposée par G. Hinton permet d'intégrer et d'articuler plusieurs des résultats observés par les tenants de la conception quasi-perceptive de l'image mentale, M. Tye (1991) relève au moins deux réserves quant à sa recevabilité. La première est relative à l'incapacité de la théorie d'expliquer le recours à l'imagerie mentale pour la réponse à des questions du type : « Combien de fenêtres sont disposées sur la façade de votre maison ? ». En supposant qu'une personne dispose effectivement en mémoire d'une description structurale hiérarchisée de sa maison ou de la façade alors elle n'aurait besoin

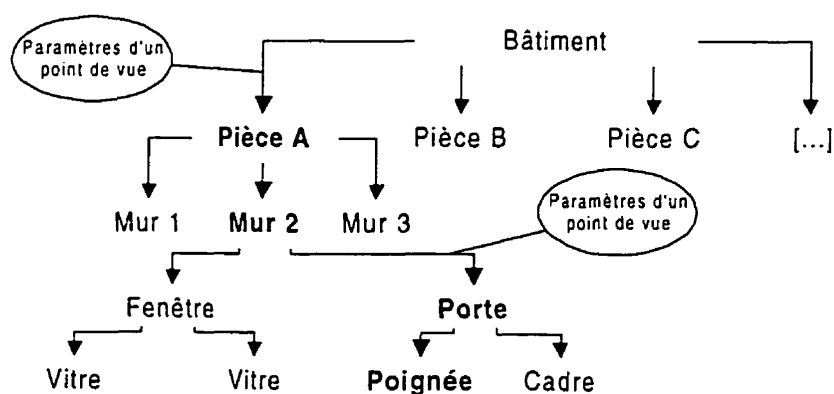


Figure 9 : Interprétation d'une description structurale pour un bâtiment

que de fixer son attention sur le nœud correspondant au regroupement des fenêtres et compter les branches subséquentes pour apporter sa réponse. L'image mentale comme phénomène quasi-perceptif ne serait donc point nécessaire et pourtant elle est mise à contribution comme l'indiquent les personnes qui devaient répondre à ce type de questions.

La seconde réserve formulée par M. Tye (1991) concerne le balayage d'images mentales. D'après l'auteur, si une information est directement accessible à partir d'une description structurale, comment est-il alors possible d'expliquer que des personnes peuvent balayer une image mentale pour trouver une information ? En présence d'une description structurale, une personne n'aurait besoin que de parcourir les branches de sa description mentale pour retrouver une information. Elle n'aurait nul besoin de considérer la spatialité de la configuration désignée par cette description. Or, pour répondre aux questions posées par S.M. Kosslyn (1980) ou A. Paivio (1978) relatives aux positions d'unités de configurations spatiales particulières, les personnes interrogées disaient toutes avoir eu recours à une forme de représentation mentale qui traduit un espace bidimensionnel, une surface, une image. Lors de raisonnements faisant appel à des configurations spatiales étendues, la question à savoir si une description structurale est mise à contribution et comment elle le serait reste encore sans réponse convaincante.

Le débat sur l'imagerie mentale se poursuit. Les opposés aux théories relatives à l'image mentale quasi-perceptive alimentent le débat non pas en réfutant la totalité des concepts que ces théories mettent de l'avant mais en soulignant plutôt leurs limites et les concepts manquants. Lorsque Z. Pylyshyn (1981b) avance ses arguments pour soutenir le caractère descriptif structural des images mentales, il ne contredit pas totalement le caractère spatial des images mentales mais considère plutôt des concepts qui ne sont pas pris en charge par ces théories qui s'attachent principalement aux aspects spatiaux d'une représentation mentale. G. Hinton (1979a, 1979b) qui a articulé plus en détail la théorie esquissée par Z. Pylyshyn (1981b) traduit cet intérêt à compléter les théories de l'imagerie quasi-perceptive lorsqu'il essaye d'expliquer la formation d'une image mentale (Tye, 1991). G. Hinton s'intéresse à la formation et à la structuration des unités d'une représentation mentale à des fins de raisonnement mais n'aborde pas le caractère visuel qui pourrait être attaché à cette représentation.

Même si le débat n'est pas clos, les travaux de recherche réalisés et les théories avancées permettent de dégager une compréhension relative à au moins trois aspects de la représentation mentale. Tout d'abord, la représentation mentale qu'une personne peut se constituer d'une configuration spatiale pourrait reproduire d'une façon analogue ce que la personne perçoit, visuellement au moins, dans le monde tangible. Ensuite, cette représentation est stockée en mémoire, la LTM, et pourrait servir et de support à la formation

d'une image à caractère visuel et au raisonnement sur le contenu de cette image. Finalement, en fonction de ses besoins, une personne pourrait activer cette représentation mentale sous une forme quasi-perceptive pour retrouver une information non explicitée dans ce qui est déjà stocké sous une forme littérale dans la LTM. L'image mentale pourrait donc à la fois être formée d'unités structurées et servir à la définition d'une nouvelle structure de ces unités en fonction des besoins de l'action d'une personne.

Pour compléter la compréhension de l'imagerie mentale, examinons maintenant comment cette représentation pourrait être élaborée à partir d'un organe visuel, l'œil, et de plus s'inscrire dans une conception plus globale de la cognition d'une personne.

3.4. La vision et un modèle mental

La vision est un processus qui permet à une personne d'acquérir des informations pour la constitution d'une représentation mentale du monde qui lui est extérieur. D. Marr (1982) a développé une théorie pour expliquer comment une personne pourrait mettre à contribution sa vision pour interagir avec le monde extérieur.

3.4.1. La vision d'après D. Marr (1982)

Une des théories les plus modernes de la vision a été formulée par D. Marr (1982) dans l'ouvrage intitulé *Vision*. D. Marr (1982) part de l'idée que l'étude de la vision doit non seulement inclure :

« [...] the study of how to extract from images the various aspects of the world that are useful to us, but also an inquiry into the nature of the internal representation by which we capture this information and thus make it available as a basis for decisions about our thoughts and actions » (p. 3).

L'auteur considère donc la vision comme un processus double d'acquisition d'une information brute (sous forme d'intensités lumineuses) et de son interprétation en une représentation mentale pouvant servir à des fins de raisonnement et d'action. Il distingue trois étapes pour la dérivation d'une représentation mentale pendant une perception visuelle d'une configuration physico-spatiale. Dans ce qui suit, ces étapes sont présentées de façon linéaire mais en fait elles sont imbriquées les unes aux autres.

En résumé, d'après D. Marr (1982), au début une image « sensorielle » est constituée sur la rétine de l'œil d'un observateur depuis la réception d'une intensité lumineuse émise par une scène. À partir de cette image sensorielle, la première étape consisterait à produire une première esquisse (*primal sketch*) en rendant explicite l'information bidimensionnelle qu'elle contient. Il s'agit de la pondération et de l'arrangement d'une information brute reçue en fonction du point de vue considéré et de la distance de la personne à la scène. La

deuxième étape serait l'élaboration d'une esquisse en deux dimensions et demi (2½D) qui rend explicite l'orientation (du point de vue de l'observateur) et la profondeur brute des surfaces visibles et des contours de la scène. C'est à cette étape que s'achèverait le processus d'acquisition d'informations purement sensorielles. L'étape qui suit permettrait ensuite de former une représentation tridimensionnelle (3D) de la scène. Cette représentation serait un modèle mental indépendant du point de vue de l'observateur et serait élaborée à partir à la fois de l'esquisse en 2½D précédente et d'une connaissance stockée en LTM. Ce modèle 3D serait une représentation modulaire hiérarchisée qui décrirait les objets, leur forme et leurs relations spatiales (Marr, 1982, p. 330).

3.4.2. Vision et imagerie mentale

Par rapport à la théorie de D. Marr (1982), les conceptions de l'imagerie mentale de Z. Pylyshyn et de G. Hinton s'inscrivent donc facilement par rapport au modèle 3D formé à la troisième étape du processus de vision. En effet, et G. Hinton est plus explicite là-dessus que Z. Pylyshyn ; une description structurale de l'image mentale est une décomposition hiérarchisée de la scène en unités séparées ayant chacune sa définition de forme et maintenant avec les autres unités des relations spatiales. Apparemment, la seule différence majeure entre le modèle 3D de D. Marr et la description structurale de G. Hinton se trouve dans le supplément d'information concernant la localisation des objets par rapport à l'observateur qui est attaché aux unités dans la conception descriptionniste de l'image mentale. M. Tye (1991, p. 83) remarque qu'étant donné la proximité des deux conceptions, il n'est pas étonnant de constater que des parallèles frappants aient été découverts entre l'imagerie mentale et la vision.

Quant à la conception de S.M. Kosslyn (1980) concernant l'image mentale, elle peut être plutôt rapprochée de l'esquisse 2½D de D. Marr. En effet, l'image quasi-perceptive et l'esquisse 2½D partagent toutes les deux des similitudes au niveau de la surface puisqu'elles considèrent des parties de la scène perçue et non pas les unités présentes. Cependant, une des principales différences entre les deux conceptions, comme le souligne M. Tye (1991, p. 83), se situe au niveau du contenu symbolique des cellules dans la conception 2½D de D. Marr. Comme ce contenu symbolique n'a pas de rapport direct avec notre recherche, nous ne développerons donc pas ces différences ici. Examinons plutôt comment D. Marr entend la reconnaissance d'objets pendant la vision d'une scène.

3.4.3. Reconnaissance d'objets

D. Marr (1982) distingue trois facteurs qui pourraient rendre la reconnaissance d'objets possible. Le premier facteur se rapporte à la forme d'un objet. D'après l'auteur, pour pouvoir reconnaître un objet, sa forme doit être décrite de façon canonique, c'est-à-

dire selon les principaux axes qui rendent l'objet identifiable. Pour illustrer cette idée, D. Marr (1982, p. 299) propose de considérer des figurines d'animaux réalisées au moyen de simples tiges indiquant uniquement les principaux axes géométriques de chaque animal. Le deuxième facteur qui interviendrait dans la reconnaissance d'objets est un modèle mental dont disposerait une personne en mémoire. Ce modèle mental serait un catalogue de modèles d'objets eux-mêmes décomposables en plusieurs sous modèles jusqu'à atteindre un certain niveau de détail. Ce catalogue de modèles comprendrait plusieurs niveaux de sous modèles dont le plus élevé serait une forme générique générale et, le plus bas, une composition de formes plus précises (voir D. Marr, 1982, p. 319). Finalement, le troisième facteur qui pourrait affecter la reconnaissance d'objets, d'après D. Marr, concernerait des processus d'appariement du modèle 3D d'un objet perçu visuellement avec un modèle de ce catalogue. Il s'agit en gros de retrouver par homologie des informations comparables dans les deux modèles et de retenir le modèle du catalogue le plus proche de celui qui vient d'être construit. Le modèle retenu serait ensuite exploité pour la reconnaissance des autres parties de l'information nécessaire à la reconnaissance de l'objet au complet. Cependant, ces processus d'appariement sont complexes et encore mal compris.

Pour P.N. Johnson-Laird (1993), le modèle mental de l'homme et les processus d'appariement de ce modèle avec le modèle 3D doivent être beaucoup plus complexes que ce que D. Marr a envisagé. Il écrit :

« De nombreux objets usuels [...] ne possèdent pas de forme canonique. Un observateur humain peut reconnaître un objet comme étant une table, même s'il a une forme différente de toutes les tables qu'il a vues antérieurement. Il l'aura identifié, non pas grâce à une quelconque caractéristique intrinsèque de sa forme tri-dimensionnelle, mais parce que son aspect, ses dimensions et ses autres propriétés perceptives sont perçues comme adaptées à un objectif particulier » (Johnson-Laird, 1993, p. 2).

En fait, c'est toute son expérience qu'une personne peut mettre à contribution pour reconnaître des objets. Une personne peut inférer une information à partir de la forme d'un objet mais également à partir d'autres informations qui ne sont pas encore très bien connues. C'est un modèle mental plus général que le catalogue de modèles proposé par D. Marr qui pourrait être impliqué pendant cette reconnaissance. La reconnaissance d'objets par une personne pourrait aussi dépendre de la nature et des objectifs de l'action que cette personne peut considérer pendant la vision.

3.4.4. Le modèle mental de P.N. Johnson-Laird (1983; 1993)

P.N. Johnson-Laird (1983) a avancé une théorie de la cognition humaine, la théorie des modèles mentaux, plus globale et complexe que toutes celles présentées jusqu'ici.

Cette théorie « représente un programme de recherche étendu qui intéresse différents domaines des sciences cognitives » (Cavazza, 1993, p. 139). Par sa théorie, P.N. Johnson-Laird a essayé de conserver la complexité de la cognition chez une personne en évitant de simplifier ou de favoriser un aspect de cette cognition plutôt qu'un autre. Selon cette théorie, un « *modèle mental* est une représentation interne d'un état de choses (*state of affairs*) du monde extérieur »¹ construit sur la base de la perception (Johnson-Laird, 1993, p. 1). Une personne met à contribution ce modèle mental, le transforme au gré des inférences pour le raisonnement et l'action. Le raisonnement ne dépend plus de règles formelles comme celles qui opèrent en linguistique. Le raisonnement relève dans cette théorie « de la compréhension de significations et de la manipulation de modèles mentaux fondés sur ces significations et sur les connaissances générales » (Johnson-Laird, 1993, p. 19).

M. Denis et M. de Vega (1993, p. 89) situent les images mentales et les modèles mentaux dans la même grande classe des représentations analogiques. Cette catégorisation vient du fait que tant les images que les modèles mentaux peuvent entretenir une relation de ressemblance avec le monde extérieur à une personne. Cependant, ils se distinguent au plan fonctionnel par des propriétés intrinsèques, qui les placent d'ailleurs à un niveau hiérarchique différent. Les modèles mentaux sont des représentations relativement plus abstraites et complexes qui incorporent une connaissance dépassant la seule référence à l'espace et son contenu physique pour inclure des dimensions plus générales de nature psychosociales comme les émotions ou encore les intentions d'une personne. Selon la théorie de P.N. Johnson-Laird, l'image mentale (visuelle) est spécialisée dans la représentation de configurations strictement spatiales et remplit une double fonction; elle contribue à la « formation » d'un modèle mental et elle fournit une « instanciation » de ce modèle mental (Denis et de Vega, 1993, p. 87-88). De ce fait, écrivent M. Denis et M. de Vega (1993) :

« L'image [mentale] nous paraît devoir être conçue davantage comme un *instrument de figuration* mis au service de la modélisation mentale, plutôt que comme une *sorte de modèle* à proprement parler » (p. 90).

Une image mentale peut donc servir à une personne pour interroger et pour développer un modèle mental en permettant de restituer son contenu de façon perceptible. Elle serait un instrument de figuration au service d'un modèle mental permettant d'examiner et de traiter ce modèle mental. Le résultat qui découle de cet exercice cognitif peut transformer le modèle mental. Mais un processus d'imagerie peut aussi requérir une certaine habileté cognitive chez une personne.

¹ En anglais dans le texte.

Comme l'image mentale est un instrument au service d'une modélisation mentale, l'imagerie mentale peut donc également impliquer un savoir-faire, une façon de considérer et d'agir sur une image mentale. Une image mentale et son traitement peuvent demander certaines qualités cognitives chez une personne qui met à contribution cette image pour son raisonnement. Elle peut permettre des transformations analogues à celles qui peuvent être réalisées sur un objet dans le monde tangible et donc possiblement faire appel à une habileté comparable. Cette capacité d'imagerie semble en effet pouvoir être observée chez une personne ; elle est même variable d'une personne à une autre comme le font ressortir des travaux de recherche consacrés à la compréhension de textes.

Par exemple, M. Denis (1991) a proposé à des personnes présentant des capacités d'imagerie différentes de lire deux textes relatifs à une même configuration spatiale, l'un dont le récit était structuré de façon linéaire et l'autre, quasi aléatoirement. En comparant les temps de traitement des phrases des personnes interrogées, les résultats ont laissé apercevoir que plus la capacité d'imagerie est élevée chez une personne, plus le temps de traitement des phrases l'est aussi, quelle que soit d'ailleurs la structure du récit considérée.

Si l'imagerie mentale est en effet fonction d'une capacité d'imagerie variable d'une personne à une autre et sert à la formation d'un modèle mental, cela implique alors que le modèle mental peut à son tour être fonction de la capacité d'imagerie de chaque personne.

En introduisant sa théorie des modèles mentaux, P.N. Johnson-Laird (1983) apporte en fait une conception de la cognition humaine où l'imagerie mentale devient un des moyens contribuant à la formation d'un modèle mental. D'autres moyens comme la vision, le raisonnement ou encore les états affectifs pourraient aussi participer à la formation d'un modèle mental. L'image mentale ne devient alors, pour une personne, qu'un instrument parmi d'autres pouvant être mis à contribution pour la perception du monde extérieur et le travail intérieur sur le modèle mental. L'imagerie mentale peut, de cette façon, être considérée comme une activité mentale qui sert d'autres processus cognitifs tout en étant servie par eux. Une image mentale peut donc être comprise comme le résultat d'un processus d'imagerie mentale lui-même dépendant de divers autres processus cognitifs et états affectifs.

Implications de notre étude des recherches en psychologie cognitive

En guise de conclusion, on peut affirmer que l'imagerie mentale et son produit, l'image mentale, peuvent donc être considérés comme des événements cognitifs qui se situent aux confluent de processus mentaux complexes comme la vision¹ et la constitution

¹ Ou d'autres processus faisant intervenir des modalités sensorielles différentes comme l'olfaction ou l'audition par exemple.

et le traitement de modèles mentaux, par exemple (Qin et Simon, 1990). D'après les travaux de recherche en psychologie cognitive que nous venons de voir, l'imagerie mentale peut servir ces processus et être servie par ceux-ci. Son produit, l'image mentale, peut être déterminée par ces processus et, à leur tour, ces processus et leurs produits peuvent être déterminés par cette image.

À partir de cette compréhension de l'imagerie mentale et de son produit, basée sur l'étude des travaux de recherche que nous avons effectuée, il est possible de voir des implications pour la conception d'un moyen destiné à la communication en architecture. Si ce moyen peut servir à un acteur d'un processus de conception afin qu'il se construise une image mentale d'une solution architecturale dans le but de la transformer, alors deux principales implications peuvent être soulignées :

- *Une figuration tridimensionnelle de la forme*

La première implication est relative à la géométrie d'une solution architecturale. La forme de la solution peut devoir être figurée en trois dimensions. Au moins quatre idées complémentaires, parmi celles que nous venons d'étudier, permettent de plaider en faveur d'une figuration tridimensionnelle d'une solution architecturale.

Tout d'abord, il y a l'objectif qu'une personne peut poursuivre pendant sa vision d'un objet. Nous avons vu qu'une personne peut viser la construction d'un modèle mental 3D d'un objet à partir d'une image sensorielle formée sur la rétine de son œil (Marr, 1982). Une figuration 2D d'un objet peut alors rendre cette construction plus ardue parce qu'elle peut nécessiter des processus mentaux supplémentaires (passage du 2D au 3D).

Ensuite, il y a un « isomorphisme structural » entre les produits de la perception visuelle et de l'imagerie mentale (Denis, 1989). Pendant la formation d'une image mentale, une personne peut essayer d'organiser l'information relative à un objet de la manière que celle-ci est disposée dans l'objet. Pour cela, elle peut avoir besoin de prendre l'information relative à un objet comme si cette information était visible dans le monde matériel, en ayant la possibilité de l'apprécier à partir de différents points de vue.

Un autre point qui incite à figurer une solution architecturale en trois dimensions est la façon dont une personne peut considérer la résolution de problèmes à caractère spatial. Nous avons vu qu'une personne peut se représenter mentalement des problèmes relatifs à des configurations spatiales en trois dimensions et cela même lorsqu'une représentation bidimensionnelle peut suffire (Cooper, 1988, 1991). Étant donné qu'en architecture la majeure partie des problèmes à résoudre est à caractère spatial, une figuration en 2D peut donc embarrasser la résolution de ces problèmes (puisque'il y aura toujours le besoin de passer en 3D).

Enfin, un dernier point est celui relatif à la capacité d'imagerie des personnes. Celle-ci peut varier d'une personne à une autre et, de ce fait, peut entraîner chez différentes personnes la formation de modèles mentaux différents pour une même solution architecturale (Denis, 1991). Une figuration en 3D permet à une personne de se libérer du besoin d'avoir recours à cette capacité et, par conséquent, réduit les possibilités de formation de modèles mentaux différents pour une même solution.

- *Une figuration de la structure de la forme*

La seconde implication pour un moyen destiné à la communication en architecture se rapporte à l'organisation de l'information relative à une solution architecturale. Pour se constituer une image mentale à des fins de raisonnement (et donc de pouvoir transformer une solution), une personne a besoin de comprendre la façon dont la forme d'une solution est structurée. Au moins quatre des théories discutées dans ce chapitre réfèrent à une imagerie mentale chez une personne pendant laquelle une structure de l'information contenue dans cette image est considérée.

Ainsi, pour S.M. Kosslyn (1980), la formation chez une personne d'une image mentale quasi-perceptive est réalisée à partir d'une information stockée dans sa LTM, sous des représentations propositionnelle et littérale. Z. Pylyshyn (1981b) et G. Hinton (1979a), ont compris l'image mentale comme une description structurale qui suppose une syntaxe permettant l'établissement de liens entre des unités de cette image. De même, D. Marr (1982) explique la reconnaissance d'objets à partir d'un appariement entre une forme perçue et celles d'un catalogue de modèles hiérarchisé. Enfin, P.N. Johnson-Laird (1993) a compris l'image mentale comme un instrument qui contribue à la « formation » d'un modèle mental et qui fournit une « instanciation » de ce modèle.

Finalement, notre étude des recherches en psychologie cognitive nous indique qu'une personne peut avoir besoin de voir la structure de la forme tridimensionnelle d'une solution architecturale. Examinons à présent comment chaque personne peut considérer ses processus mentaux pendant des transactions dans un environnement physique. Autrement dit, voyons comment une personne peut comprendre un environnement physique en fonction de fins et de ce qui peut la particulariser, comme ses connaissances ou ses expériences.

CHAPITRE 4 : Psychologie de l'environnement et appréciation

En psychologie de l'environnement, ce sont les transactions d'une personne avec son milieu de vie physique qui sont à l'étude (Gifford, 1987, p. 2). Plus précisément, la psychologie de l'environnement a pour objet d'étude les processus qui permettent à une personne de comprendre et d'interagir avec différentes dimensions d'un environnement physique. Son objectif est défini par R. Gifford (1987) comme suit :

« Environmental psychology includes research and practice aimed at using and improving the process by which human settings are designed » (p. 2).

L'objectif est donc double. Il s'agit tout d'abord de comprendre les phénomènes pouvant être impliqués dans la transaction d'une personne avec son environnement physique et, ensuite, d'intégrer cette compréhension pour l'amélioration d'un processus de conception d'environnements physiques futurs. Pour atteindre cet objectif, les travaux de recherche en psychologie de l'environnement essaient de tenir compte de la complexité des phénomènes impliqués dans ces transactions en menant des expérimentations dans l'environnement physique avec des personnes en action. Notre recherche exploratoire (voir pp. 65 à 68) nous a permis d'éclairer les aspects centraux de ce domaine.

Nous avons démontré au chapitre précédent grâce à notre recherche que les travaux de recherche en psychologie cognitive permettent de mieux comprendre la façon dont une personne peut prendre connaissance d'un univers d'objets. Dans ce chapitre et sur une base analogue, nous montrerons comment la psychologie de l'environnement permet de mieux comprendre non seulement comment une personne peut mettre à contribution ses processus cognitifs pendant ses actions dans un environnement physique mais aussi comment elle peut être influencée par cet environnement jusqu'à dans sa vie intérieure la plus intime.

En premier lieu, la perception et la cognition d'une personne seront réexaminées en tant que processus d'interaction avec un environnement physique. Les principaux facteurs influents, associés tant à une personne qu'à un environnement physique, et susceptibles d'affecter la cognition et la perception d'une personne, seront mis en perspective. En deuxième lieu, on examinera les processus par lesquels une personne apprécie les qualités et les caractéristiques d'un environnement physique. Il s'agit de voir comment cette appréciation peut se produire en considérant quels sont les éléments qui interviennent dans sa formation. En troisième lieu les principales dimensions de l'appréciation reconnues en psychologie de l'environnement seront discutées, associées aux facteurs qui exercent une influence sur la cognition. Enfin, en dernier, nous présenterons les plus importantes

observations en psychologie de l'environnement concernant la simulation d'environnements physiques.

4.1. Perception et cognition d'un environnement physique

C'est W. Ittelson (1978), avec l'introduction du concept de perception environnementale (*environmental perception*), qui fut un des pionniers à remettre en question les travaux traditionnels sur la perception en psychologie, c'est-à-dire ceux qui s'attachent à étudier la perception d'un objet isolé. L'idée de W. Ittelson était de proposer l'étude de la perception, non pas en mettant uniquement l'emphase sur les propriétés d'un stimulus isolé à la fois, telles la couleur ou la profondeur d'une pièce par exemple, mais en considérant le processus de perception dans toute sa complexité. Il s'agissait de considérer en même temps le rôle et les particularités de la personne qui perçoit l'environnement et les caractéristiques de cet environnement telles que perçues. La cognition chez une personne a également été considérée de la même façon et a permis, par exemple, de mieux comprendre comment des personnes peuvent établir certains choix et certaines préférences parmi différents environnements physiques (Kaplan, 1988). On parle alors de travaux sur la cognition de l'environnement (*environmental cognition*) par opposition à l'étude de la cognition tout court.

4.1.1. Perception d'un environnement physique

L'étude de la perception d'un environnement physique est difficile à cause de la présence simultanée d'au moins trois facteurs sensibles et indissociables ; selon R. Gifford (1987, p. 21-22) il s'agit (1) de la complexité de cet environnement, (2) du rôle et des particularités de la personne qui le perçoit, et (3) des objectifs ou des buts poursuivis par cette personne pendant qu'elle effectue la perception de cet environnement. Ces trois facteurs sont fortement interdépendants et peuvent influencer le produit de la perception.

Lorsqu'une personne perçoit un environnement physique, elle peut prendre connaissance d'informations composites, de niveaux différents, sous des angles multiples et dans des conditions diverses. L'échelle de l'environnement, sa ou ses formes, ses proportions, ses couleurs, l'activité ou la vie qui s'y déroulent, ses odeurs, ses dimensions, le niveau sonore, enfin tout ce qu'une personne peut discerner avec ses sens, sont autant de facteurs qui peuvent caractériser et influencer sa perception.

La littérature scientifique ne rapporte que très peu de travaux de recherche qui traitent des effets que les caractéristiques d'un environnement physique peuvent avoir sur la perception d'une personne qui observe cet environnement. Seuls quelques cas peuvent être mentionnés. À titre d'exemple, E.K. Sadalla et D. Oxley (1984) ont constaté que la

perception par une personne de la superficie d'une pièce peut être fonction de sa forme géométrique, rectangulaire ou carrée. De même, dans une autre étude, E.K. Sadalla et S.G. Magel (1980) ont noté que l'estimation de la longueur d'un chemin peut être proportionnelle au nombre de tournants qu'il comprend. Ailleurs, A.T. Purcell (1986) a constaté qu'un changement dans un environnement physique, comme une nouvelle construction, peut attirer l'œil plus que les autres caractéristiques de cet environnement.

Une personne qui perçoit un environnement physique peut faire partie de, ou être extérieure à celui-ci. Dans les deux cas, cette personne percevra cet environnement physique différemment car la scène lui est accessible sous des points de vue différents. Cependant, lors de ce rapport à l'environnement, les particularités de la personne peuvent également influencer sa perception. Pour ne prendre qu'un exemple, une personne handicapée en chaise roulante et une personne qui se déplace en position debout peuvent ne pas percevoir un environnement physique de la même façon. Leurs perspectives visuelles et la nature de leurs déplacements seront différents et, par conséquent, leur perception de la scène peut être variable.

Découvrir un environnement physique tout en étant à la fois en son sein et en mouvement, et ainsi percevoir des scènes successives sous des points de vue différents peut être important pour une personne qui veut comprendre cet environnement (Lozano, 1974). J.L. Nasar (1989b) souligne que le facteur de surprise ne peut être étudié sans la considération du mouvement d'une personne et que la vitesse de ce mouvement affecte ce qu'une personne peut retenir d'un environnement. R. Arnheim (1986) va jusqu'à affirmer que :

« [...] nous retenons rarement l'image d'une configuration spatiale, qu'il s'agisse d'une maison ou d'une ville, en regardant un plan ou une carte ou en regardant simplement autour de nous. Nous tirons principalement la connaissance de ce que nous observons à partir de nos déplacements fonctionnels » (p. 156).

Se mouvoir dans un environnement physique signifie qu'une personne découvre un espace à partir de différentes perspectives qu'elle n'aurait probablement pas pu percevoir autrement. Mais ce que R. Arnheim (1986) ajoute c'est le caractère fonctionnel de ce déplacement qui peut associer un but à l'action. Aussi, W. McGill et J.H. Korn (1982) considèrent que la perception a au moins deux raisons; une utilitaire et une esthétique. Alors que la raison utilitaire permet de diriger la perception vers des sources d'information susceptibles d'aider l'action d'une personne, la raison esthétique peut lui fournir une connaissance sur la nature de cet environnement.

Par contre, de l'extérieur, un environnement physique peut être perçu plus par rapport à ses attributs physiques que pour sa fonction intrinsèque. C'est la globalité, et non la particularité, d'un environnement physique qui peut être considérée. Le but utilitaire peut faire provisoirement place à la dimension du sens que l'environnement peut évoquer chez une personne qui s'intéresse à cet environnement. Le mouvement autour d'un environnement physique va permettre de consolider et d'enrichir la signification qu'une personne peut lui attribuer. Plus loin dans ce chapitre, nous reviendrons sur l'élaboration de cette signification.

Autrement dit, les particularités d'une personne qui peuvent affecter la perception d'un environnement physique peuvent aussi être celles liées à la cognition pendant la perception d'une scène de l'environnement. Cependant, en psychologie de l'environnement, la cognition est aussi étudiée séparément.

4.1.2. La cognition pendant la perception

C'est en effet dès le début d'un processus de perception que les particularités de chaque personne peuvent intervenir pour engendrer des compréhensions différentes d'un même environnement physique. La perception et la cognition sont deux processus qui s'influencent mutuellement.

J.L. Nasar et ses collaborateurs (1985), en étudiant la cognition d'un environnement urbain, ont remarqué que les femmes et les hommes pouvaient évaluer des distances différemment. La raison était que les deux genres pratiquaient des espaces à des échelles différentes. Alors que les femmes étaient plutôt centrées sur leur domicile à s'occuper de tâches ménagères, les hommes œuvraient, quant à eux, au niveau de la ville et s'y déplaçaient donc plus souvent. Dans un autre contexte, des constatations de même nature ont pu être rapportées.

J.J. Edney (1972) a réussi à établir que les personnes qui étaient restées le plus longtemps dans une pièce pouvaient trouver sa superficie inférieure par rapport aux personnes qui venaient juste d'y entrer. R.G. Hershberger (1968) a également pu vérifier que la profession de la personne qui perçoit d'un environnement physique (architectes vs. non architectes) pouvait avoir une influence sur sa perception de cet environnement.

Pour résumer les influences possibles sur la perception d'un environnement physique d'une personne, R. Gifford (1987) écrit :

« Available evidence suggests that perceptions of qualities like length and distance are largely dependent on which physical elements are in the scene and how they are arranged. But personal factors (such as perceptual ability or

finding a building pleasing), culture (such as being raised in a carpentered world), and training (for example, in architecture) also affect the very way we see the world » (p. 27).

R. Gifford (1987) souligne indirectement que les processus de perception et de cognition peuvent être fortement liés les uns aux autres. Par exemple, la culture ou l'expérience professionnelle mentionnées semblent nettement issues d'apprentissages impliquant des processus cognitifs pouvant engendrer des modèles mentaux différents chez les personnes. Comme nous l'avons d'ailleurs déjà vu avec la théorie avancée par D. Marr (1982), c'est en mettant à contribution ces modèles mentaux que les produits de la perception peuvent se distinguer par la suite d'une personne à une autre. A.T. Purcell (1984a, 1986) abonde également dans le même sens lorsqu'il remarque qu'une fois reconnu et interprété par une personne, l'environnement physique perçu permet aux personnes d'acquérir de nouvelles informations. Une information nouvelle, non visible directement dans l'environnement physique perçu mais disponible en mémoire d'une personne, est rapportée par les personnes interrogées sur l'environnement physique qui leur a été donné à voir.

4.1.3. Cognition spatiale

En psychologie de l'environnement, l'étude de la cognition humaine consiste à comprendre les facteurs qui peuvent participer à la constitution chez une personne d'une connaissance relative à un environnement physique et la façon selon laquelle ils agissent. Les chercheurs de cette discipline parlent plus volontiers de la cognition spatiale que R. Gifford (1987) définit ainsi :

« Spatial cognition concerns the way we acquire, organize, store and recall information about locations, distances, and arrangements in the physical environment » (p. 30).

La cognition spatiale est en rapport avec la connaissance qu'une personne peut établir sur son environnement physique, et plus particulièrement sur l'espace. Cette cognition spatiale peut différer d'une personne à une autre et plusieurs caractéristiques de l'environnement peuvent l'affecter (Moore, 1979). Cette différence peut être relative tant à la célérité avec laquelle cette connaissance peut être établie qu'à la justesse et la façon dont elle peut être organisée par une personne (Gifford, 1987).

En cognition de l'environnement, il est admis qu'une personne peut comprendre un environnement différemment non seulement par rapport à une autre personne mais aussi par rapport à une de ses propres compréhensions antérieures. G. Moore (1979) présente cette dynamique de la cognition en ces termes :

« People seem to differ not only in terms of *what* and *how much* they know but also they differ in terms of the way they *organize* what they know and they change overtime in clear developmental *stages*. The organism seeks not only to know its world but also to order this world, and change of organization occurs with change in amount of knowledge » (p. 43).

L'auteur mentionne qu'il peut exister plusieurs particularités d'une personne susceptibles d'influencer la cognition d'un environnement physique. La littérature scientifique rapporte de nombreux résultats relatifs à plusieurs de ces particularités dont les principaux sont exposés ci-dessous.

4.1.4. Particularités d'une personne pendant la cognition

Les principaux travaux de recherche qui ont porté sur les particularités d'une personne susceptibles d'influencer sa compréhension d'un environnement physique peuvent être regroupés sous cinq rubriques. Il s'agit (1) du développement ontogénique, (2) de l'expérience, (3) du genre, (4) du style de vie, de la culture et des valeurs d'une personne ainsi que (5) des erreurs cognitives qu'elle peut commettre.

Au niveau du développement ontogénique, c'est-à-dire la croissance depuis la naissance jusqu'à l'âge adulte avancé, une personne peut comprendre un environnement physique de différentes façons. On distingue généralement entre l'enfance (du bas âge aux environs de l'âge de 12-13 ans), l'adolescence, l'âge adulte et la vieillesse. Ce découpage est fonction du comportement et de l'état physiologique d'une personne qui se traduisent par différentes conditions de mobilité et de sensibilité face à un environnement.

C'est le modèle de Jean Piaget qui sert de référence à la première tranche de développement. Dans ce modèle, trois phases sont considérées : la première, l'*égocentrique*, où un enfant jusqu'à l'âge de cinq à six ans s'imagine au centre de l'univers et situe les objets par rapport à lui-même ; la seconde, la *projective*, où un enfant jusqu'à l'âge de huit ou neuf ans environ arrive à situer les composantes d'un environnement physique à partir de différentes perspectives ; et enfin, l'*abstraite*, où un enfant est capable de mettre à contribution, pour se situer dans l'espace, des concepts aussi abstraits que les repères euclidiens ou encore les points cardinaux.

Ces trois phases correspondent à des états physiologiques différents chez un enfant. Plus un enfant grandit et plus il développe des habiletés lui permettant de prendre une meilleure connaissance de son environnement. La critique fait généralement remarquer que, comme ces études ont été menées en laboratoire, certaines compétences cognitives spatiales des enfants ont été négligées et plusieurs travaux de recherche ont notamment

permis de démontrer qu'un enfant pouvait déjà posséder certaines des habiletés citées avant même d'appartenir aux tranches d'âge correspondantes (Moore, 1979).

Quant aux tranches d'âge supérieures, les résultats de recherches sont quelque peu manquants. Toutefois, R. Gifford (1987) signale qu'il est possible de faire deux constatations :

« [...] (1) with age, some spatial abilities decline, others do not, and some may even improve, and (2) older individuals rely on different spatial cues than younger individuals » (p. 35).

En fait, l'expérience accumulée et les intérêts développés au fil du vécu par les personnes des tranches d'âge supérieures conditionnent la cognition spatiale. Les environnements physiques peuvent être mémorisés différemment d'un adulte à un adolescent en fonction de la signification et de l'émotion qu'ils peuvent engendrer chez chacun d'eux.

L'expérience avec les lieux est un autre facteur susceptible d'affecter la cognition spatiale car elle peut permettre d'accroître la connaissance de la constitution de ces lieux. Cet accroissement est non seulement relatif à la somme des connaissances accumulées mais aussi à la différenciation et à l'intégration de celles-ci. Plus longtemps une personne est en contact avec un environnement physique donné, plus elle peut accroître sa connaissance de celui-ci, de distinguer et de structurer adéquatement ses unités constituantes (Appleyard, 1970).

La motivation à connaître un environnement physique peut aussi accélérer l'acquisition de connaissances relatives à celui-ci (Gifford, 1987). Elle peut être provoquée par différents besoins dont celui, par exemple, de vouloir s'orienter dans un bâtiment pour se rendre efficacement d'un lieu à un autre ou encore celui de vérifier l'adéquation d'une habitation aux besoins d'un ménage.

Au niveau du sexe d'une personne, là encore des différences de cognition ont été rapportées. Les quelques résultats disponibles indiquent cependant que ces différences proviennent, non pas de distinctions physiologiques entre l'homme et la femme, mais surtout de facteurs liés à l'éducation (Hart, 1979), au rôle social (Moore, 1979), et à l'expérience accumulée par les personnes (Evans, 1980). R.A. Hart (1979) a notamment découvert que parce que les personnes de sexe masculin jouent souvent en bas âge avec des modèles réduits de l'environnement (jeux de construction, forts, etc.), leurs habiletés cognitives spatiales, une fois adultes, peuvent être plus développées.

Un autre facteur important susceptible d'affecter la cognition spatiale chez une personne provient de son style de vie, sa culture et ses valeurs. Il est devenu aujourd'hui

plus clair que ce facteur composé peut influencer la conception d'un environnement physique (Moore, 1979; Rapoport, 1969). En ce sens, G. Moore (1979) écrit :

« [...] there are consistencies in environmental cognition within certain groups of people while there are radically different conceptions of space and entirely different meanings given to the city, to neighborhoods, and to the home by different socioeconomic groups » (p. 57).

Un groupe de personnes peut partager une conception semblable d'un espace et d'un environnement tout en s'éloignant de la conception d'un autre groupe de personnes. Ces personnes peuvent se regrouper non seulement parce qu'ils peuvent partager des croyances et une culture identiques mais également parce que leurs croyances ou leur culture peuvent être différentes de celles d'autres groupes de personnes. Cette conception de l'espace qu'elles partagent peut aller de considérations concrètes, fonctionnelles, à d'autres plus symboliques et abstraites (Moore, 1979). Évidemment, celles dites fonctionnelles sont relatives à l'usage d'un espace et celles dites symboliques se rapportent aux significations attachées aux espaces.

Enfin, les erreurs cognitives affectent la manière et l'exactitude avec laquelle une personne peut prendre connaissance d'un environnement physique. En cognition spatiale, deux types possibles de biais sont généralement reconnus comme pouvant causer des compréhensions erronées d'un environnement; (1) les biais euclidiens et (2) les biais dus aux positions relatives.

Dans le premier cas, une personne aurait tendance à se servir mentalement d'une sorte de grille orthogonale ou d'un repère euclidien pour situer les objets et les événements pouvant se produire dans un espace (Evans, 1980). Il peut alors arriver qu'une personne situe incorrectement un objet ou un événement par rapport à ce repère et qu'ensuite cela affecte les conclusions qu'elle peut établir pour cet objet ou cet événement. Dans le second cas, il s'agit d'une référence à des catégories mentales supérieures. Par exemple, une personne qui a réussi à situer deux objets dans deux pièces différentes peut établir la position relative entre ces objets à partir de la position relative de ces deux pièces. Cette inférence peut produire des résultats erronés si par exemple les catégories considérées (les deux pièces) sont déjà mal positionnées.

4.1.5. Influences d'un environnement sur la cognition

Le processus de cognition d'une personne peut aussi être influencé par l'environnement physique et social perçu. Les résultats des travaux de recherche de D. Appleyard (1969, 1970) illustrent cette influence.

D. Appleyard (1969, 1970) a essayé de voir pourquoi certains bâtiments étaient mémorisés par différentes personnes et a dégagé les trois plus importants facteurs suivants :

- (1) la *reconnaissance de l'usage*, ou qu'y fait-on ?,
- (2) la *visibilité*, ou où est-ce que c'est ?, et
- (3) la *forme physique*, ou à quoi ressemble-t-il ?

Les personnes qui avaient été interrogées par l'auteur disaient s'être intéressées à l'usage, la visibilité et la forme des bâtiments perçus. Ces résultats montrent que les personnes interrogées ont mémorisé une définition de certains bâtiments parce qu'elles ont réussi à reconnaître et donc à interpréter ces trois caractéristiques grâce à une observation de ces bâtiments. Dans une étude semblable, G.W. Evans (1980) a aussi identifié ces trois facteurs comme favorisant le rappel de bâtiments à Orange, en Californie. Ce qui semble donc se détacher de ces résultats c'est que la mémorisation d'un environnement physique est facilitée si son usage, sa localisation et sa forme sont facilement reconnaissables.

De plus, dans une autre partie de son étude, D. Appleyard (1970) fait également remarquer qu'il peut exister une relation directe entre les erreurs constatées sur les représentations cognitives extériorisées sur papier (dessins) et le fait de ne pas comprendre l'une des trois caractéristiques citées plus haut. Lorsque, par exemple, une des caractéristiques était incomprise d'une personne alors, dans son dessin, le bâtiment pouvait être mal défini ou être carrément omis.

En somme, la perception et la cognition d'un environnement physique sont deux processus intriqués et variables, fonctions à la fois des particularités de chaque personne et des caractéristiques de l'environnement physique considéré. Les particularités d'une personne, comme son expérience, sa culture, sa physiologie et ses intentions peuvent avoir une influence sur sa façon de comprendre un environnement physique qui est mémorisé à partir d'un usage, une visibilité et une forme physique.

Examinons à présent comment une personne peut évaluer un environnement physique.

4.2. Appréciation d'un environnement physique

Un environnement physique quelconque laisse chez la personne qui le perçoit une somme d'impressions. Lorsqu'une personne décrit cet environnement, elle peut alors y ajouter ces impressions. Elle peut dire par exemple, qu'un bâtiment est grand et beau, et qu'il convient à son statut social. Ou bien encore, elle peut dire, une pièce est trop sombre et qu'elle s'y sent mal à l'aise. L'appréciation d'un environnement physique est le processus qui permet à une personne de développer ces impressions.

4.2.1. Appréciation pendant la cognition et la perception

Une personne développe des impressions d'un environnement physique pendant qu'elle perçoit cet environnement. L'appréciation d'un environnement physique peut être comprise comme un processus parallèle et lié à la compréhension de cet environnement. Une personne peut essayer de comprendre un environnement physique en rapprochant ce qu'elle parvient à voir de cet environnement à ses expériences et vécus présents et passés. Ces expériences et ces vécus comportent et produisent des impressions.

A.T. Purcell (1986) écrit que :

« [...] ongoing experience is the result of a matching process between the characteristic of currently available particular instances and a representation stored in memory of the gist of previous similar experiences » (p. 3).

Pour essayer de décrire comment une personne peut faire l'expérience d'un environnement physique, l'auteur met en relation deux produits, celui de la perception et celui de la cognition. Pendant qu'une personne perçoit un environnement physique, elle met en rapport les caractéristiques perceptibles de cet environnement à une représentation en mémoire et le résultat de ce processus engendre chez elle une expérience de cet environnement.

Les impressions qui peuvent découler de cette mise en rapport de la perception et de la cognition participent au développement d'un état affectif ou émotionnel aussi appelé « affect¹ ». J.A. Russell et ses collaborateurs (1981) constatent après une série d'expériences menées sur le rapport entre l'appréciation et le processus perceptif/cognitif que :

« [...] the internal representation of [...] physical environments includes both affective and perceptual/cognitive components » (p. 276).

Ces auteurs concluent que la représentation qu'une personne peut se faire d'un environnement physique ne comprend pas uniquement une expression de la morphologie de cet environnement mais également une part d'impressions. Les impressions qui sont considérées pendant la perception/cognition d'un environnement physique peuvent être consignées dans la mémoire d'une personne au même titre que les résultats relatifs à la structure et les formes comprises pendant les processus cognitifs et perceptifs qui ont été engagés.

4.2.2. Compréhension de l'appréciation

Comme le processus d'appréciation d'un environnement physique est imbriqué et indissociable d'autres processus intérieurs à une personne, il est donc difficile d'essayer

¹ Terme employé en psychologie pour désigner l'émotion.

de le comprendre en le considérant séparément. Cependant, le produit de ce processus d'appréciation peut être exprimé par la personne lors d'une entrevue.

Lorsqu'elle est interrogée, une personne peut exprimer ses impressions relatives à un environnement physique. Par exemple, à une question comme « Qu'est-ce que c'est cet environnement physique ? », elle peut amener une description de cet environnement qui inclut ses impressions. Cependant, cette description peut varier en fonction des caractéristiques de l'environnement physique perçu mais également par rapport à la sensibilité de la personne interrogée de même qu'au vocabulaire qu'elle peut employer pour répondre à cette question.

L'appréciation d'un environnement physique peut donc être étudiée de deux points de vue différents. L'un peut consister à comprendre comment cette appréciation produit des impressions. L'autre peut revenir à reconnaître et à comprendre les dimensions constituantes des impressions produites.

Dans ce qui suit, nous allons tout d'abord exposer une théorie de l'appréciation proposée par A.T. Purcell en 1984. Cette théorie permettra de mieux comprendre le processus d'appréciation chez une personne en montrant comment l'expérience passée pourrait influencer cette appréciation et comment certaines des impressions pourraient être produites. Ensuite, un examen des principales impressions étudiées d'une personne permettra de distinguer les principaux facteurs de l'environnement physique susceptibles de les modifier.

4.2.3. Une théorie de l'appréciation

A.T. Purcell (1984a, 1984b, 1984c) a proposé une théorie de l'appréciation en s'inspirant du concept de schéma introduit par F.C. Bartlett en 1932.

À partir d'une série d'expériences menées sur la transmission des histoires entre des personnes, F.C. Bartlett avait inféré que l'être humain posséderait une organisation cognitive sous la forme de schémas ou schémata. Ces expériences, désormais classiques, l'avaient amené à soupçonner que des schémas sont composés des unités clés d'une histoire et que ces unités sont employées pendant le traitement de l'information concernant n'importe quel aspect de cette histoire. Depuis lors, ces schémas, qui font partie des systèmes de représentation dits propositionnels¹, ont été étudiés et leur existence appuyée par de nombreuses recherches. Elles ont aussi donné lieu à des catégories particulières de schémas tels les scripts, les scènes, etc. (voir J.M. Mandler, 1979).

¹ Les schémas sont souvent utilisés dans les recherches portant sur l'intelligence artificielle.

Un schéma est une représentation cognitive comportant des instances. Une instance est une description qui caractérise un objet, une idée ou un concept. À titre d'exemple, un objet « maison » peut être décomposé en des sous objets « ouvertures », « murs », « toit », et ainsi de suite. Pour chacun de ces objets et sous objets, l'instance peut être revue à tout moment et recevoir une valeur nouvelle. Une instance n'est pas figée dans le temps et peut être mise à jour quand cela devient nécessaire. Généralement, un objet possède des instances dites par défaut que seule une information nouvelle provenant de l'extérieur est capable de modifier. Une instance par défaut est une description qui est admise quand aucune autre n'est immédiatement disponible pour la réfuter. Par exemple, une maison, sauf indications contraires, pourrait être caractérisée pour une personne par des fenêtres et des portes en guise d'ouvertures. Si une nouvelle information telle la vue d'une porte patio ou d'une baie vitrée est recueillie alors le sous objet « ouvertures » est mis à jour et ses instances remplacées ou augmentées par la nouvelle information disponible.

A.T. Purcell (1984c) définit le concept de schéma ainsi :

« The concept of a schema [...] is a mental or cognitive organisation that deals with chunks of the world, that these chunks consist of parts and relations between parts which have attributes defining them and that there is a range of values of these attributes, similar to the default values in a computer program, against which a matching process compares the attributes of the parts and the relations of a current instance of a scene, script, etc. » (p. 31).

Lorsqu'une personne perçoit un environnement physique, elle comparerait donc les composantes de cet environnement aux instances d'un schéma disponible en sa mémoire qui se rapproche le plus possible de cet environnement, presque à la manière d'un programme d'ordinateur. Deux cas de figure pourraient alors se présenter. Le premier correspond à la situation où les composantes perçues concordent avec certaines instances d'un schéma mémorisé. Dans un tel cas, et grâce à des processus cognitifs particuliers (considérant des règles d'inférence, d'héritage, etc.), une personne déduirait une série d'informations nouvelles qui ne découleraient pas nécessairement des informations fournies par les sens. Ces informations supplémentaires seraient fournies par les instances du schéma en mémoire.

Le second cas de figure est relatif aux composantes qui ne trouvent pas leur équivalent parmi les instances du schéma en mémoire ou qui en sont trop différentes. Il s'agit de situations où une personne serait confrontée pour la première fois à un certain type d'information. Pour son traitement, cette information pourrait demander une attention particulière de la part de la personne. Cette personne aurait à l'examiner attentivement et à en dégager les composantes susceptibles de lui permettre de les rattacher à un schéma mémorisé. Une mise en attente s'opérerait alors généralement jusqu'à ce que cette personne

arrive à mieux identifier et à rattacher ces informations à une catégorie nouvelle pouvant les contenir. Pendant ce processus, cette personne peut tenter de situer chaque composante par rapport à la fois aux autres informations recueillies et au schéma général du monde dont elle disposerait déjà.

Après une série de travaux de recherche sur la façon dont une personne expérimente un environnement physique, A.T. Purcell (1984a, 1984b, 1984c) conclut alors que son expérience serait organisée selon un prototype. Il explique et écrit :

« [...] for any given category of environmental experience, a prototype example(s) will exist that will have most attributes in common with other members of the category and fewest attributes in common with other categories » (p. 4).

S'appuyant également sur le modèle des catégories proposé par E.H. Rosch et son collaborateur (1975), A.T. Purcell (1984c) considère que l'appréciation d'un bâtiment perçu est réalisée en comparant l'information qu'une personne a dégagé en percevant ce bâtiment avec la connaissance dont elle disposerait déjà et qui représenterait le mieux pour elle cette catégorie de bâtiments. Autrement dit, plus une composante se rapproche de l'instance du prototype associé, plus elle est jugée « positive » et, réciproquement, plus elle s'en éloigne, plus elle est évaluée « négative ». Les impressions, selon cette théorie, seraient alors en quelque sorte des manifestations de l'écart entre une instance du prototype et une information relative au bâtiment perçu.

La théorie avancée par A.T. Purcell (1984c) puise ses concepts à la même source que les théories de l'intelligence artificielle. Le concept de schémata est à la base de plusieurs systèmes experts. Les développements théoriques qui découlent de ces concepts pourraient donc omettre certaines dimensions de la cognition humaine qui ne peuvent être transcrites à l'aide d'un programme informatique. Par contre, cette théorie permet de considérer au moins deux concepts. D'une part, elle souligne que l'appréciation fait intervenir un processus de comparaison et, d'autre part, que ce processus pourrait produire de fausses impressions chez une personne. Outre la définition par une personne d'un modèle mental d'un environnement physique idéal ou répondant à ses finalités d'action, la façon selon laquelle cette personne peut donc prendre connaissance d'un environnement physique pourrait déterminer son appréciation de cet environnement. L'impression favorable ou hostile que la personne peut développer par rapport à un environnement physique peut alors dépendre de la façon selon laquelle un environnement physique est compris.

Pendant la formation d'une impression, A.T. Purcell (1984a, 1984b) ne prend pas en considération la vie affective d'une personne. Comme nous le verrons ci-dessous,

plusieurs travaux de recherche en psychologie de l'environnement ont pourtant montré que l'appréciation d'un environnement physique chez une personne peut aussi être liée à un certain nombre de dimensions de sa vie affective.

4.3. Dimensions affectives pendant la perception

Les dimensions affectives pendant la perception d'un environnement physique sont nombreuses : elles peuvent être exprimées lorsqu'on demande à une personne de décrire cet environnement. Chaque personne est concernée d'une certaine façon par l'environnement physique qui l'entoure et peut le manifester dans la description qu'elle peut en faire. Un poète et un ingénieur ne produiront sans doute pas une description semblable d'un environnement physique identique et utiliseront probablement des vocabulaires différents. Même si la même question est posée à ces deux personnes, à savoir par exemple « Quel est cet environnement physique ? », la première peut la comprendre comme « Comment te fait-il sentir ? ».

En psychologie de l'environnement, on s'est intéressé à ces descriptions de l'environnement pour essayer de comprendre les impressions engendrées chez les personnes qui perçoivent différents environnements physiques.

4.3.1. La recherche de descripteurs

Plusieurs travaux de recherche ont été menés pour tenter de reconnaître, à partir de descriptions, les principales dimensions de la vie affective d'une personne qui pourraient intervenir pendant son appréciation d'un environnement physique. Lors de ces travaux, des lexiques de descripteurs sous la forme d'adjectifs qualificatifs ont été développés. En demandant à des personnes d'utiliser ces lexiques pour décrire des environnements physiques, ces descripteurs ont pu être analysés. J. Vielhauer (1970), la première à l'origine d'une telle initiative en architecture, écrit que son objectif était :

« [...] the development of a lexicon of architectural descriptors that are relevant and meaningful and that can be used by non architects to describe physical environments » (p. 145).

Sa première idée était de définir des descripteurs susceptibles de traduire ce qui détermine la perception d'un espace bâti chez une personne. Le lexique devait permettre à la fois d'isoler les principales caractéristiques architecturales importantes pour des non-professionnels et de fournir aux professionnels un vocabulaire pouvant avoir un maximum de signification et d'intérêts pour les usagers potentiels d'un espace. À l'issue de sa démarche, une liste finale de 66 adjectifs bi-polaires (adjectifs positif/négatif; ex : beau-laid, grand-petit) a été établie.

En parallèle de la liste élaborée par J. Vielhauer, plusieurs autres ont également été développées par la suite¹. L'analyse et la comparaison de ces listes ont permis de constater que non seulement elles renferment plusieurs dimensions distinctes relatives à l'appréciation d'un environnement physique mais aussi que ces dimensions peuvent se recouper pour plusieurs des descripteurs enregistrés. À l'occasion de chaque nouvelle étude, on a tenté de dégager les dimensions qui semblent prédominantes et on a réussi à en proposer de nouvelles sensiblement différentes des autres. R. Gifford (1987, p. 52) attribue ces divergences en grande partie à ce que les personnes et les environnements physiques étaient différents d'où le fait que les descripteurs considérés pendant chacune de ces études étaient également différents.

L'intérêt pour la reconnaissance de dimensions générales provient du constat que dans d'autres disciplines, en linguistique notamment, il a été possible de les reconnaître distinctement à un niveau universel. C.E. Osgood et ses collaborateurs (1957) ont obtenu et vérifié la présence de trois dimensions (*evaluation*, *activity* et *potency*) pendant la description de différents stimuli tels les objets d'art, la musique ou encore les signaux sonores, et cela avec des groupes de personnes de cultures très différentes. Les recherches qui ont tenté d'établir une généralisation semblable pour les environnements physiques ont toutes échoué mais ont néanmoins permis d'identifier une série de dimensions nouvelles et différentes.

D'après R. Gifford (1987, p. 53-65), cinq dimensions significatives reviennent dans la plupart des études sur l'appréciation d'un environnement physique et concernent (1) la qualité et la préférence, (2) l'esthétique, (3) l'émotion, (4) la signification, et (5) l'intérêt. Ces cinq dimensions sont en réalité relatives à différentes manifestations de la vie affective d'une personne qui perçoit un environnement physique. L'examen des travaux de recherche en psychologie de l'environnement ayant porté sur ces dimensions permet de voir que ces dimensions se recourent² et que quatre principaux processus ont retenu l'attention des chercheurs : (1) l'établissement de préférences, (2) la formation d'émotions, (3) la définition de significations et (3) le développement d'un intérêt par une personne pour l'environnement physique qu'elle perçoit.

¹ Voir notamment D. Canter (1969).

² Pour J.A. Russell *et al.* (1981), une expérience esthétique d'un environnement physique dépend d'une somme d'émotions et pour A.T. Purcell (1984) « [...] the aesthetic experience is an emotional response to particular types of environmental stimuli [...] » (p.31). Quant à l'évaluation de la qualité d'un environnement physique, elle fait appel à la comparaison. Il s'agit d'une comparaison implicite entre différents environnements présents ou passés (Purcell, 1986). Pour l'établissement d'une préférence par contre, cette comparaison est explicite.

4.3.2. Établissement de préférences

Lorsqu'il s'agit d'établir une préférence pour un environnement physique, une personne compare explicitement plusieurs environnements physiques. S. et R. Kaplan (1982) ont porté une attention particulière à la préférence d'un environnement physique et écrivent que :

« [...] we have *preference* for environments that are more likely to enable us to meet our needs in the future » (p. 80).

Deux idées maîtresses se dégagent de cette constatation ; (1) il s'agit de pouvoir satisfaire des besoins et (2) cela au futur. La préférence pour un environnement physique peut donc impliquer pour une personne une projection dans le futur pour la satisfaction de besoins actuels ou anticipés. Une personne peut essayer de s'imaginer être en train de réaliser des actions ou être tout simplement immergée dans un environnement physique futur.

D'après ces mêmes auteurs, pour établir une préférence, une personne a également un fort désir de dégager une signification d'un environnement physique (*make sense*) et de s'y sentir engagé (*be involved*). Une personne peut préférer des environnements qui « offer promise of being involving and making sense », écrivent S. et R. Kaplan (1982, p. 80).

Cette promesse peut être interprétée différemment au présent et au futur. La conjugaison du présent avec le futur, et des deux états : engageant et significatif, pour un environnement physique ont amené S. et R. Kaplan (1982) à élaborer un cadre de travail décrivant la façon d'identifier une préférence. Ce cadre de travail est schématisé en figure 10.

La cohérence est relative à la facilité immédiate qu'une personne peut avoir à organiser mentalement un environnement physique ; la complexité réfère ici à la capacité de cet environnement à pouvoir soutenir l'intérêt d'une personne. La lisibilité est la caractéristique d'un environnement qui promet de ne pas désorienter une personne, c'est-à-dire qu'il est clairement agencé. Le mystère est la promesse qu'une information

	MAKING SENSE	INVOLVMENT
PRESENT OR IMMEDIATE	Coherence	Complexity
FUTURE OR PROMISED	Legibility	Mystery

Figure 10 : Cadre de travail pour l'étude de la préférence d'un environnement physique proposé par S. Kaplan et R. Kaplan (1982, p. 81).

additionnelle peut être obtenue par une personne si elle s'engage dans l'environnement physique considéré.

Théoriquement, plus la valeur de ces quatre facteurs est élevée et plus la préférence pour un environnement physique augmente. Mais il existe une limite à la valeur de ces facteurs, sinon l'effet contraire peut se produire. En effet, au présent, un environnement physique paraissant trop cohérent peut faire baisser sa complexité et au futur, un environnement promettant un agencement trop clair peut diminuer son élément de mystère (Kaplan et Kaplan, 1982).

4.3.3. Formation d'émotions

Une émotion est une valeur affective propre à chaque personne. Une personne qui perçoit un environnement physique peut exprimer son émotion lorsqu'on lui demande ce qu'elle ressent par rapport à cet environnement. Ainsi, lors d'un travail de recherche pendant lequel J.A. Russell et ses collaborateurs (1981) demandaient à un groupe de personnes de citer des adjectifs pouvant qualifier les émotions qu'un environnement physique suscite chez elles, ces chercheurs ont défini et présenté cette émotion ainsi :

« Every place has associated with it a mood. A place can make you react in an emotional way, or at least, it can create some feeling. Some places are exciting, others boring; some are terrifying, others relaxing » (p. 266).

Donc, pour chaque personne, un environnement physique peut être associé à une certaine ambiance. Chaque environnement physique peut évoquer chez chaque personne des impressions différentes comme le malaise, l'excitation ou l'angoisse, par exemple. Ces impressions que la perception d'un environnement physique peut engendrer chez une personne sont des émotions.

De par son caractère cumulatif et persistant l'émotion est une impression qui se distingue des autres impressions qu'une personne peut se former et a un impact à long terme plus important (Kuller, 1980). Préférer un environnement physique à un autre ou encore dire qu'il est beau est une réaction immédiate et n'a pas de conséquences fortes sur les impressions futures. Une émotion, par contre, est consignée et peut resurgir à d'autres occasions.

L'émotion peut conditionner la cognition et la cognition peut engendrer l'émotion (Kaplan, 1988). D'après les études réalisées par S. Kaplan (1988), certaines scènes d'un environnement physique peuvent être chargées de stimulus émotionnels critiques et par conséquent être évitées, mises à l'écart ou chéries par une personne pendant la perception. Dans d'autres cas, un échec, lorsqu'il s'agit de reconnaître un aspect d'un environnement

physique, peut susciter une confusion ou encore provoquer un intérêt particulier chez une personne. Parfois aussi, la facilité à reconnaître un aspect d'un environnement peut engendrer un sentiment de plaisir et de réconfort. L'émotion peut être engendrée à partir de la mémoire à long terme d'une personne ou pendant sa perception d'un environnement physique.

Le résultat d'une expérience émotionnelle ou affective d'un environnement physique peut être la combinaison de deux types d'émotions primaires à la fois, le plaisir (*pleasure*) et l'intérêt (*interest* ou *arousal*) (Kaplan, 1988; Russell *et al.*, 1981). J.A. Russell et ses collaborateurs (1981) qui ont étudié ces deux émotions primaires conçoivent que toute combinaison de ces deux types d'émotions respecte un ordre circulaire ; ils en ont établi un modèle qu'ils ont nommé *circumplex*. Ce modèle permet de situer différentes émotions engendrées par la perception d'un environnement physique par rapport à ces deux émotions primaires et, ainsi, de déterminer la part de chaque émotion primaire dans l'émotion étudiée¹.

L'émotion engendrée par la perception d'un environnement physique est aussi la dimension subjective qui s'ajoute au résultat de l'évaluation objective des caractéristiques physiques d'un environnement pendant le processus qui permet d'établir un choix parmi plusieurs environnements (Kaplan, 1988). La valeur de cette émotion, qui correspond aux niveaux d'intérêt et de plaisir que cet environnement peut susciter chez une personne, peut être déterminée à la fois par les caractéristiques de cet environnement et le processus qui permet de les évaluer. Plus l'intérêt et le plaisir sont importants et plus la préférence pour cet environnement peut être élevée. Pareillement, si une caractéristique d'un environnement physique rappelle à une personne une émotion passée critique ou si un échec à reconnaître une caractéristique de cet environnement se produit, alors l'émotion qu'il suscite peut être éventuellement affectée.

En somme, les études réalisées en psychologie de l'environnement et qui portent sur ces émotions indiquent qu'elle est une combinaison de plaisirs et d'intérêts. Ces émotions peuvent également conditionner les préférences chez une personne. Cependant, ce que les travaux de recherche en psychologie de l'environnement ne semblent pas mentionner c'est la part d'autres émotions chez une personne dans la formation d'un ensemble d'émotions relatives à un environnement physique. Ces travaux ne considèrent

¹ Ce modèle a été considéré pour comprendre comment différentes émotions d'une personne face à un environnement physique peuvent être inscrites par rapport à ces deux émotions primaires et quelles sont les relations entre ces émotions (Hull IV et Harvey, 1989; Gifford, 1987). Il a ainsi été possible de remarquer, par exemple, que le plaisir provoqué par la perception de scènes d'une ville dépend beaucoup plus de facteurs auditifs que visuels tandis que l'intérêt qu'elles peuvent susciter chez une personne dépend des deux facteurs de la même façon (Gifford et Ng, 1982; Gifford, 1987).

pas comment, par exemple, un deuil ou un enchantement dans la vie d'une personne qui perçoit un environnement peuvent intervenir dans la formation d'une émotion relative à cet environnement. Comme chez une personne l'émotion peut aussi être engendrée par autre chose qu'un environnement physique, les expériences esthétiques, les préférences et même les émotions d'une personne par rapport à cet environnement pourraient donc aussi dépendre de plusieurs autres dimensions de sa vie affective.

4.3.4. Définition de significations

La signification d'un environnement physique réfère au sens attribué par une personne à cet environnement. Elle peut être connue en demandant à une personne « Qu'est ce que l'environnement physique que vous percevez signifie pour vous ? ». En fonction de la personne interrogée, la réponse à cette question peut alors être différente¹.

J. Lang (1988) a réalisé une analyse de contenu de différents écrits relatifs à la notion de la signification en architecture et a pu reconnaître cinq variables qui participent à la définition de cette signification :

- 1- la configuration d'un bâtiment (ou la forme),
- 2- son organisation spatiale,
- 3- les matériaux utilisés,
- 4- les éclairages, et
- 5- la couleur.

La configuration d'un bâtiment renvoi à sa forme et son style architectural. Les deux peuvent véhiculer une signification. Une église, de par sa forme en croix ou son clocher, symbolise un édifice religieux et évoque la spiritualité. De même, au niveau de l'architecture résidentielle, différents styles de maisons tout comme certaines volumétries d'ailleurs, permettent à des personnes d'établir un statut social ou d'estimer la fortune de leurs occupants (Duncan, Lindsey et Buchan, 1985). Différentes caractéristiques extérieures d'une maison peuvent constituer des codes que les membres d'une société peuvent considérer pour s'informer sur la personnalité, la culture et le rang social des résidents.

L'intérieur d'un bâtiment, ses espaces, leur superficie, leur forme ainsi que les relations entre les espaces peuvent également contribuer à établir un sens pour un édifice

¹ Par exemple, des architectes et des non architectes peuvent répondre à cette question différemment car ils n'accordent pas nécessairement une signification semblable à un même bâtiment (Nasar, 1989). Un architecte peut essayer de manifester au travers d'un bâtiment certaines de ses idées, de ses aspirations et de ses intentions (Norberg-Shulz, 1966) et donc il peut être sensible à ces idées lorsqu'il perçoit un autre bâtiment. Par contre, une personne qui prend possession d'un bâtiment et s'en approprie les espaces, peut lui attribuer un sens utilitaire et symbolique plus personnel. Elle peut essayer de traduire, à travers certaines caractéristiques physiques, ses valeurs, ses idéaux et sa culture (Altman et Gauvain, 1981; Sadalla *et al.*, 1987; Cooper, 1974).

(Duncan et Duncan, 1976). Dans une habitation, l'organisation spatiale peut correspondre à un style de vie (Weisner et Weibel, 1981). Cette organisation peut refléter une certaine façon de pratiquer une série d'activités pouvant être propre aux résidents¹ (Duncan *et al.*, 1985). En concevant ou en percevant ces activités, il est possible à des personnes d'établir une identité et une personnalité des personnes qui pratiquent ces activités (Rapoport, 1982).

La couleur, le matériau et l'éclairage sont trois autres facteurs que J. Lang (1988) a identifié pour l'établissement d'un sens pour un bâtiment. Une couleur peut prendre une signification différente d'une culture à une autre (Rapoport, 1969). Avec la couleur, une personne peut exprimer ses valeurs au sein d'une société. Les matériaux (la brique apparente, le verre, etc.), par leur couleur, leur qualité et leur coût, permettent parfois aussi l'expression de ces valeurs ; ils peuvent également entretenir d'autres sens. Par exemple, une habitation en rondins de bois peut évoquer une cabane en forêt et un escalier en marbre peut souligner l'aisance des propriétaires d'une maison. De la même façon, une habitation qui reçoit une lumière naturelle au bon moment de la journée, à la bonne intensité et au bon endroit peut être perçue comme confortable. À l'inverse, un environnement physique mal éclairé et sombre peut aussi être synonyme d'inconfort et une personne peut y percevoir des difficultés ou une indigence chez ses occupants.

4.3.5. Développement d'un intérêt

Enfin, un environnement physique peut aussi susciter un intérêt chez une personne. Cet intérêt se rapporte à ce qui importe à une personne de cet environnement ; elle peut trouver un environnement physique intéressant ou peut être intéressée par un aspect de cet environnement. L'intérêt est relatif à la manière dont elle se sent concernée par un environnement physique. Il s'agit à la fois de la façon dont cette personne perçoit les possibilités et les contraintes d'un environnement physique et de ce qu'elle y trouve intéressant par rapport aux actions qu'elle compte réaliser.

La perception des possibilités et des contraintes d'un environnement physique peut dépendre des compétences de la personne à pouvoir intervenir sur cet environnement. Par exemple, une personne peut ne pas trouver un espace intéressant si elle n'y perçoit pas les commodités auxquelles elle pourrait s'attendre. Par contre, une autre personne avec des attentes identiques peut le trouver intéressant parce qu'elle y perçoit d'autres possibilités. Elle pourrait estimer pouvoir adapter cet environnement en fonctions de ses attentes.

¹ Une étude montre que la dénomination des espaces domestiques peut être une traduction de la conceptualisation par ses occupants de leurs espaces (Giuliani, 1987).

La faculté de pouvoir adapter un environnement physique à ses besoins fait appel au concept de « compétence environnementale ». S. Jutras et K. Cullen (1983) ont défini cinq dimensions par rapport auxquelles ce concept peut être défini. P. Teasdale et M.E. Wexler (1987, p. 26) les ont traduites sous forme de capacités. L'analyse de ces capacités nous permet de considérer la compétence environnementale par rapport à trois facultés fondamentales d'une personne. La première consiste à pouvoir prendre conscience de ses besoins et comprendre la façon de les satisfaire dans un environnement physique. La seconde faculté renvoie aux actions pouvant être entreprises pour satisfaire ces besoins, c'est-à-dire à leur définition et à leur réalisation dans cet environnement. La troisième faculté enfin, est relative à la lecture d'un environnement physique. Cette lecture est mise à contribution par une personne pour la prise de conscience de besoins et la formulation d'objectifs dans un environnement physique, la définition et la réalisation d'actions ainsi que la vérification des résultats de ces actions en fonction de ces objectifs.

Lors de leur étude portant sur l'ajustement d'habitations aux besoins évolutifs de vingt familles, P. Teasdale et M.E. Wexler (1987) ont essayé de comprendre la compétence environnementale de différentes personnes. Ils ont pu constater que parmi les personnes interrogées, plusieurs d'entre elles manifestaient un manque pour l'une ou l'autre de ces trois facultés. Cependant, au moins la moitié de ces personnes avait indiqué qu'elles avaient une compétence particulière leur permettant de modifier leur environnement physique. Les modifications que ces personnes ont apportées à leur habitation touchaient aux aménagements intérieurs (ex : organiser et décorer les pièces), à des modifications architecturales (ex : agrandir une pièce ou un logement en abattant des cloisons) ou à une nouvelle gestion de leur environnement (ex : modification de l'usage des espaces) (Teasdale et Wexler, 1987, p. 27).

Les ménages étudiés occupaient leur logement depuis 17 ans en moyenne. Les personnes interrogées connaissaient donc particulièrement bien leur environnement physique. Les modifications qu'elles ont apportées témoignent d'une volonté d'adaptation de leur environnement à des besoins nouveaux dont la satisfaction n'aurait probablement pas pu être envisagée si elles n'avaient pas pris connaissance des caractéristiques physiques de leur environnement. Par rapport à leur environnement, elles avaient établi un diagnostic leur permettant d'envisager des solutions architecturales susceptibles de répondre à leur nouveaux besoins.

Par ailleurs, un environnement physique peut également susciter un intérêt chez une personne sans qu'elle ait une intention d'intervention sur cet environnement. Une personne peut aussi trouver un environnement physique intéressant parce qu'il comporte déjà une caractéristique qui la concerne. Par exemple, une personne peut être concernée

par les qualités de protection qu'offre un environnement, ou par sa clarté (Gifford, 1987, p. 64). Pour avoir perçu certaines caractéristiques dans un environnement physique, une personne peut y trouver un intérêt. Cet intérêt peut alors participer, comme nous l'avons vu, à engendrer chez la personne une émotion qui pourra affecter sa perception de cet environnement (Russell *et al.*, 1981).

Avant de conclure ce chapitre et voir quelles sont pour nous les implications des travaux de recherche qui viennent d'être mentionnés, examinons à présent comment la simulation d'un environnement physique est considérée en psychologie de l'environnement.

4.4. Simulation d'un environnement physique

En psychologie de l'environnement, certains travaux de recherche font appel à différents modes de simulation pour la présentation d'environnements physiques absents, c'est-à-dire projetés mais non encore réalisés ou existants mais inaccessibles à la perception directe de personnes (Gifford, 1987 ; Bosselman, 1993 ; DeLong, 1976). L'objectif visé par ces travaux de recherche est de recueillir et de comprendre les impressions ainsi que les réactions de personnes concernées par différents environnements physiques afin de pouvoir, par la suite, en tenir compte lors de la définition d'actions concrètes sur des environnements semblables. Cependant, cette démarche confronte les travaux de recherche à des questions de validité des données recueillies, ce qui peut avoir des conséquences directes sur les conclusions dégagées.

Pour G.E. McKechnie (1977b), l'emploi d'un mode de simulation soulève une question de validité écologique qu'il présente en ces termes :

« [...] The empirical question of whether a specific technique (or medley of techniques) fulfills the intent of "standing in" for the target environment so that observers' responses to the real environment raises the issue of *ecological validity*, the applicability of the results of laboratory analogues to nonlaboratory, real-life settings » (p. 169).

Comme les environnements physiques concernés par ces travaux de recherche sont étudiés par simulation interposée, obtenue au moyen d'une technique choisie, une question se pose à savoir : quelle technique utiliser pour pouvoir accorder une validité suffisante de manière à pouvoir se fier aux résultats escomptés. Autrement dit, cela revient à s'interroger sur ce qu'est une bonne simulation (Bosselmann et Craik, 1987).

Pour P. Bosselmann et K.H. Craik (1987), la question devrait plutôt être formulée comme suit :

« How good is what kind of simulation, for what kind of environment, with regard to whose impressions of the place, formed under what conditions of encounter with it, and as recorded on which response formats? » (p. 166).

Par delà donc les questions d'ordre méthodologique reliées à la façon et aux conditions de la collecte de données, ces auteurs entrevoient aussi des difficultés au niveau du mode de simulation employé. Un mode de simulation (plan, maquette, perspective, etc.) peut engendrer certaines impressions chez chaque personne en fonction de l'environnement simulé. Ainsi, le mode de simulation à considérer à l'occasion de ces travaux pourra dépendre non seulement du type d'environnement physique considéré mais aussi, comme nous l'avons déjà vu auparavant, des particularités de chaque personne à qui cet environnement est présenté pour évaluation.

4.4.1. La typologie de G.E. McKechnie (1977)

Compte tenu du nombre et de la variété des modes de simulation disponibles, G.E. McKechnie (1977b, p. 170-174) propose une articulation de ces modes selon une typologie sur laquelle se sont notamment appuyés plusieurs travaux de recherche pendant lesquels on a eu à réfléchir sur la simulation d'un environnement physique (Stokols, 1993 ; Kaplan, 1993 ; Lawrence, 1992; Stea, 1988; Bosselmann et Craik, 1987). Cette typologie, présentée en figure 11, comporte deux dimensions ayant chacune deux pôles extrêmes; (1) la dimension conceptuelle/perceptive (*conceptual/perceptual*) et (2) la dimension statique/dynamique (*static/dynamic*). G.E. McKechnie (1977) résume sa définition de chacun des pôles cités comme suit :

« [...] we can say that conceptual simulation represents the processes underlying man-environment interactions and transformations through formal, abstract analysis. Perceptual simulation attempts to provide tangible, concrete replicas or isomorphs of environments -often future environments- that can be displayed to observers for their evaluation or other response. Dynamic simulations provide a recursive or interactive capability, such that often unanticipated new information is generated from multiple, complex parts of

	PERCEPTUAL	CONCEPTUAL
STATIC	Sketches Photographs Drawings (Perspectives, Axonometrics)	Maps Floor Plans Some mathematical Models
DYNAMIC	"Berkeley Simulator"	On-line Computer Simulation

Figure 11 : Typologie des modes de simulation par G.E. McKechnie (1977)

the system. Static simulations lack this interactive capability and instead merely extract known aspects of the environment » (p. 174).

Ainsi, d'après l'auteur, en fonction du caractère de son contenu, chaque mode de simulation est adapté à un certain type d'activité. La façon dont ce contenu est présenté par ces modes de simulation peut desservir différemment l'inspiration et la déduction chez une personne. Les modes de simulation à caractère plutôt abstrait permettent de développer les concepts sous-jacents à la relation personne-environnement. Ceux avec lesquels on tente de reproduire un environnement physique par analogie sont plus appropriés pour permettre l'évaluation d'un environnement. L'auteur nous invite à ne pas considérer les pôles de cette typologie comme s'ils étaient en situation de dichotomie mais plutôt comme la manifestation d'une continuité (McKechnie, 1977b, p. 173). Un mode de simulation conceptuel (au contenu abstrait) ou perceptif (au contenu analogique) peut être soit statique, dynamique ou quelque part entre les deux. De même, les modes de simulation dits statiques ou dynamiques peuvent également avoir un contenu à caractère soit conceptuel, perceptif ou une forme intermédiaire entre les deux. En les dynamisant, leur contenu peut être perçu de multiples façons ce qui permet alors à une personne de découvrir ce contenu dans toute sa complexité. Parfois, alors qu'elle n'aurait probablement pas pu les anticiper autrement, une personne peut ainsi y déduire des informations nouvelles.

Parmi les modes de simulation statiques plutôt conceptuels que perceptifs s'inscrivent les plans d'architecture. D'un côté, le caractère abstrait de la géométrie des traits, des cotations et des symboles utilisés caractérise ces plans et par conséquent leur confère une dimension conceptuelle. De l'autre côté, les hachures tels les carreaux pour signaler un parterre par exemple, ou encore les empreintes de mobiliers qui complètent parfois ces plans leur donnent une dimension perceptive. Le résultat de l'association des deux, plus d'abstrait que de concret, rattache donc les plans plus au pôle conceptuel que perceptif. Par ailleurs, comme ils sont tracés sur un support comme une feuille de papier ou un écran cathodique, ces plans, tout comme les coupes aussi, sont donc aussi qualifiables de statiques.

Les modes de simulation conceptuels qui se rapprochent du pôle dynamique sont rarement employés pour présenter des environnements physiques. Il s'agit le plus souvent de techniques de jeu permettant d'anticiper l'impact de certains règlements sur un environnement physique donné ou pour développer des principes d'organisation d'un espace, par exemple (Bonta, 1979). Au moyen de ces techniques, les travaux de recherche essayent généralement de comprendre le raisonnement, le comportement et les principes qui guident les personnes dans leurs actions sur un environnement physique.

Pour les personnes qui agissent directement sur un environnement comme les acteurs d'un processus de conception, l'intérêt pour un rapprochement du pôle perceptif est particulièrement présent. G.E. McKechnie (1977b) écrit :

« The purpose of simulation in design work is to communicate tangibly what a given environment will look, feel, sound, and even smell like, after it is built or otherwise modified according to a proposed plan » (p. 172).

Pour rejoindre le pôle perceptif, les modes de simulation considérés sont par exemple les modèles réduits (maquettes), les vues en perspective, etc. Avec ces modes de simulation, l'accent est mis sur un rapprochement vers un réalisme visuel mais rarement sur les possibles incidences sur les autres sens d'une personne, comme le toucher ou l'odorat.

Parmi les modes de simulation qui tendent vers le pôle perceptif, certains peuvent prendre un caractère dynamique comme dans le cas de films¹ vidéo qui permettent de montrer des environnements réels ou leurs modèles réduits. À cette catégorie de modes de simulation peuvent également être ajoutées les animations par ordinateur dont la vraisemblance des images, à s'y méprendre parfois d'ailleurs, est étonnamment comparable à ce qui peut être directement perceptible visuellement dans un environnement concret.

Quelle que soit la position d'un mode de simulation par rapport aux pôles des deux dimensions de la topologie proposée par G.E. McKechnie (1977a, 1977b), il apparaît que chaque mode peut posséder des qualités dont les autres modes ne disposent pas nécessairement. À titre d'exemple, un plan d'architecture permet de donner une vue d'ensemble de l'organisation spatiale d'un bâtiment mais ne permet pas d'apprécier directement sa troisième dimension. Par contre, une façade ou une perspective permettent de voir les hauteurs d'un bâtiment mais ne laissent pas voir son organisation interne. Au chapitre 2, nous avons vu les limites et les dispositions à prendre pour figurer une solution architecturale à l'aide des différents modes de figurations disponibles en architecture.

4.4.2. Simulation et validité en recherche

En psychologie de l'environnement, différents modes de simulation ont été étudiés dans le but de voir s'ils permettent d'engendrer chez une personne des effets comparables à ceux que la perception directe d'un environnement peut susciter chez cette personne (Danford et Willems, 1975). Il s'agit d'études portant sur la possibilité de considérer valides les données portant sur la relation personne-environnement, obtenues à partir de l'utilisation de différents modes de simulation en absence de l'environnement physique

¹ Il arrive aussi que la projection accélérée de diapositives successives peut donner une impression de dynamisme lorsqu'elle est réalisée dans cette intention.

étudié. Pour ce faire, certains travaux de recherche ont eu recours à des études statistiques¹. D'après ces études, un environnement physique, qu'il soit concret ou simulé, peut laisser chez une personne des impressions sensiblement les mêmes.

Pendant ces études, on a considéré des modes de simulation comme les photographies en couleurs ou en noir et blanc, les diapositives, les films vidéo, les maquettes, les figurations graphiques (façades et perspectives) (Hershberger et Cass, 1973; Seaton et Collins, 1972; Peterson *et al.*, 1968; Danford et Willems, 1975; Howard *et al.*, 1972) ou bien des maquettes à des niveaux de détails différents (Kaplan, 1987). Les résultats obtenus favorisent le plus souvent les photographies en couleurs comme étant le mode de simulation le plus à même de reproduire les caractéristiques visibles d'un environnement physique (Seaton et Collins, 1972).

Cependant, pour P. Bossemann et K.H. Craik (1987, p. 175), ces études ne sont pas suffisantes pour pouvoir considérer sans égards aux modes de simulation utilisés les données obtenues relatives aux impressions recueillies pour un environnement physique simulé. D'après ces auteurs, ces études ne montrent pas les variations possibles dans les impressions engendrées chez une personne qui pourraient être induites par l'emploi de différents modes de simulation. Elles ne montrent pas non plus les effets de chacun de ces modes de simulation sur les impressions d'une personne comparativement à d'autres facteurs influents provenant d'un environnement physique réel.

Pendant ces études comparatives, des environnements physiques très variés ont été simulés au moyen de techniques diverses. Les impressions ont été recueillies pour des groupes de personnes très différentes et avec des méthodes de cueillette de données multiples. Sans considérer la question du mode de simulation, le rapprochement des impressions engendrées par plusieurs environnements chez différentes personnes est déjà difficile à réaliser. Alors qu'un même environnement physique peut engendrer à différents moments chez plusieurs personnes des impressions différentes, la prise en compte de plusieurs environnements à la fois ne peut alors que rendre ces impressions encore plus nombreuses et variées. Si, de plus, ces différents environnements physiques sont appréciés par des groupes de personnes différentes et que les impressions sont consignées selon des méthodes et en utilisant des modes de simulation multiples alors le rapprochement de l'ensemble des données, obtenues pour toutes ces situations expérimentales, ne peut être

¹ Les études statistiques réalisées pour vérifier la validité des données obtenues au moyen de modes de simulation sont relatives à la congruence de chiffres susceptibles de traduire différentes impressions enregistrées pendant la perception par différentes personnes d'environnements physiques concrets et simulés. En recueillant les impressions de ces personnes sur un environnement physique concret ou simulé, ces études ont établi entre ces chiffres une congruence substantielle (avec des corrélations variant de +.70 à +.90) (Craik et Feimer, 1987).

au mieux que partielle. Ces données ne permettent pas d'établir à quel moment quel aspect de quel environnement physique simulé au moyen de quelle technique a permis d'engendrer quelle impression chez quelle personne. À partir de ces données, il est donc difficile d'établir la capacité de chaque technique employée à pouvoir simuler un environnement concret et par conséquent de les comparer.

En somme, ces travaux de recherche permettent de constater que différents modes de simulation permettent à une personne d'apprécier un environnement physique absent. Cependant, ils permettent difficilement de comprendre avec quel mode de simulation quelle impression pourrait être engendrée chez une personne. Ils ne permettent pas non plus d'établir quelle est la part de chaque mode de simulation dans la formation de ces impressions. Ils permettent cependant de constater que la photographie en couleurs est un mode de simulation le plus à même à reproduire un environnement physique absent. Mais, ne serait ce que parce que ces modes de simulation¹ ne permettent pas de considérer toutes les informations que les sens, autres que la vision, peuvent apporter à la formation des impressions chez une personne, les résultats obtenus au moyen de ces modes peuvent manquer de validité écologique, telle que définie plus haut par G.E. McKechnie (1977b).

Implications de notre étude des recherches en psychologie de l'environnement

Les études réalisées en psychologie de l'environnement nous montrent que chaque personne peut percevoir, et par corollaire apprécier un environnement physique différemment, en fonction de ses expériences passées, sa sensibilité, sa formation professionnelle, sa culture, ses références sociales et bien d'autres caractères intimes et personnels qui l'imprègnent et la singularisent. La vie intérieure d'une personne constitue une référence par rapport à laquelle la qualité ou la préférence pour un environnement physique, par exemple, peut être établie. Elle renferme également des réminiscences de plaisirs et d'émotions vécus en des situations antérieures qui sont ravivées à l'occasion de nouvelles expériences sensorielles. La qualité référentielle de cette vie intérieure contribue à la formation de significations et à susciter des intérêts chez une personne qui perçoit un environnement physique. Cette vie intérieure conditionne donc la perception de chaque personne et peut alors conduire à des compréhensions différentes d'un même environnement physique chez différentes personnes.

Mais, comme notre étude l'a fait ressortir également, la perception d'un environnement physique peut également dépendre des finalités poursuivies par une personne. Une personne peut préférer un environnement physique à un autre parce qu'il

¹ À noter que la photographie implique qu'il y ait quelque part un environnement existant qu'il est possible de photographier.

promet, à l'avenir, de pouvoir satisfaire certains de ses besoins présents ou anticipés. En fonction de ses finalités, une personne peut aussi accorder un intérêt plus grand à une caractéristique d'un environnement pouvant ainsi l'amener à vivre une expérience émotionnelle différente d'une autre personne. En fonction de ses finalités encore, une personne peut être à la recherche d'une signification particulière dans cet environnement. Par exemple, dans un environnement physique où une personne essaye de se rendre d'un lieu à un autre par exemple, sa perception peut être dirigée vers la recherche d'indications susceptibles de l'aider à élaborer un itinéraire. L'intérêt que la perception de cet environnement suscitera chez cette personne se rapportera vraisemblablement aux indications susceptibles de l'aider à atteindre sa destination. L'émotion engendrée pendant cette perception va dépendre de la facilité avec laquelle ces indications pourront être découvertes ou comprises (Passini, 1984).

Une personne peut également essayer de percevoir un environnement physique pour définir et réaliser d'autres types d'actions encore, comme aménager un espace, édifier une maison ou encore modifier l'emplacement d'une fenêtre. Pour chacune de ces actions, des caractéristiques différentes de cet environnement peuvent être considérées et affecter différemment la perception d'une personne.

En somme, chaque personne peut percevoir un environnement physique différemment et en fonction de finalités propres. Cette compréhension de la perception chez une personne a des implications directes sur le choix d'un moyen pour la communication en architecture. Ce moyen devra peut-être répondre à différentes façons de percevoir un environnement physique. Autrement dit, pour rendre compréhensible une solution architecturale, il peut être nécessaire de la figurer de diverses manières. Un nombre limité de modes de figuration avec un contenu unique et présenté d'une seule façon peut être insuffisant pour répondre aux besoins de plusieurs personnes différentes pouvant poursuivre des différentes finalités pendant qu'elles essaient de comprendre une solution architecturale. La typologie proposée par G.E. McKechnie (1977b) permet de voir que les modes de figuration disponibles ne peuvent répondre qu'à un certain nombre de finalités à la fois.

De notre étude des recherches en psychologie de l'environnement, nous pouvons conclure que la compréhension d'une solution architecturale peut demander la préparation d'autant de figurations qu'il peut y avoir d'acteurs, aux expériences et connaissances différentes, qui prennent part à un processus de conception. L'objectif de la figuration en architecture peut alors consister à mettre en scène une solution en fonction des besoins de chaque personne qui prend part à une communication. En d'autres termes, cela signifie que la préparation d'une figuration architecturale peut revenir, non pas à consigner avec

exactitude sur un support les formes ainsi que les mesures d'une solution architecturale, mais plutôt à trouver une façon permettant de rendre compte de caractéristiques de la solution qui intéressent chaque acteur d'un processus de conception. Des points de vues différents pour la perception de cette solution peuvent être nécessaires. La figuration d'une solution architecturale peut également impliquer une façon de manifester à chaque personne la cohérence et l'organisation des unités de cette solution, l'usage qu'il est possible d'envisager pour ses espaces, les matériaux utilisés, les couleurs retenues, tout en tenant compte par exemple de différents éclairages pour essayer de restituer certaines ambiances.

Au terme de notre recherche exploratoire portant sur les théories, les résultats et les débats amenés par les travaux de recherche en psychologie, qu'elle soit cognitive ou de l'environnement, il est à présent possible de revenir sur une des deux discordances que nous avons relevée à la fin de la première partie, à savoir entre les fins des acteurs pendant un processus de conception et les moyens disponibles pour la communication. Il s'agit des difficultés que ces acteurs peuvent rencontrer pour la compréhension d'une solution architecturale figurée.

Pour éliminer ces difficultés, compte tenu de ce que nous venons de voir, il semble important qu'un moyen de communication permette de figurer une solution architecturale différemment à chaque personne. Cette implication est motivée par deux considérations complémentaires. Tout d'abord, comme chaque personne se particularise par une vie psychique différente, il revient alors de figurer cette solution de la façon qui répond le mieux aux processus mentaux, aux connaissances et aux expériences de chaque personne individuellement. Ensuite, comme chaque personne peut également poursuivre des finalités différentes pendant sa perception d'une solution architecturale, la figuration peut donc aussi nécessiter une adaptation de son contenu à ces différentes finalités.

Les deux chapitres de la deuxième partie, qui font état de notre recherche exploratoire, donnent des indications quant à la façon de rendre compréhensible une solution architecturale. Pour se constituer une image mentale d'une solution architecturale et pouvoir la transformer mentalement, nous avons vu au chapitre 3 que les travaux de recherche en psychologie cognitive invitent à figurer sa forme et l'articulation de ses unités en trois dimensions. Cependant, au chapitre 4 nous avons aussi pu voir que pendant qu'une personne essaye de comprendre une solution architecturale, elle est également animée par les impressions ressenties. Son appréciation de cette solution peut intervenir dans cette compréhension et l'influencer. De plus, sa compréhension peut être marquée par un intérêt pour un aspect particulier d'une solution. Autrement dit, une personne peut essayer de comprendre une solution architecturale en fonction de la réalisation de certains objectifs. La perception d'une personne est donc également téléologique, c'est-à-dire orientée en fonction de finalités à atteindre.

Selon nos études, rapportées dans les deux chapitres précédents, les implications des travaux de recherche en psychologie pour une figuration architecturale peuvent être résumées ainsi : (i) une possibilité de sélection de son contenu relatif à une solution architecturale, (ii) une définition tridimensionnelle et une structuration variable de ce

contenu et (iii) une façon dynamique de présenter ce contenu, en fonction de besoins téléologiques, cognitifs et émotionnels de chaque personne qui souhaite comprendre cette solution.

En effet, pendant la réalisation d'un projet d'architecture, chaque acteur du processus de conception peut poursuivre des finalités différentes. Un acteur peut vouloir aménager l'espace d'une solution architecturale et un autre peut chercher à définir la structure porteuse de cette solution. Dans ces deux exemples, les deux acteurs peuvent avoir besoin de comprendre des informations différentes relatives à la solution. Pour aménager l'espace, le premier acteur doit comprendre par exemple la configuration de l'espace considéré, la position des ouvertures de cet espace, les activités qui y sont prévues, le mobilier à y installer, etc. Par contre, pour définir la structure porteuse de la solution, le second acteur doit établir la répartition des éléments porteurs de cette solution, identifier leurs caractéristiques physiques, déterminer les charges à transmettre aux fondations, etc. De ce fait donc, pour définir et réaliser leurs différentes actions, les acteurs du processus de conception ont besoin de comprendre une sélection variable d'informations relatives à la solution architecturale qu'ils développent.

De plus, dans un mode de figuration, les informations relatives à la morphologie de la solution architecturale sont à caractère visuel. Avec une figuration, un acteur essaye de se constituer une image mentale de la solution pour pouvoir définir et réaliser ses actions en rapport à cette solution. Il essaye de résoudre des problèmes dans un espace tridimensionnel en considérant la forme et les caractéristiques physiques de la solution. La recherche exploratoire en psychologie appliquée à la perception qui vient d'être réalisée montre que dans le cas de la résolution de problèmes dans un espace tridimensionnel, une personne a recours à une image mentale de la configuration spatiale où se définit ce problème. Elle a permis de voir que pour se former cette image, une personne a aussi besoin de comprendre comment les unités de cette configuration sont disposées les unes par rapport aux autres dans cette configuration. En comprenant cette disposition d'unités dans un espace tridimensionnel, l'acteur du processus de conception peut alors articuler ces unités et imaginer différentes actions pour développer davantage la solution architecturale.

La compréhension de cette disposition peut demander une figuration dynamique de la solution architecturale. Nous avons vu qu'avec une image mentale, une personne peut se figurer et manipuler mentalement les informations relatives à un objet physique et cela d'une façon analogue à ce qu'elle peut considérer dans le monde tangible. Elle peut transformer mentalement l'information relative à un objet comme disposer cet objet sous différents angles de vue, y remplacer ou y réorganiser des parties en fonction du problème

qu'elle s'est donnée à résoudre. Au moyen de transformations mentales (rotations, déplacements, etc.), elle peut accroître sa compréhension de l'objet et résoudre les problèmes qu'elle se pose dans un espace tridimensionnel. Aussi, avec une solution architecturale figurée de façon dynamique, une personne peut essayer et peut confronter différentes alternatives de formes et d'articulations des parties d'une solution architecturale. La figuration dynamique d'une solution architecturale permet alors à un acteur d'un processus de conception d'envisager visuellement les transformations physiques (ou géométriques) qu'il aurait sinon à opérer de façon mentale. Elle facilite ainsi la résolution de problèmes et permet d'écarter les risques d'erreur pouvant provenir d'une mauvaise interprétation de l'information relative à une solution architecturale. Elle permet de voir et de vérifier cette information à partir de points de vue différents comme à l'occasion de cheminements à l'intérieur de cette solution.

À la fin du précédent chapitre cependant, nous avons vu que chaque mode de simulation est défini de façon à pouvoir répondre à un certain type d'objectifs particuliers. La typologie des modes de simulation proposée par G.E. McKechnie (1977b) a permis de constater que le caractère du contenu d'un mode de simulation ne peut tendre à la fois que vers deux pôles de cette typologie. L'information contenue dans un mode de simulation peut être à caractère perceptif ou conceptuel et être présentée de façon statique ou dynamique. Cette limitation du caractère des modes de simulation disponibles fait que, pour que différentes personnes arrivent à comprendre un même environnement physique figuré, il est nécessaire de mettre à contribution plusieurs modes de simulation en même temps. Les trois implications pour la figuration d'une solution architecturale que nous avons résumées plus haut dans cette section ne peuvent donc être satisfaites qu'en considérant la préparation de plusieurs modes de figuration différents à la fois. Autrement dit, pendant la réalisation d'un projet d'architecture, il s'agit donc de préparer autant de modes de figuration qu'il peut y avoir d'acteurs du processus de conception aux finalités, aux expériences et connaissances différentes. Or, la préparation d'une somme importante de modes de figuration différents peut être onéreuse en temps et en argent et, de ce fait, peut alors constituer un inconvénient majeur pour la production d'une solution architecturale.

Notre recherche exploratoire en psychologie a permis donc de voir que, tels qu'ils sont définis, les modes de figuration disponibles peuvent difficilement répondre aux besoins de compréhension des acteurs du processus de conception architecturale. Dans ce qui suit, nous allons nous intéresser à comment les moyens utilisés pour la communication en architecture ont été développés au cours de l'histoire. Ceci permettra alors de comprendre l'origine des discordances que nous avons relevée à la fin de la première partie.

TROISIÈME PARTIE : DÉVELOPPEMENT DES MOYENS DE COMMUNICATION EN
ARCHITECTURE—RECHERCHE HISTORIQUE

L'objectif de cette troisième partie de notre recherche est de comprendre comment les moyens utilisés pour la communication en architecture ont été développés dans le temps. Pour reprendre l'idée de l'historien A. Milet cité par J. Pycke (1992, p. 21), il s'agit de considérer l'histoire pour essayer de « comprendre les actions des hommes, les motifs qui les ont mus, les buts qu'ils ont poursuivis, la signification qu'avaient pour eux les événements [...] », lorsqu'ils ont développé les moyens de communication dont nous avons hérités, au moins les principes sinon l'usage. Cette compréhension permettra de relativiser la définition des moyens utilisés pour la communication par rapport à une transformation de la façon de réaliser un projet d'architecture.

L'idée derrière l'objectif de la recherche historique rapportée dans cette partie consiste à considérer la présence d'une concordance entre les fins des acteurs pendant un processus de conception et le moyen de communication qu'ils ont mis au point à un moment du passé. Autrement dit, si les acteurs du processus de conception ont mis au point un certain moyen pour la communication, c'est qu'il leur permettait de réaliser un projet d'architecture. Cette mise au point peut également dépendre des connaissances dont disposaient ces acteurs à l'époque en question.

L'intérêt d'atteindre l'objectif visé est double. D'une part, une compréhension du développement des moyens de communication en architecture permettra de voir comment les discordances entre les fins des acteurs pendant un processus de conception et les moyens de communication, décrites en première partie, sont apparues. Cette compréhension permettra de reconnaître les transformations du processus de conception et des moyens de communication qui auraient pu conduire à l'émergence de ces discordances. D'autre part, la compréhension du développement des moyens utilisés pour la communication permettra également de voir d'autres façons de communiquer entre les acteurs d'un processus de conception. La compréhension de ces autres façons de communiquer permettra d'envisager des méthodes alternatives de figurer une solution architecturale.

Pour essayer de comprendre le développement des moyens de communication en architecture, nous avons réalisé une recherche historique. Nous avons commencé par examiner la définition du dessin d'architecture à la Renaissance, époque qui coïncide d'ailleurs avec la définition des principes de la perspective moderne. Ensuite, nous avons considéré les moyens de communication qui prévalaient avant cette époque charnière, utilisés par les civilisations de l'Antiquité et du Moyen Âge. Elle a permis de voir comment les acteurs d'un processus de conception pouvaient réaliser un projet d'architecture sans

nécessairement recourir aux modes de figuration graphiques tels que définis aujourd'hui. À la lumière de ce passé, nous nous sommes par la suite consacré à l'évolution, à partir de la fin de la Renaissance, de la communication au moyen du dessin en architecture.

Notre recherche historique consistait à développer une connaissance à partir d'événements qui se sont produits par le passé. Nous avons considéré une méthodologie de recherche particulière permettant de constituer une connaissance historique.

Principes méthodologiques de la recherche historique

Pour constituer une connaissance historique, nous nous sommes engagés dans un processus de compréhension critique et itératif¹, à la manière décrite par B.J.F. Lonergan (1978, p. 214-215). D'après cet auteur, un processus de compréhension critique et itératif consiste à commencer par essayer de comprendre une expérience passée telle que rapportée par des sources documentaires, comme des documents écrits, des narrations, des bandes sonores, des dessins, etc., en cherchant à comprendre « *ce qui se préparait* » (Lonergan, 1978, p. 215) au moment où se produisait cette expérience. En examinant par la suite ce qui découlait de cette préparation, on peut formuler de nouvelles interrogations qui amènent de cette façon à critiquer et à « re-visiter » la première compréhension des expériences passées ainsi documentées. Pendant la recherche de réponses à ces nouvelles interrogations, il est possible d'arriver à une nouvelle compréhension des expériences passées. À son tour, cette nouvelle compréhension permet de soulever d'autres interrogations quant à ce qui se préparait pendant ces expériences passées. Une fois de plus, la recherche de réponses à ces nouvelles interrogations donne lieu à une compréhension différente de ces expériences passées. Nous avons appliqué cette méthode de sorte que nous n'avons pas pris celles-ci isolément, une à une, mais nous les avons considérées dans leurs enchevêtrements. Pour cela, nous étions également obligé de comprendre le processus dont témoignent les sources documentaires (Lonergan, 1978, p. 218). Le processus de compréhension critique et itératif, nous ne l'avons interrompu en fait que lorsque nous avons, au meilleur de notre connaissance, épuisé nos interrogations en ayant trouvé un équilibre qui nous semblait satisfaisant entre notre compréhension des expériences passées telles que documentées et celle se rapportant à ce qui se préparait.

Pour comprendre une expérience passée, nous avons considéré l'action qui a laissé une trace dans les événements rapportés par les sources documentaires. R.G. Collingwood (1946), écrit que l'historien :

¹ Une histoire qui ne s'élabore pas selon un processus de compréhension critique et itératif serait une histoire « précritique », pour reprendre la distinction faite par B.J.F. Lonergan (1972, p. 212-213). R.G. Collingwood (1946, p. 257) a consacré une section entière dans son ouvrage à ce type d'histoire qu'il a intitulé : « *scissors and paste* ». Voir aussi H.-I, Marrou (1975, p. 30).

« [...] is investigating not mere events (where by a mere event I mean one which has only an outside and no inside) but actions, and actions is the unity of the outside and inside of an event. [...] His work may begin by discovering the outside of an event, but it can never end there ; he must always remember that the event was an action, and that his main task is to think himself into this action, to discern the thought of its agent » (p. 213).

Ainsi, d'après R.G. Collingwood (1946), les événements rapportés du passé comportent un dehors et un dedans. Le dehors est le résultat des actions réalisées et le dedans est la pensée qui a guidé les acteurs dans la réalisation de leurs actions. Ce sont ces actions, en imaginant leur réalisation et les finalités qui auraient pu être poursuivies par les acteurs, que nous avons considéré pour comprendre les événements rapportés par les sources documentaires. B.J.F. Lonergan (1978) écrit qu'à côté de vouloir comprendre ce qu'ont voulu dire les auteurs¹, en histoire critique, l'historien s'intéresse principalement « à comprendre ce à quoi ils visaient et comment ils s'y sont pris » (p. 217). Ce sont les visées et le comment de la réalisation de ces visées qui nous ont permis de comprendre des événements rapportés par des sources documentaires au delà de leur apparence et de leur enchaînement.

Pendant notre démarche de recherche et de compréhension du développement des moyens de communication en architecture, nous avons à établir des faits historiques en rapport avec ce développement. Un événement du passé peut devenir un fait passé lorsqu'on réussit à le comprendre « de façon satisfaisante et complète » (Lonergan, 1978, p. 233). Nous pouvions ensuite rendre ce fait passé historique seulement si nous pouvions lui trouver une certaine importance en rapport avec le développement des moyens de communication qui nous intéresse (Salmon, 1987, p. 53).

Comme le fait remarquer H.-I. Marrou (1961b, p. 1495), un fait historique est le résultat d'un travail délicat d'élaboration qui comprend deux opérations, la sélection et la construction. La sélection, nous venons de le voir, est la promotion d'un événement passé à l'histoire qui nous intéresse. D'après H.-I. Marrou (1961b), cette promotion n'est réalisée qu'à la suite d'un jugement si l'historien « réussit à établir un lien entre ce "fait" et l'un ou l'autre des problèmes véritablement sérieux qu'il s'est posés à l'égard du secteur du passé sur lequel porte sa présente enquête » (p. 1495). Sans lien direct ou détourné avec le développement des moyens de communication en architecture, un fait passé pouvait donc devenir pour nous qu'une simple anecdote.

Mais les faits historiques ne se présentaient pas toujours directement dans les sources documentaires. Souvent, pour reconnaître l'historicité de ces faits, nous avons à réaliser

¹ Évidemment, pour nous la notion d'auteurs doit être élargie pour couvrir les auteurs des œuvres d'art.

des recoupements et des reconstructions de faits passés. C'est par l'analyse et la mise en relation de plusieurs faits du passé, à première vue isolés et sans grande importance immédiate pour notre compréhension, que nous pouvons reconstituer un fait qui n'est pas directement présenté par les documents consultés. Nous avons principalement à imaginer ces faits et leurs relations possibles (Collingwood, 1946). D'ailleurs, G. Thuillier et J. Tulard (1991) invitent à ne surtout pas croire que « l'historien ne fait que raisonner, que son travail est soumis à des lois précises, qu'il suffit d'appliquer méthodiquement » (p. 50). D'après ces auteurs, la rêverie accompagne tout le travail de l'historien et même le stimule.

Donc, la valeur historique d'un fait du passé peut dépendre beaucoup de notre imagination, de notre position intellectuelle, de notre sensibilité et de notre capacité d'effectuer une synthèse compréhensive des phénomènes à l'étude. Comme l'écrit H.-I. Marrou (1961b), « l'histoire est inséparable de l'historien ; il en découle que tant vaut celui-ci, tant vaudra celle-là » (p. 1501). M.-A. Arnould, cité par J. Pycke (1992, p. 13), considère d'ailleurs l'histoire comme « une reconstruction permanente qui accompagne le devenir humain ». L'historien ne peut échapper totalement à sa propre condition (sociale, idéologique, culturelle, morale, etc.) et à son époque. Tout ce qu'il peut faire, c'est prendre conscience de ses capacités et de ses limites pour ainsi essayer de les mettre à contribution et construire du mieux qu'il peut une compréhension d'un événement passé.

H.-I. Marrou (1975) écrit que :

« [...] l'histoire est le résultat de l'effort, en un sens créateur, par lequel l'historien, le sujet connaissant, établit ce rapport entre le passé qu'il évoque et le présent qui est le sien » (p. 51).

D'après H.-I. Marrou (1975), l'historien ne peut donc qu'évoquer le passé. Par association d'une connaissance du présent et d'événements rapportés par différentes sources documentaires, nous ne pouvons qu'essayer d'imaginer comment et pour quelles fins certaines actions ont pu être réalisées par les personnes qui les ont réalisés ou qui sont citées dans ces sources. La compréhension que nous avons construite à partir de l'examen de ces sources ne peut être que partielle et dépend nécessairement à la fois de ce que nous avons essayé d'atteindre en évoquant ce passé et de notre propre compréhension du présent.

Les principales sources documentaires à partir desquelles nous avons réalisé notre recherche historique ont été les documents écrits et visuels. Les documents écrits ont été ceux rédigés par des historiens, spécialistes de différentes époques et dans diverses disciplines (architecture, mathématiques, etc.) ou ceux rédigés par les auteurs de ces époques. L'étude de ces documents nous a permis de comprendre comment et pour quelles finalités les moyens de communication d'une époque avaient été définis et mis en œuvre.

Quant aux documents visuels, ils nous ont permis surtout de confronter notre compréhension construite à partir des documents écrits. Ces documents visuels ont été des dessins, des photographies de maquettes anciennes ou encore des tableaux de peintres. Ils devenaient intéressants lorsqu'ils témoignaient d'une façon de figurer une solution architecturale, lorsqu'ils rendaient compte d'une manière de réaliser un projet d'architecture, ou encore lorsqu'ils traduisaient une pensée ou des connaissances partagées par les personnes d'une époque du passé.

Pour réaliser notre recherche historique à partir de sources documentaires, nous avons effectué une critique de crédibilité de ces sources. Pour P. Salmon (1987, p. 122-157) une critique de crédibilité se décompose en cinq opérations : (1) la critique d'interprétation, (2) la critique de compétence, (3) la critique de sincérité, (4) la critique d'exactitude et enfin (5) la critique des témoignages.

La critique d'interprétation consistait à bien comprendre le texte de l'historien, c'est-à-dire ce que l'auteur a dit ou a voulu dire. En parallèle à cette opération, la critique de compétence nous permettait de vérifier les conditions dans lesquelles se trouvait l'auteur au moment de l'écriture de son texte. La langue qu'il possède, la nature des sources consultées, ses champs d'intérêt et son idéologie ont été considérés. En même temps, par la critique de sincérité nous avons cherché à établir si les affirmations avancées par l'auteur ne sont pas tâchées de déformations, voire même de mensonges pour quelques raisons que ce soit. L'intérêt, les conditions socio-politiques, les sympathies pour un groupe d'hommes, une époque ou encore bien d'autres mobiles peuvent parfois avoir orienté l'interprétation des événements passés. La critique d'exactitude, par contre, visait à déceler des erreurs qui auraient pu se glisser au moment de l'examen d'un événement du passé. Elle était soutenue par la critique des témoignages qui consistait à comparer les écrits de plusieurs auteurs entre eux pour éviter de ne considérer que la seule autorité d'un historien. Cette dernière critique nous a parfois demandé de revenir aux sources premières qui ont permis à ces auteurs de promouvoir un événement du passé au rang de fait historique ou à s'en servir pour asseoir une théorie ou une explication.

Le point de départ pour la compréhension en histoire est la question posée au passé (Marrou, 1975, p. 58). En fonction de cette question, les sources documentaires sont choisies et leur étude peut amener à de nouvelles questions. La compréhension en histoire peut donc être considérée comme une enquête qui consiste à étudier des événements du passé susceptibles de devenir des faits historiques en fonction d'une question de départ et des questions nouvelles engendrées par la consultation de sources documentaires.

Pour comprendre le développement des moyens utilisés pour la communication en architecture, la première question que nous avons posé au passé était relative à l'introduction du dessin pour la figuration architecturale. Autrement dit :

Comment et pour quelles finalités les acteurs d'un processus de conception ont-ils considéré le dessin d'architecture pour la figuration d'une solution architecturale ?

En essayant de répondre à cette question, de nouvelles interrogations sont apparues. Dans les trois chapitres qui suivent, les résultats de notre recherche historique sont présentés. Ils sont discutés à la fin de cette troisième partie de la recherche sur les moyens utilisés pour la communication en architecture.

C'est en Italie, à la période de la Renaissance, qu'un document écrit non seulement recommande mais, pour la première fois dans l'histoire, également, décrit la façon de préparer un dessin d'architecture, c'est-à-dire en plan, coupe et élévation à la même échelle et dans une disposition coordonnée. Il s'agit d'un mémorandum préparé, en 1519, par le célèbre artiste Raphaël à l'attention du pape Léon X.

Avant d'étudier ce mémorandum, nous allons, tout d'abord considérer les événements passés qui ont précédé et qui sont liés à la réalisation de l'entreprise de Raphaël. Commençons par essayer de comprendre le climat qui régnait à la Renaissance italienne.

5.1. Les humanistes et l'antiquité romaine

5.1.1. L'intérêt pour les sciences classiques

Au début du XV^e siècle à Florence et dans le nord de l'Italie s'installe un climat nouveau marqué par un intérêt particulier pour les sciences classiques des Grecs et des Romains qui va plus tard progressivement s'étendre à toute l'Europe. La région du nord de l'Italie connaissait alors un essor économique grâce aux échanges commerciaux qu'elle établissait avec des partenaires du bassin méditerranéen et du reste de l'Europe. Cet essor et ces échanges ont permis à plusieurs italiens de voyager et de découvrir des écrits et des sites archéologiques témoignant de ce qu'avaient accompli des civilisations d'avant le Moyen Âge. Ces italiens, des humanistes pour la plupart, s'intéressaient à ces civilisations de l'antiquité pour essayer de raviver ce que leurs propres ancêtres de la Rome antique avaient laissé comme connaissances. La région du nord de l'Italie était alors à la recherche d'une expression du nouveau climat qui régnait dans ses villes qui ont toujours résisté au mouvement artistique du nord des Alpes, désigné par les humanistes de cette période de l'art des barbares germaniques ou les Goths¹.

A cette période du *Quattrocento*² plusieurs traités anciens d'architecture, d'optique, de mathématiques ou de géographie refont leur apparition et sont étudiés et enseignés dans les écoles et les universités (Edgerton, 1975; Cowan, 1977). Parmi ces traités qui ont beaucoup marqué cette période, il faut mentionner le *Geographia* (ou *Cosmographia*) de Ptolémée ramené de Constantinople vers l'an 1400, les *Éléments* d'Euclide déjà disponibles en Latin dès le début du XII^e siècle et la version du traité de Vitruve produite par Gian

¹ D'où l'adjectif Gothique pour désigner le style architectural de la région du nord de la France au Moyen Âge (Jestaz, 1995, p. 16; Vasari, 1978).

² Quinzième siècle.

Francisco Poggio en 1415 (Edgerton, 1975; Cowan, 1977). Ces traités constituaient des références par rapport auxquelles les activités culturelles et scientifiques de la Renaissance italienne allaient se développer. Vitruve, par son traité, était devenu la référence pour ceux qui s'intéressaient à l'édification en architecture et étudiaient l'architecture de la Rome antique.

Le regain d'intérêt pour les sciences classiques s'est traduit en architecture par une redécouverte et du traité de Vitruve et des réalisations gréco-romaines. Les humanistes de la Renaissance s'attachèrent à étudier soigneusement ces réalisations en déterminant leur « valeur historique concrète, une fois celles-ci distinguées de leurs corruptions et popularisations médiévales » (Argan, 1990, p. 10). Pour les édifices construits sous l'influence de l'art gothique, le traité de Vitruve permettait d'établir ce qui les rattachait encore à l'architecture de la Rome antique. Mais cette redécouverte du traité permettait surtout à ceux des humanistes qui s'intéressaient à l'architecture de reconsidérer les règles et les proportions qui avaient permis aux anciens de construire ce qui à la Renaissance était sous forme de ruines.

Pour étudier l'architecture de l'antiquité romaine, les humanistes de la Renaissance allaient visiter les ruines et en faisaient aussi des relevés pour pouvoir les étudier une fois de retour chez eux. Pour ce faire, ils établissaient des relations « dimensionnelles » entre hauteur, largeur et profondeur que les anciens Grecs et Romains ne pouvaient résoudre que sous un rapport plus abstrait et étendu d'un « devant/derrière », d'un « ici/là » et d'un « corps/non corps » (Panofsky, 1991). La rigueur et les procédés mathématiques étudiés et assimilés dans les traités vont servir cette tendance vers un réalisme de plus en plus affirmé qui devait se cristalliser dans le but ultime de l'art ; au XV^e siècle, ce but se traduisait par le dogme de « l'imitation de la nature » (Flocon et Taton, 1963, p. 41). Petit à petit, en ajoutant à l'idée de l'art une prise de conscience de son propre acte, l'artiste de la Renaissance s'affranchit de l'art mécanique (*ars mechanica*) médiéval et pratique désormais un art libéral (*ars liberalis*) (Argan, 1990, p. 10). Les mathématiques devaient servir cette mutation alors qu'elles étaient en train de devenir de plus en plus une sorte de *lingua franca* réunissant les différentes classes sociales et engageant intellectuels humanistes, banquiers, artisans et commerçants (Edgerton, 1975; Kemp, 1990). Ces mathématiques étaient enseignées à tous ceux qui fréquentaient un établissement d'enseignement, dont les professionnels qui devaient au moins avoir connu l'école.

En effet, la formation des professionnels débutait dès le bas âge par l'école appelée *abacchi* où l'on enseignait les rudiments de l'écriture et de la lecture mais aussi l'arithmétique et la géométrie (Edgerton, 1975). Plusieurs noms italiens célèbres de cette époque comme Brunelleschi, Filarete, Martini et bien d'autres la fréquentèrent jusqu'à

leur adolescence (Briggs, 1974; Vasari, 1978). Par la suite, en fonction de leurs prédispositions intellectuelles, leur classe sociale ou des souhaits de leurs parents, ils étaient soit confiés à des maîtres artisans confirmés dans une branche donnée, soit, pour les plus nobles et riches d'entre eux, comme Léon Battista Alberti (1404-1474) ou Paolo dal Pozzo Toscanelli (1397-1482), envoyés dans une université afin de parfaire leur formation générale en science (Edgerton, 1975; Vasari, 1978). Dans les deux cas, les conditions sociales de leur naissance étaient déterminantes pour la poursuite de leur formation (Briggs, 1974) mais ne constituait pas un empêchement pour leurs échanges ultérieurs.

Le climat, social et culturel, qui régnait à la Renaissance était favorable à l'échange entre des personnes de classe sociale, de formation et aux intérêts immédiats apparemment différents. Animées par une même intention de rendre le monde dans lequel elles vivent différent de celui du Moyen Âge en tirant des enseignements des sciences classiques, ces personnes pouvaient collaborer ensemble pour résoudre les nouveaux problèmes qu'ils se posaient. Par exemple, cette atmosphère de collaboration entre les humanistes de Florence associée à une grande curiosité ont permis à l'architecte Filippo Brunelleschi (1377-1446) de côtoyer et d'échanger sur des sujets d'intérêt communs avec des personnages comme le professeur d'université P.P. Toscanelli ou encore L.B. Alberti (Vasari, 1978).

F. Brunelleschi et P.P. Toscanelli étaient certes de formation différente mais s'intéressaient tous les deux à des questions ayant en commun des principes de l'optique et de la géographie. P.P. Toscanelli, alors enseignant de nombreuses matières dont l'optique, avait étudié le traité de Ptolémée et était devenu maître de cette matière au point de pouvoir apporter son savoir à des contrées lointaines de l'Europe. Il a notamment conseillé la cour du Portugal, et un peu plus tard encouragé même Christophe Colomb, à propos d'une éventuelle route de navigation vers l'Orient en passant par l'Ouest ; en effet, ce dernier empruntera quelques années plus tard pour découvrir par hasard, en 1492, l'Amérique (Edgerton, 1975). Il aurait pu apporter à F. Brunelleschi les éléments théoriques dont il avait besoin pour réaliser ses expériences sur la perspective linéaire qui alla révolutionner toute la vision du monde des générations à venir. Mais l'inverse peut être tout aussi possible car P.P. Toscanelli, de vingt ans plus jeune que F. Brunelleschi, aurait également bien pu s'inspirer de la découverte de la perspective pour développer ses conceptions pour ses propres champs d'intérêt (Kemp, 1990, p. 92).

La collaboration de F. Brunelleschi avec L.B. Alberti est certainement plus évidente. L.B. Alberti, un noble de Florence, semble avoir été le premier à avoir pleinement compris les principes de la méthode pour construire la perspective linéaire développée par F.

Brunelleschi puisque c'est lui qui le premier les a théorisés et diffusés. Il s'en inspirera même pour écrire ses traités sur la peinture et l'architecture.

L'intérêt commun pour les sciences classiques, en somme, a amené les humanistes de la Renaissance à collaborer pour définir un climat culturel, social et scientifique qui se distingue de celui du Moyen Âge des pays du Nord des Alpes et qui est favorable à de nouvelles découvertes. Cet intérêt et ce climat ont permis de reconsidérer l'architecture de la Rome antique avec un regard influencé par ce que divers traités de l'antiquité ont permis de découvrir notamment en géométrie, en optique et par rapport à la façon de concevoir un édifice dans la Rome antique. À l'école déjà, on apprenait plusieurs des connaissances tout juste assimilées de civilisations anciennes dont les mathématiques. Le dogme de l'imitation de la nature allait devenir le but ultime de l'art et l'*ars liberalis* privilégié à l'*ars mechanica*. Mais cette distanciation par rapport à l'*ars mechanica* permettait aussi aux humanistes de la Renaissance de rompre avec la longue tradition du Moyen Âge qui voulait que seuls des artisans de la construction puissent être en charge de l'édification d'un bâtiment.

5.1.2. De nouveaux profils de concepteurs

Au début du XV^e siècle, pendant que la tradition médiévale de la formation par la pratique¹ des artisans de la construction sur les chantiers était encore en vigueur dans le reste de l'Europe, un nouveau profil de concepteur se définissait en Italie. À Florence, parmi ceux qui se consacraient alors à la conception architecturale plusieurs avaient reçu une formation préalable et exercé un métier en orfèvrerie, en peinture, en ébénisterie ou en sculpture par exemple (Goldthwaite, 1980, p. 356-360). L'historien M.S. Briggs (1974, p. 136) fait remarquer que parmi les 32 personnages illustres de ce XV^e siècle qui ont pratiqué l'architecture et dont le célèbre biographe de la Renaissance G. Vasari (1511-1571) retrace la vie, 11 seulement étaient des architectes au sens médiéval du terme, 11 étaient à l'origine sculpteurs, 6 peintres, 3 étaient versés dans tous les arts et 1 était à la fois architecte et ingénieur. Par rapport au Moyen Âge, confier la responsabilité de la conception d'un édifice à une personne n'ayant pas été formée dès le départ sur un chantier est, sans doute, un changement profond dans la façon de faire en conception architecturale.

Au moins trois facteurs sont probablement à l'origine de ce changement dans le profil des concepteurs à la Renaissance. Le premier facteur pourrait être dû à la résistance de l'Italie à adopter le style gothique pour l'édification de ses monuments religieux et publics, et par conséquent la façon de faire gothique (Frommel, 1994a, p. 101). Alors que partout en Europe, au Moyen Âge, l'art gothique dominait, l'Italie était restée relativement

¹ Nous allons revenir sur cette pratique au prochain chapitre.

proche des dernières réalisations de l'ancien empire romain et donc quelque peu distante de l'organisation du travail et des coutumes des maîtres maçons du Nord de la France et du Sud germanique. Lorsqu'à de rares occasions, comme à Milan, on décidait tout de même de construire un édifice de style gothique, on n'hésitait pas alors à faire appel aux artisans du Nord des Alpes, ce qui devait avoir eu pour conséquence de ne pas trop bousculer les habitudes de construction locales. Cependant, ceci ne veut pas non plus dire, bien entendu, que les italiens ne connaissaient pas les façons de faire et les organisations en guildes des pays du Nord de l'Europe, bien au contraire. Ils avaient également développé des organisations du travail semblables dès l'Antiquité romaine mais en considérant leurs propres conditions économique, culturelle et sociale pour en définir les règles (Goldthwaite, 1980, p. 242). Pour leurs savoir-faire, ils étaient même appelés à travailler dans ces pays lointains du Nord de l'Europe mais construisaient d'une façon différente chez eux en Italie.

Un second facteur pourrait également venir d'une demande croissante pour un raffinement artistique nouveau et des exigences techniques particulières engendrés par les essors économique et social que connaissaient alors Florence et ses régions avoisinantes (Goldthwaite, 1980). Au Moyen Âge, partout en Europe, la conception d'un édifice était principalement basée sur l'expérience et la connaissance technique des maîtres maçons et se faisait surtout par imitation de parties d'édifices exemplaires construits ailleurs, ce qui pouvait reléguer l'innovation artistique révolutionnaire à un second rang. Pour renouveler l'art et l'architecture à Florence, les responsables et les seigneurs de la ville pouvaient ainsi faire appel à des artisans qui avaient prouvé leur talent dans des disciplines autres mais connexes à la construction. Le talent de ces artisans remarqué dans d'autres arts pouvait alors être considéré comme un gage de réussite et promettre la réalisation d'un édifice avec une nouvelle valeur artistique tout en continuant avec les mêmes prouesses techniques que ceux déjà développées ailleurs. En ce sens, R.A. Goldthwaite (1980) écrit :

« Sculptors, goldsmiths, and furniture-makers were the craftsmen most likely to be called in when someone was needed to design buildings in the early Renaissance, and most of the men we think of as architects came from one of these crafts. These were all craftsmen who (unlike mere wallers) were trained draftsmen with a well-developed design talent and whose sense of design was closely tied to architecture » (p. 357).

Ces artistes innovateurs qui ont été appelés pour préparer une idée pour un édifice l'avait été donc pour leur talent dans un autre art, comme la peinture ou la sculpture par exemple. À l'exception de cas comme la construction de la coupole de Florence (le Duomo), ils n'avaient pas à trop s'inquiéter des problèmes techniques que leurs idées pouvaient poser, car pour la plupart de ces problèmes une solution avait déjà été trouvée auparavant

ou pouvait l'être par les artisans maçons qui allaient concrétiser cette idée. D'ailleurs souvent l'innovation artistique introduite par ces nouveaux concepteurs restait au niveau de l'apparence de l'édifice et ne remettait pas en cause sa structure technique (Goldthwaite, 1980, p. 357). Les artisans maçons possédaient un savoir-faire technique et les artisans artistes des différents autres arts devaient apporter leur savoir-faire artistique. Ce savoir-faire, ces artisans artistes l'auraient notamment développé grâce à leur formation au dessin que la plupart des artisans de la construction ne devaient pas tous nécessairement posséder.

Enfin, un troisième facteur pourrait aussi provenir de la compétence atteinte, à la fin du Moyen Âge, en ce qui concerne l'établissement d'un dessin au moyen de projections orthogonales des parties d'un édifice. En effet, la connaissance des projections géométriques pouvait permettre à des personnes étrangères aux pratiques de chantier de concevoir des édifices graphiquement sans nécessairement avoir suivi un apprentissage pratique particulier par la participation directe à la concrétisation d'un édifice. Au moyen de figurations graphiques fondées sur des notions de mathématiques, notamment acquises à l'école, des personnes ayant un certain sens de la construction, de la résistance des matériaux ainsi que de la structure d'un édifice auraient donc bien pu résoudre géométriquement certains problèmes à caractère technique encourus par des avances artistiques avant même qu'ils ne se présentent sur un chantier. C'est probablement ce qui a permis à Giotto di Bondone (1266-1337), à la fin de sa vie et au début du XIV^e siècle déjà, de devenir un éminent architecte alors qu'au départ il s'était vouait entièrement à la peinture uniquement (Frommel, 1994a, p. 101). En tant que peintre talentueux et un des premiers à travailler en considérant les trois dimensions d'un espace sur une surface plane, il arrivait probablement plus facilement que ses contemporains à se figurer la forme d'une solution architecturale avant même sa concrétisation.

La recherche artistique italienne accompagnée d'un retour aux valeurs antiques venaient donc remettre en question les principes fondamentaux tant conceptuels que constructifs de l'architecture gothique connue surtout dans les pays au Nord des Alpes. Cette recherche du renouvellement artistique de l'architecture a amené les humanistes de Florence à confier la formulation de l'idée des édifices à des artistes connus pour leur talent, formés et confirmés dans d'autres arts. Ces artistes apportaient leur talent ainsi que leur façon de faire de leur métier respectif et les associaient au savoir-faire technique apporté par les artisans de la construction. D'une certaine manière, les artistes et les artisans devaient donc se compléter dans leurs savoir-faire mais se différenciaient par leurs façons de concevoir l'idée d'un édifice. Les artistes pouvaient concevoir principalement au moyen du dessin et les artisans par l'expérience de la pratique. À partir de la fin du XV^e siècle, au

moyen de la figuration architecturale¹ notamment, ces nouveaux concepteurs vont même engendrer une architecture nouvelle, basée sur un vitruvianisme renouvelé. Mais pour s'assurer encore plus efficacement de la valeur artistique des idées qu'ils avançaient, ces nouveaux concepteurs allaient aussi arriver à définir de nouveaux moyens pour figurer un édifice. Il s'agit de la perspective et, jusqu'à un certain point, des maquettes.

5.2. Des principes de la perspective moderne au dessin d'architecture

5.2.1. Découverte des principes de la perspective moderne

L'architecte, sculpteur et orfèvre florentin Filippo Brunelleschi semble avoir été le premier à avoir inventé la perspective géométrique d'après le témoignage de son ami ébéniste et biographe Antonio di Tuccio Manetti (1423-1497) et celui, un siècle plus tard, du peintre, architecte et biographe Giorgio Vasari (1511-1574). En fait, il était le premier à reconnaître empiriquement l'existence de règles scientifiques² pouvant permettre de représenter l'espace architectural rationnellement (Edgerton, 1975; Kubovy, 1986). Ses expériences en optique sur la place du Baptistère de Florence, au début du XV^e siècle, l'amènèrent à développer une méthode effective pour la création de l'illusion de profondeur dont vont se servir surtout les peintres dans un premier temps (Edgerton, 1975). Ce qui est plus certain, c'est qu'il est probablement « le premier architecte qui ait dessiné à l'échelle des plans en projection horizontale et en élévation, selon la méthode de la “mise au carreau” », écrit E. Panofsky (1969, p. 110).

En effet, la perspective de F. Brunelleschi était élaborée non pas selon des notions de projection, au sens géométrique du terme, mais au moyen d'une trame carrée, un quadrillage (Kemp, 1990, p. 22). L'architecte³ L.B. Alberti qui fut le premier, en 1435, à synthétiser les grands principes de la perspective dans son traité sur la peinture, *Della Pittura*, propose une méthode rigoureuse mais délicate, la *costruzione leggitima*⁴, qui consiste à construire point par point un objet dont on connaît déjà les mesures exactes (Comar, 1992, p. 37-38). Dans ce traité, il expose les principes de cette construction mais

¹ Plus tard, avec le Palladianisme, les édifices deviendront même la mise en scène de trois modes de représentation, le plan, l'élévation et la coupe (Boudon, P., 1992).

² Avant Brunelleschi, au XIII^e siècle, le peintre Giotto et quelques uns de ses contemporains comme B. Duccio ou P. Lorenzetti, avaient déjà expérimenté des solutions pour rendre compte de la profondeur des figures et des espaces représentés dans leurs scènes mais sans jamais arriver à les exprimer sous la forme de règles précises, soutenues par des raisonnements théoriques en géométrie ou en optique (Kemp, 1990, pp. 9-11).

³ L.B. Alberti était un humaniste de Florence venu à l'architecture en tant qu'amateur. C'était sa grande curiosité pour les arts et les sciences qui lui a fait découvrir et réfléchir sur l'architecture et la peinture au point d'écrire des traités.

⁴ Construction selon les lois de la géométrie Euclidienne (Flocon et Taton, 1994, p. 43).

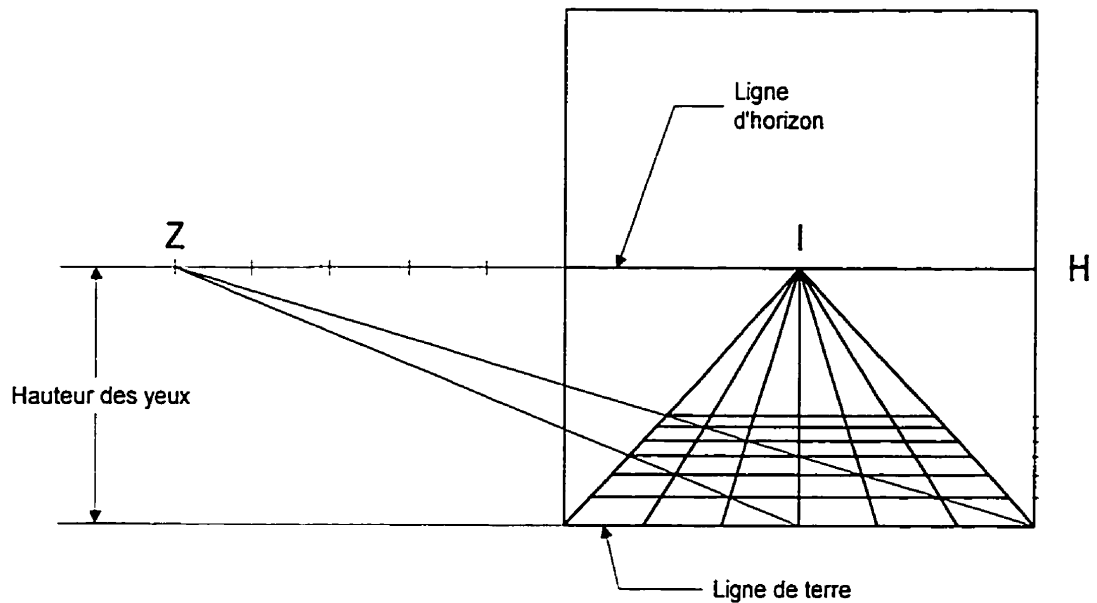


Figure 12 : Construction de la perspective centrale d'après L.B. Alberti

reste confus et manque de figures descriptives pour permettre une compréhension claire du procédé employé par F. Brunelleschi (Sakarovitch, 1990; Lotz, 1977).

La méthode consistait d'abord à préparer sur le support qui allait recevoir la construction perspective, deux vues de l'objet considéré, l'une horizontale (le plan) et l'autre verticale (l'élévation), à une même échelle. Ensuite, en ayant délimité le cadre (la fenêtre sur le monde) dans lequel la construction allait être réalisée, une ligne de terre et une ligne d'horizon sont tracées. La distance entre ces deux lignes correspond à la hauteur de l'œil de l'observateur. Par rapport à cette distance, l'unité de mesure pour la construction est définie et reportée autant de fois que nécessaire sur la ligne de terre. Un point de fuite (infini) est placé au milieu de la ligne d'horizon et un faisceau de droites est formé en joignant ce point aux points marquant les unités de mesure de la ligne de terre. Un nouveau report de l'unité de mesure sur le prolongement extérieur aux limites du cadre de la ligne d'horizon permet alors de spécifier des distances dans le sens de la profondeur. Une fois ces distances reportées, elles permettent ensuite de tirer des parallèles à la ligne de terre qui, avec le faisceau de droites précédent, formeront un quadrillage prêt à recevoir des formes géométriques. Finalement, en superposant aux deux vues préparées un quadrillage défini avec les mêmes unités de mesure, la mise en perspective ne consiste plus qu'à effectuer un report de mesures pour déterminer les points à relier pour obtenir l'image souhaitée. La figure 12 rend compte de la construction d'une perspective selon cette méthode.

En 1470, le peintre Piero della Francesca (1410/20-1492) écrit un nouveau traité¹, *De prospectiva pingendi*², dans lequel il présente pour la première fois les principes de la *costruzione leggitima* de façon claire et au moyen d'illustrations. Mais ces traités et ces principes étaient encore réservés au cercle des initiés de Florence et quelques rares étrangers comme A. Dürer (1471-1528) qui était venu plus tard du Nord de l'Europe pour les étudier. Il fallait en fait attendre le siècle suivant pour voir, grâce à l'imprimerie³, une plus grande diffusion, permettant une étude et un plus grand développement de ces principes par d'autres.

Pour ceux qui avaient pris connaissance des traités et des travaux sur la représentation en trois dimensions, la perspective géométrique permettait alors d'atteindre le nouveau idéal de beauté de la Renaissance qui s'identifiait à l'idée de proportion et d'harmonie des parties (Argan, 1990, p. 10). La convenance géométrique d'Euclide, signifiant les règles relationnelles entre parties d'une même figure, était interprétée et exploitée pour mettre en rapport non seulement les objets et leurs images mais aussi les images entre elles, ce qui fera dire à R. Wittkower (1990, p. 58) que la « "proportionnalité" est le concept mathématique sur lequel repose la théorie perspective de la Renaissance ».

A. Manetti (1978) avait écrit en parlant de F. Brunelleschi que :

« C'est [...] lui qui vers cette époque promut et expérimenta ce que les peintres nomment aujourd'hui perspective, car elle est la partie de cette science de la vision qui consiste à rendre avec exactitude et rationnellement la diminution ou l'agrandissement des choses qui résulte pour l'œil humain de leur éloignement ou de leur proximité : maisons, plaines, montagnes, paysages de toute espèce, et partout les figures et autres choses de la taille correspondant à la distance ; c'est lui qui inventa la règle qui est le fondement de tout ce qui s'est fait depuis lors en la matière » (p. 68).

En fait, d'après A. Manetti (1978), la découverte de F. Brunelleschi est le couronnement d'un long processus de recherche d'une expression rationnelle des relations en trois dimensions de ce que l'œil voit. La rationalité qu'il signale peut venir de la rigueur de la méthode mise au point pour construire la perspective et l'exactitude qu'il mentionne, de la considération de mesures précises. Cette découverte semble avoir été rendue possible grâce à une prise de conscience des relations qui existent entre les objets qui constituent une scène et leur représentation sur un même plan, à une même échelle et avec une méthode basée sur des mesures précises.

¹ D'après A. Flocon et A. Taton (1994), il ne fut imprimé qu'en 1899.

² La perspective du peintre.

³ Le traité *Della Pittura*, la version italienne du *De Pictura* ne fut d'ailleurs imprimée à Nuremberg qu'en 1511.

La perspective visait à permettre une rationalisation de la représentation de l'espace, donner une illusion de profondeur au spectateur et guider son œil vers la clef de la figure ou le lieu de la réalisation d'une action (Kubovy, 1986). Au *Quattrocento*, la « Raison est le fondement de la vie, le fondement de la vie des sens », écrira Argan (1990, p. 19). Pour la construction de la perspective, l'œil de l'observateur devait être central et figé, et la réalité devenait fixe dans l'image pour pouvoir y être mesurée et contrôlée géométriquement. Pour ce faire, la *costruzione legittima* introduira une valeur fondamentale qui est la notion du plan d'intersection avec la pyramide visuelle de l'observateur. Ce plan d'intersection est présenté comme étant capable de reproduire exactement l'image visuelle, celle qui se forme sur la rétine de l'œil, qui d'ailleurs, pour être exacte, aurait dû être construite sur une surface curviligne¹ (Savignat, 1980). E. Panofsky (1991) a largement développé cette notion de concordance de l'image avec la réalité et montre que la perspective n'a pas à être mesurée par rapport à son réalisme, correct ou faux, mais plutôt par rapport aux objectifs poursuivis lors de sa définition par une culture (Edgerton, 1975; Kubovy, 1986). Le souci des humanistes à la Renaissance était de trouver un moyen pour soumettre la réalité naturelle à un rigoureux code de relations artificielles et c'est ce qu'ils ont réussi à atteindre avec la perspective géométrique (Savignat, 1980). Toutefois, cela n'empêche pas une prise de conscience de la valeur d'un procédé comme l'expriment A. Barre et A. Flocon (1968) :

« Nous ne soutenons pas que le seul salut soit dans un réalisme rigoureux, même fondé sur des règles nouvelles. Nous savons que l'art s'exerce dans la liberté conquise. Mais nous savons aussi que la liberté que prend avec les règles celui qui les connaît est sans commune mesure avec la prétendue liberté de celui qui les ignore » (p. 18)

Au delà de l'image produite, la construction de la perspective procède selon une méthode géométrique particulière qui introduit les notions d'échelle, de quadrillage et de double projection orthogonale que F. Brunelleschi semblait parfaitement maîtriser (Panofsky, 1991). En effet, pour réaliser une perspective linéaire on utilise deux vues à une même échelle et quadrillées pour permettre la mesure, qui sont toutes deux des projections orthogonales d'un même objet (ou un espace bâti) sur deux plans distincts. A. Manetti (1978, p. 137) rapporte que F. Brunelleschi pouvait travailler d'après des dessins, ce qui apparemment l'aura beaucoup aidé à définir la perspective. Cependant, si telle a été la pratique de F. Brunelleschi, elle semble néanmoins avoir été un cas isolé car plusieurs dessins d'architecture produits par ses contemporains ne témoignent pas toujours entièrement de ce procédé.

¹ A. Flocon et A. Barre (1968) proposent une perspective curviligne à champ visuel complet tenant compte de la physiologie de la perception des formes de l'observateur. Voir aussi A. Flocon et R. Taton (1963) pour une description sommaire de différents types de perspectives.

5.2.2. Des premiers dessins d'architecture

Les dessins d'architecture de F. Brunelleschi¹ et de L.B. Alberti ne nous sont malheureusement pas parvenus. Il n'est donc pas possible, du moins pour nous, d'estimer l'habileté en matière de géométrie et de graphisme de ces deux architectes. Cependant, le biographe A. Manetti (1978) mentionne dans les années 1480 que son ami F. Brunelleschi employait plus souvent des modèles que des dessins, ce qui peut donc laisser penser que la préparation de dessins d'architecture était restée encore assez limitée au début de la Renaissance. Pour les chantiers, F. Brunelleschi semblait même privilégier la parole aux modèles réduits et aux dessins pour la communication avec les acteurs de la construction. Il ne réalisait (ou ne faisait réaliser) semble-t-il de modèles réduits détaillés que lorsque cela lui était exigé de la part de ses clients ou quand il se trouvait confronté à un problème technique particulier. Il lui arrivait même parfois de n'établir que le plan de l'édifice et de présenter verbalement l'aspect que allaient avoir ses élévations² lorsque la réalisation était déjà entamée, à la manière en quelque sorte des médiévaux. A. Manetti (1978, p. 144) écrivait que pour l'église de San Spirito par exemple, F. Brunelleschi faisait « un dessin sur lequel était seulement le plan de l'édifice, et il leur dit de vive voix comment serait l'élévation ». J. Sakarovitch (1990) fait remarquer que cette pratique est très voisine de celle de personnages de l'histoire comme M. Roriczer et H. Schmuttermayer qui avaient vécu un siècle plutôt, et que même A. Dürer avait reprise ensuite. Ces personnages du Moyen Âge considéraient le plan comme un objet et non comme une projection et, grâce à un système de proportion, pouvaient en « tirer »³ l'élévation.

En fait, le dessin d'architecture mettra quelques décennies avant d'être suffisamment défini pour pouvoir être considéré pour la figuration d'une solution architecturale, comme le montre C.L. Frommel (1994a). Après la sortie autour de l'an 1450 du nouveau traité de L.B. Alberti sur l'architecture, *De re ædificatoria*⁴, où il décrit une nouvelle théorie de l'architecture inspirée du traité de Vitruve, seuls quelques membres d'un cercle d'initiés de Florence avaient pris connaissance et des principes de la perspective et des distinctions qu'apportait alors L.B. Alberti par rapport aux différentes méthodes pour la figuration d'un édifice. Dans son nouveau traité, L.B. Alberti précise notamment la différence entre un dessin en perspective et les dessins en projections orthogonales qu'il considère plus adaptés au travail de l'architecte parce qu'ils donnent la mesure juste dont aurait besoin

¹ À l'exception d'un dessin qui se trouve à la galerie d'Uffizi que mentionne R.T. Blomfield (1912).

² La façade inachevée de l'église Saint-Laurent à Florence qui a fait l'objet de plusieurs projets dont ceux de Michel Ange est un exemple encore aujourd'hui visible de la pratique architecturale de Brunelleschi.

³ Du terme allemand *ausziehen* qui signifie retirer de ou extraire de.

⁴ Ce traité ne fut publié qu'en 1486 et traduit en italien par Cosimo Bartoli en 1550 (Jestaz, 1995).

l'architecte pour réaliser son édifice. Mais il indique également l'importance des maquettes en bois qui, selon lui, offrent une plus grande assurance à l'architecte de voir comment la solution architecturale pourrait être réalisée. Le modèle en bois offre, selon C.L. Frommel (1994a) d'après une interprétation d'une expression¹ de L.B. Alberti, « the definitive information about site and arrangement, about the thickness of walls and vaults, or about the costs of the construction » (p. 105). Pour L.B. Alberti, les dessins en projection orthogonale qui servent déjà à la fabrication de la maquette et la maquette elle-même ne sont pas deux alternatives mais deux figurations complémentaires et nécessaires à la réalisation d'un projet d'architecture.

Les activités des sculpteurs Antonio Averlino, dit Filarete (1400-1469), et Francesco di Giorgio (1439-1502) illustrent la façon dont les idées de F. Brunelleschi et de L.B. Alberti avaient été reçues vers le milieu du XV^e siècle. Ils avaient tous deux étudié et représenté les ruines de la Rome antique à des moments différents du XV^e siècle, avant de se consacrer à l'édification de bâtiments. Cependant, ils sont tous deux natifs de villes différentes, respectivement Florence et Sienne, et sont séparés en âge d'une génération. Filarete appartenait au cercle des initiés dont faisait partie L.B. Alberti mais F. Giorgio n'en faisait pas partie ; cette différence peut se voir dans les dessins qu'ils réalisaient des ruines romaines (Frommel, 1994a, p. 106).

Filarete faisait d'abord un dessin sommaire (*disegno in di grosso*) puis réalisait un dessin proportionné (*disegno proporzionato*) sur la base d'une grille orthogonale à la manière de ce que L.B. Alberti avait préconisé dans son traité sur l'architecture et indiqué pour la construction de la perspective. Ensuite, à partir d'un dessin à l'échelle, il pouvait fabriquer une maquette (*disegno rilevato*). Et malgré quelques difficultés parfois à construire une perspective, il n'hésitait pas à l'occasion à présenter à ses clients des élévations dessinées selon cette méthode pour leur permettre de mieux apprécier son idée (Frommel, 1994a, p. 106). Quant aux dessins de F. Giorgio, ils étaient d'une facture semblable à celle connue avant la découverte des principes de la perspective moderne. Ses dessins étaient trop simples et pas assez précis, d'après C.L. Frommel (1994a), pour permettre la fabrication d'une maquette du bâtiment relevé, par exemple.

Les travaux de F. Brunelleschi et de L.B. Alberti auront une influence grandissante sur les peintres et les architectes de la Renaissance à partir de la fin du XV^e et au début XVI^e siècle. Comme en témoigne la qualité d'exécution de certains dessins² produits et

¹ « non perscriptione modo et pictura, verum etiam modulis exemplariisque factis asserula ».

² Voir le catalogue de l'exposition, *Renaissance, from Brunelleschi to Michelangelo, the Representation of Architecture*, qui s'est tenue à Venise, Washington et Paris en 1994 et 1995 sous la direction de H.A. Millon (1994).

conservés de cette période, cette influence est surtout perceptible dans le cercle des initiés à l'architecture formé autour de Donato Bramante (1444-1514) et dont faisaient partie notamment Antonio da San Gallo le jeune et Raphaël (Blomfield, 1912; Frommel, 1994c). À commencer par D. Bramante, les peintres qui étaient déjà ou devenaient très vite architectes ont montré une dextérité de plus en plus évidente à représenter un édifice au moyen de la perspective et des trois projections orthogonales, l'élévation, le plan et la coupe. Ils ont mis à contribution cette dextérité pour la réalisation des projets d'architecture qui leur étaient confiés, et la façon dont ils l'ont fait laisse penser que leur dextérité a eu beaucoup d'influence sur la pratique des architectes par la suite. L'étude détaillée de l'évolution d'un projet d'architecture à cette période, celui de la Basilique de Saint-Pierre à Rome, réalisée par C.L. Frommel (1994a, 1994c) montre comment la figuration architecturale pouvait avoir été mise à contribution pendant la conception d'un édifice.

5.3. Figuration architecturale et les entreprises vaticanes

5.3.1. Le projet de la Basilique de Saint-Pierre à Rome

Entre 1503 et 1504, D. Bramante est nommé à Rome comme architecte en chef du Pape Julius II. Là, il est chargé par le Pape de l'étude du projet de la construction de la Basilique de Saint-Pierre. Avant 1499, D. Bramante avait vécu environ vingt années à Milan où il a étudié l'architecture de la cathédrale gothique de cette ville. De cette cathédrale, il a pu apprécier les principes de construction ainsi que la correspondance que sa structure établit entre l'intérieur et l'extérieur de l'édifice. Il avait également connu P. Francesca de qui il a probablement appris les principes de la perspective décrits par L.B. Alberti et les techniques nécessaires à l'établissement des trois projections orthogonales. Il ne s'était pas encore vraiment intéressé aux ruines de Rome en allant faire leur relevé. Il avait développé un sens organique des édifices et s'intéressait à l'espace au moyen de la perspective en invitant l'observateur à y pénétrer et à y observer les parties comme un tout organisé. Il avait préparé des élévations pour ses réalisations à Milan avec une précision et un détail, d'après C.L. Frommel (1994a, p. 111), qui probablement n'avaient jamais été égalés avant à la Renaissance. C'est avec de tels antécédents et cette préparation que D. Bramante va prendre en charge le projet de la construction de la Basilique.

Pour réaliser le projet de la Basilique, D. Bramante se consacre d'abord à l'étude des ruines antiques romaines en essayant de comprendre et la différence qui existe entre les différents types d'édifices rencontrés et la façon dont ils avaient été construits. Il en fait des croquis en perspective et en plan à l'échelle comprenant des mesures et des détails pouvant servir à leur analyse. L'étude de ces ruines l'amène plus tard à développer des esquisses pour le projet de la Basilique dont il discute les principes avec le Pape. Après

l'acceptation du Pape de ces premiers principes, D. Bramante invite son assistant qui était alors Antonio di Pellegrino et auquel se joindra, en 1510, Antonio da Sangallo à développer le dessin proportionné pour son projet. Ce dessin est une figuration du caractère idéal de la solution retenue, c'est-à-dire non destiné à l'exécution. La solution est alors dessinée selon une projection orthogonale en plan sur la base d'une grille à l'échelle définie en fonction de la grandeur du parchemin utilisé et d'une unité de mesure équivalente à la moitié de la largeur considérée pour l'aile centrale du chœur de la Basilique projetée.

Le dessin en plan de cette première proposition a été conservée et est reproduit en figure 13. Il ne comprend qu'une partie de la solution envisagée et les limites externes paraissent n'être pas encore définies de façon définitive. Les dimensions y sont approximatives et les murs sont indiqués en plein avec une forme géométrique simplifiée et avec une couleur distinctive. Un examen rapproché permet de voir une inscription au bas du parchemin indiquant l'échelle considérée pour le dessin. On ignore si ce plan faisait partie d'une triade plan/élévation/coupe mais on suppose que différentes esquisses auraient pu être présentées en même temps au Pape afin qu'il puisse prendre connaissance de la proposition de D. Bramante.

Si le plan de la Basilique n'a été volontairement dessiné qu'à moitié c'est que D. Bramante devait probablement trouver qu'il était suffisant pour communiquer avec le Pape relativement aux principes qui sont derrière sa proposition. Comme le Pape devait avoir participé activement à l'élaboration de la proposition pendant les discussions qu'il

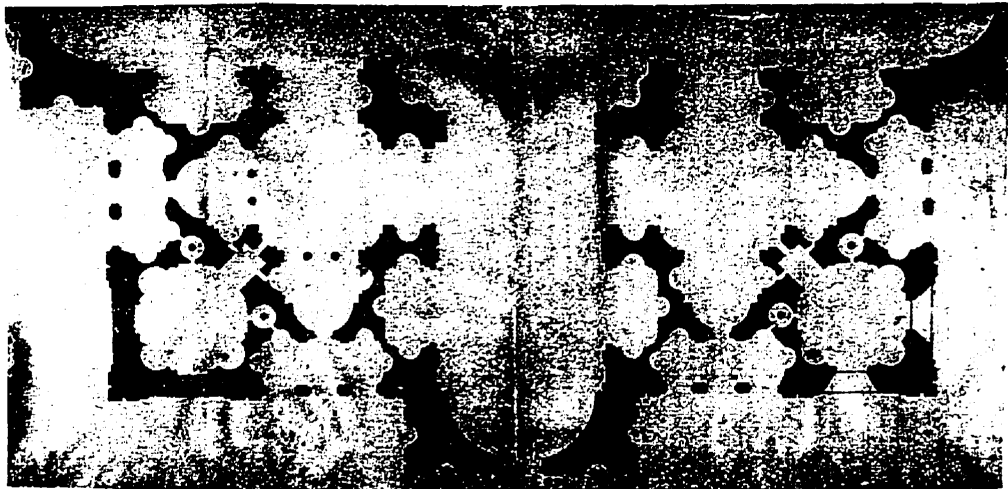


Figure 13 : Dessin en plan d'une proposition de D. Bramante pour la Basilique Saint-Pierre à Rome

avait eues avec D. Bramante, ce dessin devait donc leur suffire pour imaginer comment le reste de la solution architecturale allait pouvoir être complétée. Le plus important à ce stade de la démarche de conception était sans doute d'arriver à une entente précise sur l'emplacement et la façon de définir le cœur de la Basilique. Le reste de la solution allait pouvoir ensuite être développée du côté de la partie inachevée en longueur ou par symétrie selon les mêmes principes qui ont guidé la formation de la partie de la solution dessinée. Ces principes pouvaient être relativement faciles à comprendre puisqu'une grille orthogonale régulière les soutenait en arrière plan. Comme il s'agissait d'un dessin simple, cette grille pouvait être facilement imaginée par le Pape. La simplicité du dessin est notamment due à la géométrie simplifiée des contours des murs et à la forte distinction apportée par la couleur pour marquer la différence entre le plein des murs et le vide des espaces.

Cependant, et malgré tout l'effort de persuasion que D. Bramante met pour convaincre le Pape du fondé de son idée, lorsque le Pape examine le dessin, l'idée proposée est rejetée. D. Bramante reprend alors sa démarche de conception et prépare une nouvelle série d'esquisses basées sur une grille orthogonale. Pendant cette nouvelle phase de la démarche, D. Bramante élabore des élévations pour expliquer les différentes parties de la solution qu'il envisage. Il approfondit ses idées et entreprend également une nouvelle série de vues en perspective pour étudier l'effet de la lumière sur différents espaces et à partir de points de vue stratégiques. Son adresse et son aise avec le dessin lui permettront même de développer plusieurs alternatives superposées sur un même parchemin avec une rigueur méthodique qui permet encore aujourd'hui de reconnaître les différentes phases de sa démarche. Cette superposition de différents plans fait dire à C.L. Frommel (1994a, p. 112) que aucun autre « project of Renaissance architecture has provided such an ample example of the gradual genesis of a complex organism ». Sur ce parchemin il est même possible de distinguer les premiers traits et cercles tracés à la règle et au compas ainsi que les traits de plus en plus nombreux tracés par la suite à main levée.

Lorsque le Pape accepte finalement la nouvelle idée développée par D. Bramante, celui-ci peut alors étudier plus en détail les aspects statiques, fonctionnels et esthétiques des différentes parties de la solution architecturale. Ce n'est qu'une fois ces études achevées qu'il est enfin prêt à dessiner les élévations exactes de la solution et à préparer au printemps 1506 sa maquette en bois. La maquette comme la grille vont lui servir principalement comme outils de travail en ce qu'ils lui permettent de préciser et de vérifier les idées qu'il propose. À partir du dessin en plan et en élévation et de la maquette de la solution retenue, il développe un projet d'exécution en préparant le plus de détails possible de manière à permettre aux acteurs sur le chantier de construction de disposer des indications nécessaires pour entamer les travaux de concrétisation de cette solution.

Pour les acteurs sur le chantier, D. Bramante prépare les détails de la solution en fonction de l'avancement des travaux de construction réalisés. Au départ, on peut s'imaginer qu'il ne communique avec les acteurs sur le chantier que relativement aux détails concernant l'emplacement de la partie à construire et aux fondations à préparer. Ensuite, au fur et à mesure de la réalisation de ces premières opérations, il élabore de nouveaux détails qui vont permettre aux acteurs du chantier de monter, par exemple, les premiers éléments porteurs de la solution. Il pouvait poursuivre ainsi cette préparation des détails jusqu'à la concrétisation complète de la solution.

Pour C.L. Frommel (1994a) :

« Neither the architect nor the patron denied the possibility of introducing alterations, even during the building process itself. Since the details were elaborated only when the building process reached a stage that made them necessary, the modifications of the forms also reflected the architect's own maturity [...] » (p. 113).

Cette préparation progressive des détails pour la construction permettait à D. Bramante, comme au Pape d'ailleurs, d'envisager de nouvelles alternatives pendant qu'avançaient les travaux de concrétisation. En percevant les résultats déjà atteints pendant ces travaux, D. Bramante et le Pape pouvaient comprendre la solution envisagée d'une façon nouvelle, sans l'intermédiaire de dessins. Ajoutant à cette nouvelle compréhension une maturation supplémentaire de la définition du problème de départ et de la solution préconisée, cette élaboration progressive des détails au niveau du chantier devait permettre une flexibilité qui autorise des modifications pour l'adaptation de la solution à de nouvelles exigences. Mais cette définition progressive impliquait également une collaboration étroite entre les acteurs du chantier et celui qui élaborait les détails.

Pour connaître les besoins en détails des acteurs sur le chantier, D. Bramante devait aussi suivre de près la construction de la Basilique. Alors qu'il était responsable des aspects techniques et artistiques du projet, il devait sans doute avoir eu des discussions régulières et approfondies avec celui qui était en charge de l'activité sur le chantier de construction, c'est-à-dire Giuliano Leno (Frommel, 1994c, p. 413). Au fur et à mesure que les travaux sur le chantier avançaient, G. Leno et D. Bramante pouvaient considérer ensemble les problèmes d'ordre technique et artistique qui se présentaient à eux en communiquant et en partageant leurs expériences et connaissances. Cela devait probablement exiger des deux, G. Leno et D. Bramante, une présence et le partage d'un même vocabulaire.

En 1514, le pape Julius II décède et Léon X lui succède au Vatican. À cette date, alors que les piliers ainsi que la voûte du chœur étaient déjà réalisés, le nouveau pape

formule des intentions plus grandioses pour le projet en suggérant pour la Basilique une taille plus imposante et un style architectural plus proche de l'antiquité romaine. D. Bramante va alors s'efforcer de réaliser ces nouvelles intentions jusqu'à son décès l'année suivante, en 1515. Il portera son attention plus particulièrement à la conception du dôme pour lequel, toujours d'après C.L. Frommel (1994a, p. 114), il aurait dessiné à la même échelle la première triade plan/élévation/coupe conservée à ce jour et qui comprend des axes. La présence et la façon dont ces axes sont distribués dans le dessin laissent penser que D. Bramante s'en serait servi pour résoudre des problèmes concernant les aspects de la structure du futur édifice. En mettant à contribution la connaissance qu'il avait acquise antérieurement des structures gothiques, D. Bramante pouvait avoir essayé de définir graphiquement, en dessinant ces axes et la triade orthogonale, une solution pour cette structure.

À la mort de D. Bramante, c'est Raphaël, de son vrai nom Raffaello Sanzio (1483-1520), qui reprend alors la direction du projet de la Basilique Saint-Pierre à Rome. Le pape Léon X nomme Raphaël probablement parce qu'il était considéré comme l'héritier du savoir de D. Bramante. A. da Sangallo le jeune était plutôt considéré comme l'expert technique de D. Bramante et n'avait encore acquis ni l'adresse ni une méthode comparables à celle avec lesquelles Raphaël réussissait à créer l'illusion de l'espace dans ses réalisations architecturales et artistiques. Toutefois, A. Sangallo devient assistant de Raphaël et les deux vont travailler ensemble au nouveau projet pour la Basilique dont les travaux reprennent après un arrêt forcé en automne 1519. À la mort de Raphaël l'année suivante, en 1520, c'est cette fois-ci à A. Sangallo que revient la direction des travaux et il est alors assisté de Baldassarre Peruzzi (1481-1536). À leur tour, ils vont travailler à la réalisation de ce projet jusqu'à ce qu'en juin 1539, la Congrégation de Saint-Pierre exige d'eux la préparation d'une maquette du projet à l'échelle 1:30. La Congrégation voulait ainsi s'assurer de la faisabilité du projet et non pas vérifier s'il était suffisamment avancé pour entamer de nouveaux travaux. Après toutes les solutions qui avaient été proposées depuis tant d'années, les commissionnaires du projet avaient besoin de comprendre la solution atteinte à partir d'une maquette (Frommel, 1994c, p. 423). Mais le choix d'une maquette au lieu d'un dessin a peut être aussi été motivé par la façon dont A. Sangallo présentait alors ses solutions.

En effet, lorsque Raphaël était responsable du projet de la Basilique, il partageait également un autre projet avec le pape Léon X, celui de la reconstruction de la Rome ancienne. A. Sangallo qui l'assistait alors était probablement celui qui avait le plus encouragé et contribué au développement de l'idée de ce projet. Sa réflexion sur ce projet l'a peut-être amené à définir une méthode de figuration en architecture nouvelle comme l'atteste la lettre envoyée par Raphaël à la fin de sa vie au pape Léon X.

5.3.2. Lettre ou mémorandum de Raphaël au pape Léon X

Devant l'intérêt à la Renaissance pour les sciences classiques, l'atmosphère était propice à l'étude et à la préservation de tout ce qui pouvait rappeler la Rome antique, dont ses ruines. Mais ces ruines étaient déjà dans un état vétuste et menaçaient de disparaître si rien n'était entrepris à temps pour les conserver. C'est ce qu'avait constaté Raphaël qui, dans une longue lettre adressée au pape Léon X, déjà sensibilisé au problème de la détérioration du patrimoine bâti de l'antiquité, propose un projet de conservation de ces ruines (Burckhardt, 1958, p. 33).

Cette lettre ou mémorandum¹ décrivait un projet ambitieux qui consistait à constituer une carte (ou dossier) générale de la Rome antique comprenant des textes et les relevés précis de chaque édifice encore visible. Il s'agissait de conserver, et même de reconstituer sur papier, au moyen de dessins aux mesures exactes, l'apparence de tous les édifices qui pouvaient encore être répertoriés (Jobst, 1994, p. 439). Après avoir souligné au pape l'importance du problème de la sauvegarde des ruines et rappelé la gloire de l'ancien empire romain, Raphaël détaille dans sa lettre la méthode pour réaliser ce projet. Voici, dans les extraits² de la lettre qui suivent, comment Raphaël décrit sa méthode.

Il commence par faire une introduction en écrivant :

« Puisque la manière de dessiner plus particulière à l'architecte n'est pas la même que celle du peintre, je dirai laquelle me semble convenable pour faire entendre toutes les mesures et savoir trouver tous les membres d'un bâtiment sans erreur. Donc le dessin des bâtiments propre à l'architecte se divise en trois parties, dont la première est le plan, la deuxième est la face extérieure avec ses ornements, la troisième est la face interne, aussi avec ses ornements » (Jestaz, 1995, p. 138).

Dès le départ, Raphaël fait la distinction entre la façon de dessiner du peintre et celle de l'architecte en précisant quels sont les objectifs recherchés par le dessin en architecture. À la façon dont Raphaël mentionne ces objectifs, il semble qu'il s'agit pour lui seulement d'un rappel d'une évidence partagée par plusieurs de ses contemporains. Pour lui, l'architecte dessine pour permettre de comprendre les mesures du bâtiment et son organisation. Il emploie le terme « membre » laissant penser à une articulation d'un tout cohérent, le bâtiment. La méthode qu'il préconise est proposée pour atteindre ces objectifs avec exactitude. Il base sa méthode sur la triade plan/élévation/coupe mais en

¹ Il existe plusieurs versions de ce mémorandum et il a déjà été attribué à différents auteurs. Christoph Jobst (1995, p. 439) discute de l'authenticité des différentes versions retrouvées et leur contenu.

² Il existe plusieurs traductions de cet extrait de la lettre de Raphaël. Après l'examen de plusieurs d'entre elles, c'est celle de B. Jestaz, (1995, p. 138-139) qui a été retenue principalement parce qu'elle est complète et semble rendre fidèlement compte des idées originales de l'auteur.

ayant recours à des termes différents. Au lieu de parler d'élévation et de coupe, il introduit le terme « face » qui lui permet de faire la distinction entre un intérieur et un extérieur d'un bâtiment. Ce vocabulaire laisse donc supposer une conception non pas technique mais plus spatiale et organique de ces dessins.

Raphaël développe ensuite chacune des parties du dessin de sa méthode en commençant par le plan. Il écrit :

« Le plan est celui qui répartit tout l'espace plan du lieu à bâtir, c'est-à-dire le dessin des fondations de tout le bâtiment quand il est déjà au ras du sol. Et cet espace [bâti], bien qu'il soit en élévation, il faut le réduire à plat et faire en sorte que la section des maçonneries, plane et mise à plat, soit parallèle à tous les niveaux du bâtiment, et pour ce faire, il faut prendre la perpendiculaire à la base des maçonneries... de sorte que tous les murs du bâtiment tombent à plomb sur elle et à la verticale. Ce dessin s'appelle plan, comme j'ai dit, car de même que ce plan occupe tout l'espace des fondations de tout le bâtiment, de même la plante [*jeu de mot intraduisible*] du pied occupe l'espace qui est le fondement de tout le corps » (Jestaz, 1995, p. 138).

Pour Raphaël donc, le plan a pour fonction de répartir l'espace. Ce plan permet de distribuer les espaces d'un bâtiment sur une étendue, le lieu où le bâtiment va être (ou a été) construit. En utilisant l'expression « à bâtir », Raphaël place d'emblée le plan par rapport à une intention et anticipe un état d'un bâtiment non encore nécessairement construit. Il emploie des expressions de chantier comme « fondations » et « à plomb » et fait allusion à la durée en se servant d'un adverbe de temps, « déjà », qui laissent penser qu'il conçoit ce plan en rapport à un processus de construction et non de développement d'une idée du bâtiment. Pour dessiner ce plan, il suggère également qu'il faille passer par une réduction par rapport à la troisième dimension mais que, pour ce faire, celui qui dessine le plan doit déjà savoir comment un bâtiment va se présenter, une fois construit. Il finit par faire un rapprochement à la plante du pied pour montrer probablement l'importance de l'établissement de ce plan par rapport aux deux autres parties du dessin qui restent encore à préparer. Il les présente d'ailleurs tout de suite après en commençant par la face extérieure du bâtiment comme suit :

« Une fois dessiné le plan et divisé avec ses membres [murs de refends] avec leurs dimensions, qu'il soit rond ou carré ou toute autre forme, on doit tracer, en mesurant toujours le tout avec l'échelle, une ligne qui ait la largeur à la base de tout le bâtiment, et du milieu de celle-ci tracer une autre ligne perpendiculaire qui fera d'un côté comme de l'autre deux angles droits, et celle-ci marquera le milieu du bâtiment. Des deux bouts de la ligne de largeur, on tracera deux lignes parallèles, perpendiculaires à la ligne de base, et ces deux lignes auront la hauteur que doit avoir le bâtiment. Puis entre ces deux lignes extrêmes qui feront la hauteur, on placera la mesure des colonnes, des

trumeaux, des fenêtres et des autres ornements indiqués en façade sur le plan du bâtiment, et on fera le tout en traçant toujours, de chaque extrémité des colonnes, des piliers [pilastres ou trumeaux ?], des ouvertures etc., des lignes parallèles à celles des deux extrêmes. Ensuite on posera par le travers la hauteur des bases des colonnes, des chapiteaux, des architraves, des fenêtres, frises, corniches etc. Et tout cela sera fait par des lignes parallèles à celle du plan du bâtiment. Et dans de tels dessins, on ne fera pas de raccourci aux extrémités (même si le bâtiment est rond ou encore carré) pour en montrer deux faces, parce que l'architecte, d'un raccourci, ne peut tirer aucune mesure exacte, ce qui est nécessaire dans un tel art qui a besoin que toutes les mesures soient réellement parfaites et tracées par des lignes parallèles, et non pas des lignes qui rendent l'apparence et non la réalité. Et si à l'occasion des mesures [tracés] de forme ronde sont raccourcies ou diminuées, on les trouve aussitôt sur le plan, comme les voûtes, les arcs, les triangles, elles sont ensuite parfaites dans les dessins géométraux. C'est pourquoi il faut toujours avoir toutes prêtes [sur l'échelle] les mesures exactes des paumes, des pieds, des pouces et des lignes jusqu'aux plus petites » (Jestaz, 1995, p. 138-139).

La méthode proposée pour le tracé de la face extérieure d'un bâtiment part donc directement du plan déjà dessiné à l'échelle et en fonction de mesures précises. Pour dessiner la face extérieure, le dessinateur reporte par projections orthogonales les dimensions horizontales du plan sur une ligne qui va lui servir ensuite de base au reste du tracé. Pour le report et le tracé, il considère des principes géométriques simples comme la perpendicularité et le parallélisme mais avec une rigueur qui interdit les raccourcis. Raphaël insiste sur le fait que la face extérieure doit être dessinée pour rendre compte de la réalité et non de l'apparence. D'après l'emploi du terme « extrémité » et de la référence faite aux peintres en introduction à sa méthode, il s'agit probablement de raccourcis se rapportant à la notion de point de fuite et à l'emploi de la perspective à laquelle est associée à la Renaissance l'apparence. Pour Raphaël, la réalité semble pouvoir être rendue par l'exactitude des mesures et la rigueur apportée par la considération de principes géométriques. Ces principes lui permettront d'ailleurs, de la même façon, de réaliser son dernier dessin, la face intérieure, qu'il définit ainsi :

« La troisième partie du dessin est celle que nous avons dite et appelée la face interne avec ses ornements, et celle-ci n'est pas moins nécessaire que les deux autres. Elle est faite de la même manière à partir du plan par des lignes parallèles, tout comme la face extérieure, elle montre de l'intérieur la moitié du bâtiment comme s'il était coupé par le milieu, elle montre la cour, le rapport de niveau entre la corniche extérieure et les intérieurs, la hauteur des fenêtres, des portes, des arcs et des voûtes, qu'elles soient en berceau, d'ogives ou toute autre forme. En somme, avec ces trois ordres ou plutôt modes [de dessin], on peut considérer en détail toutes les parties de toutes les parties de tout bâtiment, à l'intérieur et à l'extérieur » (Jestaz, 1995, p. 139).

Pour décrire la façon de tracer la face intérieure d'un bâtiment Raphaël écourte son explication et renvoie à la description précédente du tracé de la face extérieure. Il prend soin cependant de rappeler que ce dessin est tout aussi important pour la compréhension du bâtiment que les deux autres, c'est-à-dire le plan et la face extérieure. Il tente d'expliquer la façon de dessiner cette face intérieure en la comparant à la face extérieure et en faisant appel à l'analogie d'une coupe supposée d'un bâtiment. Il montre que la face intérieure complète la face extérieure en laissant voir ce qu'il y a derrière cette face, les espaces, la cour, les différences de niveaux et les hauteurs intérieures. Il précise que cette face permet également de compléter l'information nécessaire à la compréhension de formes de voûtes ou d'arcs, dessinées sur les deux autres parties du dessin du bâtiment.

Ainsi, Raphaël « finit par établir ce principe, qui a prévalu depuis, qu'il convient de « relever » les monuments anciens en indiquant à part le plan, la coupe et l'élévation » (Burckhardt, 1958, p. 33). L'intérêt de Raphaël pour l'archéologie et sa responsabilité du chantier de la Basilique de Saint-Pierre à Rome l'ont amené à insister sur la nécessité de la mesure exacte qui l'a conduit à proposer le tracé séparé de trois dessins à une même échelle et en projection orthogonale, le plan et les deux faces extérieure et intérieure d'un bâtiment. Cette recherche de la mesure exacte lui fait abandonner la perspective aux peintres parce qu'elle ne permet à l'architecte que d'apprécier l'apparence d'un bâtiment. La réalité du bâtiment qu'il conçoit dans la mesure ne peut, d'après lui, être comprise que par les trois projections qu'il propose et par leur comparaison. Pour bien comprendre un bâtiment, Raphaël suggère de considérer ces trois projections en même temps et d'établir une correspondance entre elles qui demande un exercice d'abstraction que ne requiert pas la vue d'un dessin en perspective. L'avantage de disposer de la mesure exacte justifiait pour Raphaël cet exercice d'abstraction pour le rétablissement des relations qui existent entre les projections des différentes parties intérieures et extérieures d'un bâtiment (Lotz, 1977, p. 30).

La méthode proposée par Raphaël constitue en quelque sorte le prolongement de la méthode employée par son prédécesseur à la direction du chantier de la Basilique Saint-Pierre (Frommel, 1994a, p. 117). D. Bramante employait déjà les trois projections orthogonales pour formuler ses propositions pour le projet mais supervisait lui-même les travaux du chantier de construction, ce qui pouvait donc ne pas l'avoir amené à considérer plus en détail cette technique de dessin. Par contre, Raphaël pouvait être impliqué dans plusieurs projets à la fois et probablement pour cela il devait aussi déléguer la supervision du chantier à des assistants. Sans arriver à établir de façon définitive son hypothèse mais en établissant uniquement des parallèles avec des événements qui se sont produits à cette période de la Renaissance, W. Lotz (1977) suppose que :

« Burdened as he was with numerous other commissions, Raphael had to derive a method that could specify his architectural intentions so as to ensure the continuance of the work even during his absence. To achieve this goal he needed a second architect, one who could interpret the plans and supervise their execution on the site » (p. 23).

Si la supposition de W. Lotz (1977) peut être retenue alors il est possible de considérer que la méthode proposée par Raphaël était d'abord et avant tout destinée à permettre aux responsables de la supervision du chantier d'établir une communication relative à la concrétisation du projet d'architecture. Elle aurait permis au responsable en chef du projet de s'absenter alors que l'assistant qui devait savoir interpréter les trois projections orthogonales continuait à superviser la concrétisation de la solution envisagée. La méthode proposée pouvait permettre à Raphaël de préciser dans le détail, avec des mesures exactes, quelle « réalité » du bâtiment il désirait que son assistant considère avec les acteurs du chantier. Ainsi, Raphaël et son assistant pouvaient devancer la demande en information des acteurs du chantier. Cette supposition est d'autant plus plausible que l'assistant de Raphaël était à ce moment du projet nul autre que A. da Sangallo¹, un architecte qui maîtrisait mieux que quiconque à cette période de la Renaissance cette méthode des trois projections (Lotz, 1977, p. 31; Frommel, 1994a, p. 117).

À partir du moment où A. da Sangallo prend la direction du projet de la Basilique de Saint-Pierre, la pratique du dessin des trois projections orthogonales va s'intensifier et progressivement faire son chemin jusqu'à devenir la technique graphique des architectes. W. Lotz (1977, p. 32) remarque que l'introduction de cette façon de représenter un bâtiment coïncide exactement avec la distinction entre les professions d'architecte et de peintre. En 1570, A. Palladio (1508-1580) qui avait une formation comparable à celle de A. da Sangallo a même publié un traité sur l'architecture, *Quattro Libri*, dans lequel les dessins sont uniquement basés sur la méthode des trois projections (Lotz, 1977, note 92).

En somme, les entreprises vaticanes avec le projet de la Basilique de Saint-Pierre à Rome et le projet pour le relevé des ruines de la Rome antique ont catalysé la définition de la méthode décrite par Raphaël dans sa lettre au pape Léon X. Cette méthode semble avoir été développée au départ pour permettre aux acteurs qui supervisent la construction d'un bâtiment d'établir entre eux les détails de cette construction. Cette finalité a amené Raphaël à constater l'importance de la mesure ainsi que celle de la notion d'échelle permettant d'établir les projections orthogonales que cette méthode implique. Et finalement, compte tenu de son intérêt pour les ruines antiques et leur préservation, Raphaël propose cette méthode également pour la conservation de ces ruines sur papier. Mais cette méthode

¹ Dans l'opinion de W. Lotz (1977, p. 31), A. da Sangallo aurait même participé au développement de la méthode des projections proposée par Raphaël au pape Léon X.

est le fruit d'un long développement qui à la Renaissance a duré au moins un siècle pendant lequel d'autres projets d'architecture étaient également réalisés. Les acteurs qui communiquaient entre eux pour concevoir ces projets n'employaient pas encore la méthode proposée par Raphaël et n'avaient donc pas encore besoin de considérer un exercice d'abstraction comme celui exigé pour la compréhension des dessins réalisés selon sa méthode.

5.4. Communication et projet d'architecture

5.4.1. Un nouveau vocabulaire

Au début de la Renaissance, l'association au processus de conception architecturale d'un nouveau profil d'acteurs a aussi introduit un besoin nouveau, celui de la définition d'un vocabulaire susceptible d'être compris par tous les acteurs de ce processus. Cette définition, comme nous l'avons vu ci-dessus avec l'exemple de la réalisation de la Basilique Saint-Pierre, devait se faire très progressivement pour aboutir à la méthode des dessins par projection orthogonale proposée par Raphaël. Cependant, cette progression s'est faite à partir d'une tradition déjà bien implantée au Moyen Âge et qui s'est poursuivie à la Renaissance.

Pendant la Renaissance, avant la constitution du cercle autour de D. Bramante et en dehors de celui-ci, traditionnellement une personne qui initiait un projet d'architecture, un client/patron, pouvait se passer des services d'un architecte au sens contemporain du terme. Un client-patron pouvait discuter de ses intentions dans un projet directement avec un chef de chantier de trois façons possibles : 1- en établissant, en collaboration d'un expert conseil en construction, des contrats spécifiant les matériaux et l'organisation générale du bâtiment avec précision et en détail; 2- en citant d'autres bâtiments déjà construits en exemple; et/ou 3- en expliquant verbalement ses idées au fur et à mesure de l'avancement des travaux sur le chantier (Goldthwaite, 1980, p. 367-368). Comme au début de la Renaissance c'était surtout la décoration des bâtiments et non leur structure ou leur organisation qui étaient alors remise en question, un client-patron ou une personne qui n'était pas formé aux travaux d'un chantier pouvait ainsi facilement expliquer ses intentions dans le projet.

Avec l'arrivée des nouveaux acteurs concepteurs, cette tradition devenait de plus en plus difficile à maintenir. Le nouvel acteur concepteur que pouvait être le peintre ou le sculpteur devait s'assurer que, d'un côté, ses idées originales allaient être bien comprises par son client, et que, de l'autre, les acteurs sur le chantier allaient pouvoir les réaliser parfois même en son absence. Le peintre ou le sculpteur ne possédaient pas une

connaissance et une expérience en construction et devaient donc compter sur leur étroite collaboration pour reconnaître non seulement la faisabilité d'une idée mais aussi la façon de la réaliser. Mais du côté de la personne à qui il propose une solution architecturale, ce nouvel acteur devait également expliquer ses nouvelles idées par rapport à l'apparence et à la réalisation de la solution. Plusieurs de ces nouveaux concepteurs devaient notamment expliquer leurs idées originales à l'occasion de concours d'architecture organisés par des comités formés de personnes qui n'étaient pas nécessairement familières avec l'activité sur un chantier. Lorsque la parole ne suffisait plus pour expliquer et convaincre les membres de ces comités, les participants aux concours devaient alors se rabattre sur ce qu'ils connaissaient déjà, c'est-à-dire le plus souvent la maquette.

5.4.2. La fabrication de maquettes

La fabrication de maquettes était devenue une entreprise courante à la Renaissance jusqu'au milieu du XVI^e siècle et même au-delà. La maquette de tout un édifice projeté ou d'une de ses parties était en quelque sorte la garantie de la réalisation d'un projet d'architecture (Goldthwaite, 1980). Outre le concours, les maquettes généralement en bois mais parfois aussi en calcaire, en cire ou en papier mâché pouvaient servir (1) à l'étude d'une solution pour un problème d'architecture, (2) à la résolution d'un problème technique, (3) à la communication sur le chantier, (4) à la présentation d'une idée générale pour un projet d'architecture et/ou (5) à la précision d'un détail de décoration (Briggs, 1974; Goldthwaite, 1980; Millon, 1994).

Certaines des maquettes fabriquées à la Renaissance prenaient parfois plusieurs années¹ à être réalisées. La taille et la précision du détail de ces maquettes pouvaient varier considérablement. Elles pouvaient faire l'objet de commandes spécifiques rémunérées indépendamment du projet d'architecture et pouvaient également être exigées dans une clause séparée du contrat de la commande d'un client (Briggs, 1974; Vasari, 1978; Goldthwaite, 1980). F. Brunelleschi, F.G. Martini (1439-1501), D. Bramante, Léonard de Vinci (1452-1519), Michel-Ange (1475-1564), G. da Sangallo (1443-1516), Raphaël, Peruzzi et A. da Sangallo, pour n'en citer que quelques uns, ont tous fabriqué ou fait fabriquer à un moment donné de leur vie une maquette pour un projet d'architecture, d'après leur biographe G. Vasari (1978). Cependant, ils ne les destinaient pas tous au même usage.

Dans son traité sur l'architecture, *De re ædificatoria*, L.B. Alberti recommande, par exemple, l'utilisation de la maquette sans détails de décoration pour comprendre

¹ L'imposante maquette de la Basilique de Saint-Pierre à Rome, par exemple, a pris environ sept années pour être complétée, de 1539 à 1546.

l'organisation d'un bâtiment avant sa réalisation ou encore pour avoir une idée claire du coût des matériaux nécessaires en considérant les dimensions, la forme ainsi que le nombre des parties qu'elle donne à voir. Mais plus que cela, L.B. Alberti va jusqu'à justifier la fabrication d'une maquette pour étudier, vérifier et améliorer ce qui au préalable a déjà été dessiné sur papier. Pour L.B. Alberti, la maquette est un véritable moyen pour la conception au même titre que le dessin (Millon, 1994, p. 24). L.B. Alberti sentait ainsi le besoin de compléter le dessin par une structure tridimensionnelle faite de matière, probablement aussi parce qu'il a vu son ami F. Brunelleschi utiliser des maquettes pour réaliser ses projets.

Des maquettes de F. Brunelleschi, celle présentée au concours pour la construction d'une lanterne du dôme de la cathédrale de Florence est probablement la seule à inclure autant de décorations¹. D'après son biographe A. Manetti, F. Brunelleschi hésitait à faire des maquettes, et à les détailler d'ailleurs, pour ne pas divulguer son savoir-faire à d'autres (Manetti, 1978; Goldthwaite, 1980; Millon, 1994). Cependant pour expliquer sa solution technique pour la réalisation du dôme même, il dû préparer une maquette parce que ses premières explications verbales ne suffisaient pas à convaincre les membres du comité de sélection. On ignore si F. Brunelleschi avait développé sa solution au moyen d'une maquette mais on sait que les maquettes présentées aux comités de sélection lui ont permis de remporter ces deux concours. La sobriété des maquettes de F. Brunelleschi les destinait probablement au chantier de construction (Millon, 1994, p. 24).

Les maquettes de présentation du début de la Renaissance sont de facture souvent simple et donnent une idée générale de la solution architecturale envisagée. Elles constituaient généralement des propositions d'idées pour des concours. Pour choisir une proposition de solution, les comités de sélection de ces concours comparaient ces maquettes (Millon, 1994, p. 53). Ils comparaient des idées qui, d'après la définition des modèles encore visibles, devaient par la suite être détaillées davantage. Le détail de ces idées devait probablement être défini pendant la concrétisation de la solution retenue.

Plus tard, Michel-Ange dans une lettre à G. Vasari, écrit qu'il avait fabriqué au préalable un modèle pour chaque détail qu'il avait réalisé pour le projet de la Basilique de Saint-Pierre à Rome. H. Millon (1994, p. 50) déduit de ce témoignage que Michel-Ange aurait destiné ces maquettes au chantier de construction. Ces maquettes auraient ainsi permis aux acteurs sur le chantier de voir ce à quoi leurs actions devaient parvenir. Mais, Michel-Ange préparait également des maquettes pour présenter ses projets à ses différents clients et patrons. À ces occasions, les maquettes produites sont d'une facture très détaillée

¹ Voir le catalogue de l'exposition, *Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo*, édité par H. Millon (1994), p. 22.



Figure 14 : Détail de la maquette de la cathédrale de Pavia datant de la Renaissance italienne

comme en témoigne la maquette proposée par Michel-Ange pour la façade de l'église San Lorenzo à Florence¹.

Au XVI^e siècle les maquettes de présentation connaissent un niveau de détails sans précédent (voir figure 14). L'imitation de la décoration, l'exécution des détails et la précision des différentes parties d'une solution architecturale recevaient une attention toute particulière de la part des fabricants de maquettes, pour la plupart des ébénistes de métier. En ce sens, les principes de la facture de ces maquettes allaient à l'encontre des recommandations de L.B. Alberti qui, comme nous l'avons précisé plus tôt, excluait dans son traité le recours à la décoration pour une maquette. Ces maquettes détaillées du XVI^e siècle servaient aux concepteurs à convaincre un client de l'apparence qu'aurait la solution architecturale qu'ils préconisaient.

¹ Op cit, p. 47.

H. Millon (1994) écrit :

« Less is left to be decided as work progresses, less is left to be studied and modeled at full-scale (here Michelangelo seems to be an exception among his contemporaries). Consequently, in the sixteenth century, there is less left undecided, less that the architect needs to or can alter during construction (though differences between a construction model and a structure as built often occur and are usually revealing). Fully detailed models also provide greater control for the client who is better able to assess and understand both the whole and the detail, and, therefore, in a better position to intervene at a stage when still possible » (p. 70).

Ainsi, plus les maquettes pouvaient être détaillées et moins il pouvait rester de problèmes à résoudre. Même si parfois des modifications pouvaient être apportées au cours de la concrétisation de la solution architecturale, la présentation de la maquette pouvait permettre au client de comprendre comment la solution allait se présenter une fois réalisée et ainsi lui permettre éventuellement d'apporter des modifications avant la mise en chantier. Cette façon de fabriquer des maquettes précises coïncide en fait avec l'époque de la définition de la méthode proposée par Raphaël. C'est également à la même période de la Renaissance, c'est-à-dire au début du XVI^e siècle, que les membres du cercle de D. Bramante cherchaient une façon de dessiner la solution architecturale avec des mesures exactes.

En somme, la maquette à la Renaissance pouvait servir à la présentation, à l'étude, à la construction ou au concours d'architecture. Cependant, la fabrication de cette maquette se faisait différemment au début et à la fin de la période de la Renaissance. Au début, elle permettait de voir la forme et l'organisation générales d'une solution architecturale. À la fin, elle permettait de voir avec précision comment la solution envisagée pour un problème architectural allait être une fois concrétisée. Cette nouvelle tendance pour la facture d'une maquette coïncide avec la recherche de la mesure exacte et le développement de la méthode de dessin que finit par proposer Raphaël.

5.5. En résumé

À partir de ce que nous venons de voir jusqu'ici, il est possible de tirer quelques conclusions quant à la concordance entre la façon dont les acteurs d'un processus de conception, à la Renaissance italienne, réalisaient un projet d'architecture et les moyens pour la communication que ces acteurs ont progressivement développés et mis à leur disposition.

L'étude de la réalisation de la Basilique Saint-Pierre à Rome a permis de voir comment les acteurs d'un processus de conception pouvaient collaborer à la réalisation

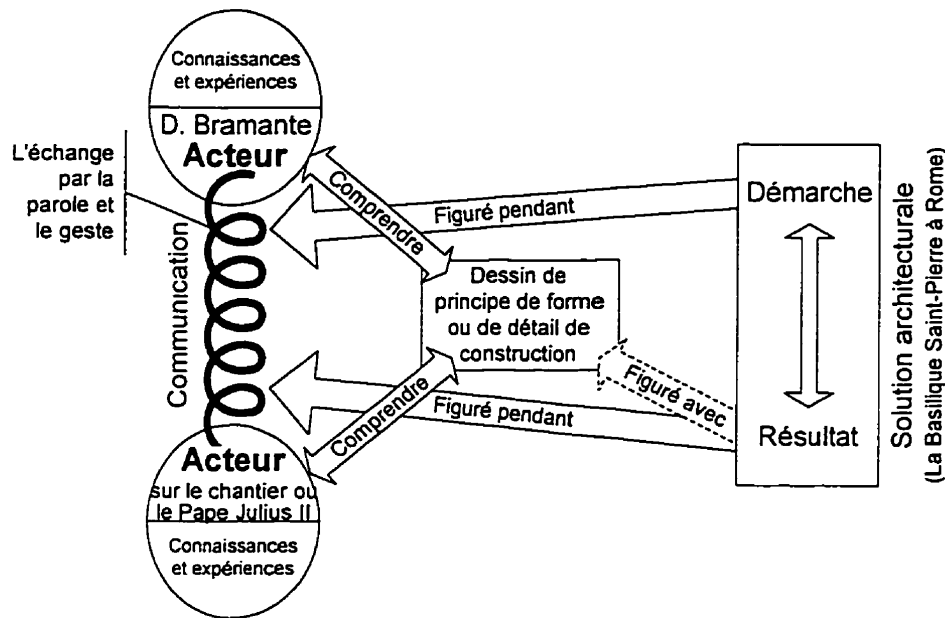


Figure 15 : Schéma de la communication entre D. Bramante et les acteurs du processus de conception de la Basilique Saint-Pierre à Rome

d'un projet d'architecture à la Renaissance, en Italie. En premier, D. Bramante communique avec le Pape Julius II pour formuler une solution au problème d'un projet de Basilique. Pour cela, il utilise un dessin en plan d'une partie de la solution pour établir avec le Pape les principes formels et organisationnels de la future Basilique. Ce dessin est élémentaire et permet de distinguer les formes des murs de celles des espaces ainsi que les axes qui ont guidé la définition et la disposition de ces formes. Lorsque le Pape et D. Bramante arrivent à une entente quant à la solution à adopter pour ce projet de Basilique, la concrétisation de la solution est entamée. Pendant cette concrétisation, D. Bramante communique avec les acteurs sur le chantier de construction pour élaborer avec eux les détails nécessaires à cette concrétisation. D. Bramante communique constamment, par la parole et au moyen de dessins de détails, avec les acteurs sur le chantier de construction.

En figure 15, nous avons schématisé la façon de communiquer de D. Bramante avec le Pape Julius II et les autres acteurs du processus de conception pour le projet de la Basilique Saint-Pierre à Rome. Cette figure est une adaptation de la figure 7 du second chapitre. Dans cette figure, la spirale schématisant la communication entre acteurs est tracée en trait plus fort pour souligner que c'est dans l'échange direct principalement que la solution architecturale était développée. Deux flèches, partant de la démarche et du résultat qui caractérisent la réalisation de la solution architecturale, sont dirigées vers cette spirale pour indiquer que cette démarche et ce résultat sont figurés pendant la communication entre ces acteurs. Néanmoins, du résultat une seconde flèche est dirigée

vers le rectangle qui désigne le moyen utilisé pour la communication. Cette flèche est en trait pointillé pour signaler que ce n'est pas le résultat final du processus de conception qui est figuré mais uniquement un détail de la solution en développement puisque les dessins que préparait D. Bramante n'étaient généralement ni définitifs ni n'avaient pour objectifs de faire figurer le résultat final du processus de conception, c'est-à-dire la Basilique comme si elle était déjà construite. D. Bramante semblait employer le dessin comme moyen de développement de la solution architecturale.

Plus tard, lorsque Raphaël prend en charge le projet de la Basilique, le dessin prend alors une nouvelle fonction. Raphaël et son assistant A. da Sangallo se servent du dessin pour fixer ensemble et d'avance les détails dont allaient pouvoir avoir besoin les acteurs sur le chantier de construction pour concrétiser la solution architecturale. Ceci permettait à Raphaël, comme nous l'avons vu, de se consacrer à d'autres projets. Comme A. da Sangallo avait une bonne connaissance de la construction, il pouvait envisager les façons possibles de parvenir à réaliser la Basilique Saint-Pierre. Raphaël et A. da Sangallo pouvaient donc comprendre les dessins qu'ils préparaient par rapport à la façon de parvenir au résultat qui était figuré dans ces dessins. A. da Sangallo pouvait ensuite aller expliquer aux acteurs sur le chantier de construction quel résultat atteindre et comment y parvenir. Les dessins que Raphaël et A. da Sangallo préparaient pouvaient donc être destinés à leur propre usage.

Dans sa lettre au Pape Léon X, Raphaël explique une méthode pour dessiner un bâtiment. Cette lettre s'inscrivait par rapport à un projet particulier, c'est-à-dire le relevé et la conservation sur papier d'un patrimoine bâti en ruine. Il s'agissait de ruines, et donc de résultats de processus de conception passés. En proposant sa méthode, Raphaël s'intéressait à rendre avec exactitude les mesures des unités et la répartition des espaces de ces résultats afin de pouvoir en garder une description susceptible d'être étudiée ultérieurement, si les ruines venaient à disparaître. Pour le relevé des ruines, comme pour la réalisation du projet de la Basilique, il n'avait pas à considérer la démarche d'un processus de conception qui permet d'obtenir un résultat, l'édifice antique ou la Basilique. Les ruines ne comportent pas d'information quant à la façon selon laquelle elles avaient été conçues. Et la façon de réaliser le projet de la Basilique Saint-Pierre était considérée pendant les communications entre les acteurs participants à la réalisation de ce projet.

À la Renaissance, à côté du dessin d'architecture, les acteurs d'un processus de conception pouvaient également communiquer entre eux en mettant à contribution une maquette. L.B. Alberti considérait la maquette comme le complément du dessin d'architecture. La maquette avait une double particularité. Elle pouvait être facilement comprise lors de concours ou de présentations de solutions architecturales. Elle permettait

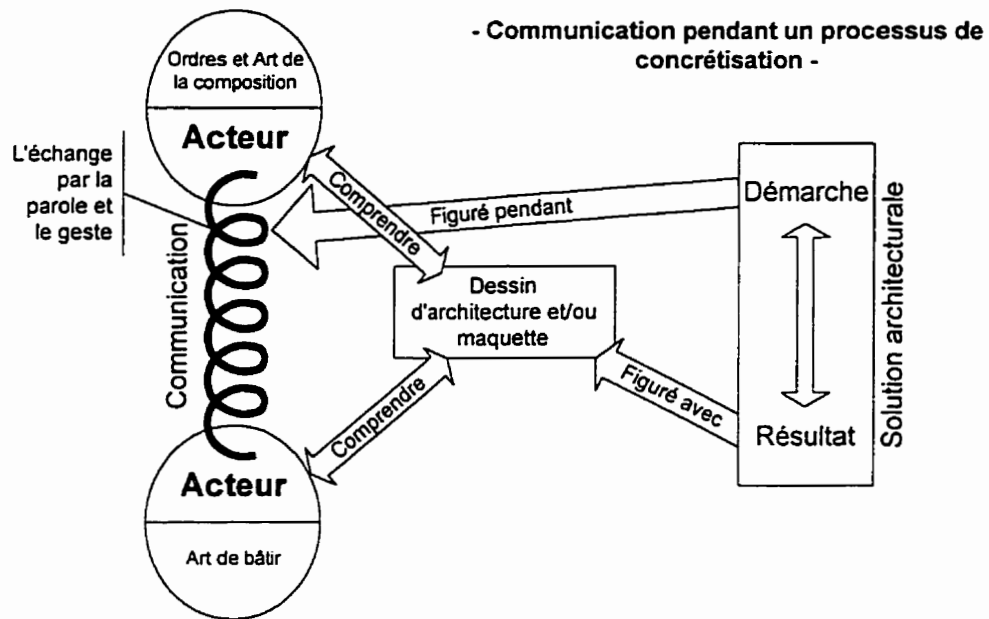


Figure 16. : Schéma de la communication entre acteurs d'un processus de conception à la Renaissance italienne

également de vérifier comment une solution pouvait être réalisée. C'est avec une maquette que F. Brunelleschi avait réussi à convaincre le jury d'un concours du bien fondé de son idée technique pour un dôme. C'est également une maquette qu'avait réclamé le comité qui supervisait la réalisation de la Basilique Saint-Pierre à Rome. Mais entre le début et la fin de la Renaissance, la fabrication des maquettes ne se faisait plus de la même façon. Au fil du temps, la maquette est progressivement passée d'une définition élémentaire à une définition détaillée, dénotant ainsi, comme pour le dessin d'architecture d'ailleurs, un intérêt de plus en plus grandissant pour le résultat d'un processus de conception que pour la démarche qui permet d'obtenir ce résultat.

En figure 16, nous avons schématisé la façon de communiquer entre acteurs d'un processus de conception à la Renaissance italienne. Cette figure est identique à la figure 15 à trois exceptions près; (1) le moyen de communication permet de figurer non plus un détail seulement mais le résultat d'un processus de conception au complet, (2) il s'agit d'un processus de concrétisation et (3) les acteurs peuvent posséder des connaissances et des expériences différentes. Ce moyen de communication peut être soit le dessin d'architecture en plan, coupe et élévation, soit une maquette à différents niveaux de détails. Dans l'un ou l'autre des cas, le moyen de communication est utilisé pendant un échange direct entre les acteurs du processus de conception, ce qui permet à ces acteurs et de comprendre quel pourrait être le résultat de ce processus et comment obtenir ce résultat.

Même si les uns pouvaient avoir une expérience dans l'art de la composition ou une connaissance des Ordres gréco-romains et les autres des expériences et des connaissances dans l'art de bâtir, ils pouvaient se comprendre en dialoguant durant la réalisation d'actions pendant la concrétisation d'une solution architecturale.

Dans ce qui suit, il s'agit de comprendre comment, avant cette période de la Renaissance, les acteurs d'un processus de conception pouvaient communiquer pour formuler et concrétiser une solution architecturale alors que le dessin d'architecture n'avait pas encore atteint un stade de définition avancé. L'objectif est de comprendre quelles étaient les finalités considérées par ces acteurs et les moyens de communication qu'ils avaient employés pour atteindre ces finalités. Autrement dit, il s'agit de comprendre comment, sans un dessin d'architecture aux mesures précises et basé sur la triade coordonnée de plan, coupe et élévation, les acteurs d'un processus de conception pouvaient communiquer pour réaliser un projet d'architecture. Comme les moyens utilisés pour la communication à la Renaissance avaient été développés sur la base d'une façon de communiquer déjà bien établie et que nous allons voir dans le chapitre suivant, il est possible que cette façon de communiquer ait pu influencer ces développements.

CHAPITRE 6 : La communication en architecture de l'antiquité

Pour comprendre le développement des moyens utilisés pour la communication en architecture avant la période de la Renaissance, il est possible d'essayer de remonter à l'origine de ce développement.

Il est difficile d'imaginer la définition des premiers moyens de communication en architecture en dehors des acteurs d'un processus de conception et de leur projet d'architecture. Par exemple, lorsqu'une personne seule projetait de réaliser un projet d'architecture, elle n'avait probablement pas besoin de partager son projet avec d'autres et donc de considérer un moyen pour la communication. Anciennement, une personne pouvait sans doute construire seule sa demeure d'après une façon de faire que d'autres avant elle avaient déjà mise au point. Un projet d'architecture courant, comme la construction d'une demeure, aurait également pu être réalisé en collaboration avec d'autres personnes sans qu'un besoin de communiquer au sujet du projet n'ait été nécessaire tant ces personnes auraient pu être accoutumées à ce genre d'entreprises.

Par contre, le développement d'un moyen de communication peut devenir nécessaire lorsque le projet d'architecture est original et les acteurs d'un processus de conception doivent s'organiser d'une nouvelle façon et réaliser des actions qui dérogent à leur façon de faire habituelle. Pour ce faire, ces acteurs peuvent avoir besoin de recourir à un moyen qui leur permet de communiquer pour comprendre et expliquer les idées et les actions nouvelles à entreprendre pour réaliser leur projet.

La compréhension du développement des moyens utilisés pour la communication en architecture pourrait donc être envisagée à partir des premières réalisations monumentales de l'histoire de l'humanité. Comme ces réalisations pouvaient être conçues pour commémorer une divinité, par exemple, ou perpétuer un souvenir, elles n'ont donc pas la même vocation que les édifices destinés à l'habitation. Pour réaliser ces monuments, les acteurs ont dû rompre avec leur façon habituelle de concevoir les demeures et considérer des moyens pour la communication.

D'après ce qui peut être déduit des ruines encore visibles et des fouilles archéologiques, l'architecture monumentale serait née en Égypte et en Mésopotamie quelque quatre millénaires avant notre ère. Selon des études, cette architecture serait le fruit de l'émergence d'un nouvel ordre humain qui coïncide avec des conditions socio-économiques, techniques et culturelles particulières (Benoît, 1911). Les personnes de ces temps reculés se seraient regroupées en un même lieu et se sont organisées de façon à partager leurs savoir et à poursuivre des idéaux communs. Parmi ces idéaux, la construction

d'édifices monumentaux devait, par exemple, leur permettre de répondre à la question de l'après vie. Temples et sanctuaires furent ainsi édifiés à la mémoire de personnalités et à l'honneur de divinités. Le culte rendu aux dieux se pratiquait dans les cités et faisait partie des activités quotidiennes de chaque personne. La pensée religieuse perpétuée par les prêtres et les rois dictait notamment la façon d'édifier les monuments et, le temple, de par son caractère sacré, assurait la pérennité du savoir de la société.

En Égypte et en Mésopotamie, le patronage de cette pensée religieuse était assuré soit par des pharaons soit par des rois qui établissaient les règles devant permettre la conception de leurs monuments. Plus tard, en Grèce et à Rome, d'autres règles vont être développées, parmi lesquelles les ordres d'architecture. En fait, jusqu'à la période de la Renaissance, la réalisation de projets d'architecture à caractère monumental n'aura cessé de se conformer à des règles. Comme ces règles conditionnaient la façon de concevoir, elles devaient donc également avoir une influence sur la façon de communiquer pendant le processus de conception et ainsi sur les moyens utilisés par les acteurs pour la communication. L'évolution et la façon de considérer ces règles dans les réalisations monumentales sont brièvement examinées ci-dessous, depuis l'antiquité jusqu'au Moyen Âge. Cet examen des règles prépare la compréhension du savoir dont les acteurs d'un processus de conception auraient pu avoir besoin pour édifier ces monuments. Une fois ce savoir compris, les moyens utilisés par ces acteurs pour la communication seront étudiés.

6.1. Conception réglée de monuments

6.1.1. Le système modulaire des pharaons

Pour concevoir et ainsi concrétiser des temples, des sanctuaires ou des palais, en Égypte, comme en Mésopotamie d'ailleurs, les concepteurs auraient eu recours à des règles strictes de construction (Badawy, 1966). Ces règles étaient établies et perpétuées par les Pharaons et les Rois mésopotamiens, les seuls commanditaires de l'architecture monumentale (Kostof, 1977a). En Égypte ancienne, ces règles pouvaient servir tant au tracé au sol des édifices qu'à la définition de proportions sur des élévations.

Après une étude approfondie de documents anciens et de relevés archéologiques, A. Badawy (1966, p. 241) établit que la conception des bâtiments égyptiens était basée sur un système harmonique modulaire (*modular harmonic system*). Il s'agit d'un système géométrique basé sur un module carré dans lequel un ou plusieurs triangles isocèles sont inscrits selon une règle de contiguïté des axes de symétrie. La base et la hauteur de ces triangles sont dans un rapport de 8/5 correspondant approximativement au nombre d'or. De plus, les dimensions de ces bases et de ces hauteurs sont parfois calculées selon la série des nombres entiers de Fibonacci (3, 5, 8, 13, 21, ...).

Cependant, S. Kostof (1977a) précise qu'il s'agit là de deux systèmes simultanés, le modulaire et le géométrique. D'après lui, le système modulaire est dérivé d'une dimension majeure, et des multiples ainsi que des fractions du module déterminent ensuite les autres dimensions. Quant au système géométrique, il serait composé en plus du triangle au nombre d'or, d'autres figures triangulaires simples maintenant des rapports entre hauteur et base différents ($h/b=4/3$; $h=b$, $h=2b$ et $h=8b$).

Ces études permettent de constater que les constructeurs de l'Égypte ancienne employaient en effet des règles mais des règles établies selon une science précise, une géométrie accompagnée d'une arithmétique. Cette science permettrait aux pharaons de partir d'une dimension de base pour former une figure qui, par subdivisions réglées¹, pouvait ensuite amener de nouvelles figures. Ces figures considérées au sol permettaient de subdiviser l'espace en différents sous-espaces et, considérées en hauteur, permettraient d'établir les élévations et leurs proportions. Comme ces figures et leurs subdivisions sont obtenues au moyen de règles, une solution architecturale chez les pharaons était donc probablement formulée sur la base d'un raisonnement mathématique.

Mais ces réalisations monumentales ne sont pas seulement connues sous les règnes des pharaons d'Égypte ancienne ou des rois de la Mésopotamie. En Grèce, pendant la période préhellénique, des temples sont également construits mais cette fois-ci sous le contrôle non plus de prêtres mais d'un conseil civil chargé de la construction.

6.1.2. Les Ordres gréco-romains

En Grèce antique, la réalisation de constructions monumentales comme les temples par exemple, pouvait être initiée en l'honneur d'un dieu mais aussi à la gloire de la cité. Pour ce faire, un conseil civil spécialement chargé de la construction était mis sur pied par une commission financière indépendante, bailleresse de fonds pour le projet (Burford, 1969). Le conseil civil supervisait le chantier de construction et décidait des orientations à prendre pour la formulation de la solution architecturale. Ces orientations étaient décidées sur la base de ce qui avait déjà été réalisé auparavant, à l'occasion d'autres projets d'architecture.

La façon de construire chez les Grecs a été développée et perfectionnée très progressivement sur la base de prototypes anciens jusqu'au début du IV^e siècle av. J.C. (Lawrence, 1983). La recherche d'une harmonie plastique et d'une solidité pour les édifices a amené les Grecs à définir des systèmes comportant une unité de style, appelés les Ordres (Benoît, 1911, p. 325-370). Au début, les principaux Ordres étaient le Dorique et le Ionique

¹ Voir la subdivision d'une forme géométrique selon le nombre d'or et la série de Fibonacci notamment dans Ghyka (1977, p. 7-19).

et lentement, plus tard, le Corinthien est apparu. Ils permettaient de formuler la solution architecturale sur la base d'une série de modules. Chaque Ordre prescrivait la façon d'établir ce module et la manière de le subdiviser pour articuler et mettre en relation chaque unité de la solution. Avec l'Ordre Dorique par exemple, le module pouvait être défini à partir de l'entablement entre deux colonnes. Les proportions entre les unités prescrites par ces ordres étaient établies par expérience et devenaient des conventions (Kostof, 1977a, p. 23).

Ces ordres étaient rigoureusement respectés et correspondaient à des visions de l'univers différentes qui ont marqué jusqu'à l'organisation spatiale des agoras (Doxiadis, 1972). Plus que son équivalent Ionique, l'ordre Dorique, qui soumettait la construction à une discipline rigoureuse, devait permettre de manifester un idéal de force et de dignité traduit par une structure affirmée et par une clarté des fonctions de chaque unité de la solution architecturale. L'ordre Ionique, par contre, considérait des formes beaucoup plus fines et courbes et permettait quelques libertés de raffinement et de composition supplémentaires (Benoît, 1911).

A l'inverse des Romains qui plus tard s'intéresseront à l'espace intérieur, les Grecs accordaient beaucoup d'importance à l'espace extérieur, son arrangement et sa perception (Coulton, 1977). Le principal objectif était d'atteindre des proportions idéales pour chaque détail de la construction (Lawrence, 1983). Alors que l'Ordre Ionique permettra une certaine liberté dans la variation de la composition, le Dorique s'affinera en adoptant des règles de proportion de plus en plus précises jusqu'à atteindre le stade du module décrit par Vitruve (Coulton, 1977).

Jusqu'au V^e siècle av. J.C., les Grecs construisaient principalement des temples, des monuments et des sanctuaires. Pendant la période Hellénique ensuite, les Ordres commencent à être considérés pour la réalisation d'édifices à vocations nouvelles, civiles et militaires, tels les amphithéâtres, les stoas ou encore les arsenaux de la marine (Bundgaard, 1957). Les Romains poursuivront la façon de construire des Grecs et même développeront de nouveaux ordres tel le Toscan. Ils ré-interprètent les anciens ordres tel le Corinthien et surtout conçoivent des édifices d'un tout nouveau genre. Les conquêtes militaires en Europe occidentale et tout autour du bassin méditerranéen, les nouveaux devoirs de l'administration envers le commerce et la vie civique ainsi que le goût pour le confort encouragent les Romains à bâtir des bourses, des marchés, des forums, des ponts, des ports, des bains, etc. dans les multiples régions de leur immense empire selon des techniques de construction nouvelles (Benoît, 1911).

Une des innovations technologiques des romains semble avoir été l'introduction de la voûte dans la construction (McDonald, 1977). Avec ces voûtes, les Romains pouvaient

désormais envisager des portées plus grandes pour les structures de leurs ponts, par exemple. Ils pouvaient également couvrir les espaces de leurs édifices d'une nouvelle façon. Ces nouvelles possibilités techniques de la voûte vont même amener progressivement les Romains à considérer de moins en moins les conventions établies par les Ordres pour assurer la solidité de leur réalisations.

Mais cette innovation technologique et cette explosion architecturale ne se sont cependant pas accompagnées de modifications significatives au niveau des façons de concevoir l'architecture et des méthodes de production. Les réalisations des Romains se caractérisent plutôt par une capacité de persévérance vis-à-vis des façons de faire anciennement établies ainsi que du respect des canons helléniques (Burford, 1972). Vitruve lui-même écrit vers l'an 10 av. J.C. ses Dix livres de l'architecture, *De Architectura Libri Decem*, en se basant principalement sur les expériences de la Grèce ancienne (Germann, 1991). Dans ses livres, Vitruve vante et tente en quelque sorte de consigner par écrit ce qui pendant des siècles a constitué toute une tradition dans la réalisation des projets d'architecture dans les civilisations gréco-romaines.

Finalement, des premiers temples grecs jusqu'à la fin du règne romain, le patron/client est resté le principal décideur de la formulation de solutions architecturales (Burford, 1972). En comprenant la façon de faire établie par ses prédécesseurs, ce patron/client pouvait prendre les décisions nécessaires à la réalisation d'un projet et même parfois l'améliorer ou reconsidérer la façon de faire pour de nouveaux types de projets. Mais avec le déclin de l'empire romain, cette façon de faire va changer de mains et sera transformée pour servir de nouveaux idéaux, ceux notamment de l'église chrétienne en occident.

6.1.3. L'ordre chrétien du Moyen Âge

L'héritage gréco-romain, c'est-à-dire la pensée culturelle et la façon de réaliser un projet architectural selon des règles, est importé en Asie mineure par l'empire byzantin. Pendant quelques siècles, cet héritage est cependant progressivement mêlé aux influences asiatiques de la Perse et du Monde arabe jusqu'à l'entrée en exercice du pouvoir des Ottomans à Constantinople. De la mise en commun des façons de concevoir un édifice naîtra, par exemple, l'église Sainte-Sophie construite non plus en pierre comme chez les Romains et les Grecs mais en briques, une technique qu'avaient appris à maîtriser à merveille les byzantins (Choisy, 1883).

Vers l'Ouest également, la façon de bâtir des civilisations gréco-romaines ne s'était pas perdue pour autant. S. Kostof (1977b, p. 68-70) considère trois principaux facteurs qui ont permis de maintenir cet héritage vivant en Europe occidentale et ainsi de permettre

aux ecclésiastiques de l'importer au Nord des Alpes. Il s'agit tout d'abord de l'intérêt que les gens d'église continuaient à accorder aux réalisations romaines qui commençaient à souffrir de la chute de l'empire romain. Par souci de conservation de ces réalisations, une activité de construction pouvait être maintenue et ainsi permettre aux acteurs de la construction d'entretenir leurs savoir-faire. Ensuite, il y a l'organisation collégiale de ces acteurs qui avait pour coutume de protéger et de transmettre de père en fils un métier. Cette organisation, qui est probablement à l'origine des guildes du Moyen Âge, a orchestré le maintien du savoir-faire gréco-romain. Enfin, il y a également le traité de Vitruve qui n'a jamais cessé de circuler entre les professionnels de la construction. Plusieurs copies de ce traité et même deux autres écrits, une compilation des aspects pratiques du traité de Vitruve et une dissertation relative aux techniques militaires, étaient diffusés et étudiés par les personnes intéressées par la construction (Kostof, 1977b, p. 70).

Cependant, à cette première période du Moyen Âge qui s'étend de la chute de l'empire romain jusqu'au IX^e siècle, les guerres et les crises socio-économiques locales empêchent l'expansion de réalisations architecturales monumentales. L'église prend de plus en plus d'importance pour justifier la réalisation de monastères et donner l'impulsion à un nouveau idéal de société organisé autour de la croyance en Dieu. Les monastères, lieux de prières, deviennent aussi rapidement des lieux de conservation et d'étude de ce qui pouvait être encore connu des civilisations anciennes, gréco-romaines mais également contemporaines, perses et andalouses. Le travail et les guerres vont être subordonnés à cette croyance en Dieu. La prière va faire augmenter le nombre de fidèles dans les lieux de culte engendrant ainsi petit à petit un nouveau besoin d'espace et d'affirmation spirituelle. La défense et l'expansion de cette croyance entraînera la réalisation d'ouvrages plus grands et durables, non plus en bois mais en pierre, qui nécessitent la réintroduction de ce que savaient déjà faire les constructeurs romains.

À partir du règne de Charlemagne et des conquêtes du Haut Moyen Âge, une nouvelle force politique et militaire s'établit en Europe. Cette force se manifeste dès le XI^e siècle par un ordre nouveau dirigé par l'église (Focillon, 1938). Cet ordre chrétien se traduira graduellement dans la construction de plus en plus répandue d'abbayes, de monastères, d'églises et de châteaux dits Romans. Il ne se concrétisera pleinement dans l'ordonnance des parties d'un édifice et la richesse ornementale qu'à partir du XII^e siècle avec l'art gothique et la réalisation des grandes cathédrales du même mouvement.

Cette nouvelle façon de construire est née au même moment et dans le même environnement, soit l'Île de France et les contrées soumises à l'influence de la dynastie capétienne (Kimpel, 1989). Elle est une des manifestations les plus significatives, aux côtés de la littérature et de l'art figuratif, de la pensée scolastique de cette période du

Moyen Âge (Panofsky, 1974). Il s'agit d'une pensée qui avait pour référence les écritures saintes de la bible et les apôtres de cette foi.

S. Kostof (1977b) écrit pour la période pré-gothique que :

« Numbers for the medieval mind were fraught with complex symbolism, and numbers initiated the essentially geometric process of architectural design in the Middle Ages as they did in ancient Egypt. That is, some unit of measurement was first selected as the module of the building under design, before the forms were generated through geometry. That the module should be commensurate was clear, since it would serve as the basis of proportional relationships. [...] But for the Christian architect the module, in addition to serving design convenience, was capable of expressing messages of faith » (p. 70).

Les règles qui avaient permis aux civilisations anciennes de formuler une solution architecturale sont reprises ou perpétuées au Moyen Âge mais selon des significations nouvelles, imprégnées des symboles de la chrétienté. Par exemple, le nombre 40 qui rappelle les quarante jours du déluge dont fait mention la bible constitue l'unité de mesure du module sur lequel tout le projet du monastère de Saint-Gall¹ avait été élaboré et proposé en 820 déjà (Kostof, 1977b, p. 73). À partir de la définition d'un module, les différentes formes d'une solution architecturale pouvaient ensuite être déduites. La déduction de ces formes était faite au moyen de la géométrie qui était alors considérée comme la science qui permettait d'assurer et la stabilité de la structure d'un édifice et la façon de bien proportionner une élévation. La croyance chez les constructeurs voulait que la géométrie² soit à l'origine tant de l'esthétique que de la solidité de l'univers (Kostof, 1977b, p. 79). Le compas et l'équerre vont même devenir le symbole de cette activité de conception, et la géométrie, le secret bien gardé des acteurs qui conçoivent.

Le mouvement gothique s'est répandu en moins de trois siècles dans toute la partie occidentale de l'Europe. Les ecclésiastiques aux côtés des monarchies féodales ont engagé la construction d'édifices religieux et ont veillé à perfectionner la traduction architecturale de la pensée scolastique. Mais ces réalisations n'ont été possibles que parce que derrière les projets d'architecture il y avait des hommes avec leur savoir-faire. Le Moyen Âge a hérité et a continué à développer un savoir-faire relatif à une façon de construire qui lui a été légué depuis l'antiquité égyptienne déjà.

¹ Voir l'étude arithmologique (arithmologie: science générale des nombres et de la mesure des grandeurs, en architecture, du système des mesures privilégiées constituant les tracés) de G. Jouven (1985, p. 195-205). L'étude conclut que le dessin pour ce monastère « est en tout points conforme aux plus orthodoxes préceptes de l'arithmologie biblique traditionnelle [...] » (p. 205).

² Plus tard, à la fin du Moyen Âge, Jean Mignot va même dire qu'il n'y pas d'art, au sens de l'architecture, sans une théorie rationnelle basée sur la géométrie (*Ars sine scienta nihil est*). *Scienta* du bâtiment était rattachée à la géométrie.

En somme, pendant toute cette longue période qui s'étale sur plus de cinq millénaires et qui a été très rapidement survolée ici, toute la production monumentale en architecture était soumise à certaines visions du monde et se faisait selon une façon de construire comparable. Sans que cette façon de construire produise les mêmes résultats, elle était toutefois basée sur des principes semblables. Ces principes, hérités de génération en génération, sont relatifs à l'emploi d'une somme de règles pour la formulation d'une solution architecturale. Ces règles relèvent toutes de la géométrie mais sont appréhendées différemment. La façon dont ces règles sont ensuite employées relève des croyances religieuses profondément ancrées dans chaque civilisation considérée.

6.2. Responsables de la réalisation et leur instruction

Jusqu'à la fin du Moyen Âge, les responsables de la réalisation de monuments d'architecture étaient surtout des personnes de chantier. Ils étaient responsabilisés et élevés au rang de chef des travaux par les seigneurs et les dignitaires religieux ou administratifs non seulement pour leur savoir-faire en matière de technique de construction mais également pour leurs connaissances générales des sciences et de la religion. Les titres qui leur étaient attribués pouvaient varier d'une civilisation à une autre alors que, pour le principal, leur façon de réaliser un projet d'architecture demeurait sensiblement la même (Briggs, 1974).

6.2.1. Le prêtre édificateur

Du temps des pharaons, le prototype du responsable Égyptien pour la réalisation d'un projet d'architecture est Imhotep¹. Il exerçait plusieurs métiers à la fois comme l'astronomie, la prêtrise, la guérison, etc. (Kostof, 1977a). Il était aussi très proche du pouvoir et avait reçu sa formation initiale de son père, qui a lui-même entrepris la réalisation de projets d'architecture (Hurry, 1926). L'enseignement, auquel ne pouvait prétendre qu'une certaine couche de la société, les nobles, était dispensé dans les temples dirigés par les prêtres. Pendant les trois sessions de 7 ans que devait durer une formation complète, les apprentis prêtres recevaient une instruction dans toutes les sciences avec pour condition absolue de garder leur savoir secret pour le restant de leur vie (Hurry, 1926; Kostof, 1977a; Brunés, 1967).

Mais à l'occasion, les temples égyptiens pouvaient également être fréquentés par les membres d'autres civilisations. Ainsi, les Grecs, qui ont découvert l'Égypte et ses trésors à l'occasion de leurs nombreuses expéditions commerciales et militaires autour du

¹ Imhotep est le descendant de Kanofer, le premier d'une lignée de 25 générations d'architectes comme le rapporte le dernier de cette lignée, Khnum-ab-r'a vers 400 av. J.C. [voir Hurry (1926) pour une description complète du personnage]

bassin méditerranéen dès le 7^e siècle avant notre ère, ont pu y envoyer certains des leurs. Parmi ces Grecs qui ont connu l'Égypte, il y avait de grands noms qui sont restés légendaires.

Pythagore de Samos y est allé s'instruire et, à son retour en Grèce, a fondé une école¹, la première en son genre. Dans cette école, il a enseigné entre autres sciences une géométrie nouvelle basée sur les principes de la géométrie égyptienne mais qui n'a eu de succès qu'auprès d'un cercle restreint d'initiés (Brunés, 1967). De même, Dædalus, le légendaire premier architecte grec s'est rendu en Égypte pour apprendre la sculpture et s'inspirer de ses réalisations pour plus tard concevoir, par exemple, son labyrinthe crétois (Kostof, 1977a, p. 4). Moïse a également reçu une formation similaire dans l'un des temples des pharaons avant de s'enfuir et de donner ses instructions explicites pour la réalisation du tabernacle décrit dans son second livre de l'*Exodus*. L'Égypte tout comme le Proche Orient étaient rapidement devenus une destination très prisée notamment des Grecs pour la formation et plusieurs méthodes et techniques de construction nouvelles ont en été d'ailleurs importé.

Plusieurs hypothèses quant à la façon de construire des Égyptiens et les moyens qu'ils ont mis à contribution pour réaliser leurs monuments ont été avancées mais rien ne permet encore de les confirmer (Kostof, 1977a, p. 4). On sait également que les édifices construits pouvaient être « nettoyés », restaurés et reconstruits parce que des plans y étaient conservés (Sauneron, 1957). Mais l'époque lointaine de cette civilisation et les prêtres qui, sous le sceau du secret, n'ont pas voulu divulguer leurs méthodes, rendent difficile toute conclusion quant à leurs façons de faire. Ce qui semble plus certain cependant, c'est qu'une civilisation un peu plus récente, comme celle de la Grèce antique a été influencée par les connaissances de cette Égypte ancienne.

6.2.2. De l'*architekton* à l'*architectus*

Les constructeurs grecs ont adapté la connaissance égyptienne aux besoins spécifiques d'une façon locale de construire, longuement élaborée par les générations précédentes. Les constructeurs grecs utilisaient jusqu'alors le bois pour leurs réalisations et l'Égypte ancienne leur a permis de considérer la pierre comme nouveau matériau. L'introduction de la pierre a techniquement révolutionné leur façon de construire mais sans toutefois toucher aux principes fondamentaux qui régissaient déjà la réalisation de leurs monuments, des temples surtout (Kostof, 1977a; Benoît, 1911). D'Égypte, ces constructeurs grecs ont importé les techniques qui permettaient de considérer la pierre principalement pour rendre leurs réalisations plus durables (Coulton, 1977). Les dignitaires

¹ La première école au sens qu'on lui attribue aujourd'hui.

religieux assuraient la garde des principes qui régissaient la façon de formuler une solution architecturale pour un projet d'architecture monumentale. Ces dignitaires ne toléraient que de légères modifications à ces principes qui devaient respecter une géométrie ancienne, c'est-à-dire une géométrie qui ne requiert aucune preuve pour l'acceptation de ses démonstrations (Brunés, 1967). La tradition grecque était forte et, par conséquent, permettait de préserver la façon de faire et les principes qui régissaient les réalisations des constructeurs de leurs monuments.

La façon selon laquelle les concepteurs grecs avaient été formés est encore mal connue. À la période préhellénique, plusieurs indices laissent cependant penser qu'il s'agissait principalement d'une formation basée sur la pratique (Briggs, 1974). Ces indices peuvent être perçus à l'examen de la façon dont, à cette période, (1) le travail était divisé dans la société, (2) les chantiers de construction étaient organisés et (3) les livres d'architecture étaient rédigés.

Le travail semble être avant tout une question d'héritage. De génération en génération, dans une même famille, on pouvait se transmettre un savoir-faire relatif à une technique. Certaines familles grecques pouvaient compter plusieurs générations d'artisans ayant maîtrisé plus d'un métier ou spécialité (Burford, 1972, p. 85-86). Mais cette spécialisation est cependant à entendre au sens large du terme comme l'explique A. Burford (1972) :

« A basic division always existed among crafts, in that woodworkers tended not to work in metal or stone very extensively, while metal workers made no attempt to understand the many finer points of carpentry or stone masonry. But distinctions cannot realistically be pushed further; an architect directing work in stone and other materials might originally have been trained as a carpenter, and a vase-painter might be the son of a sculptor, while the sculptor himself was often quarrymason as well as shaper, dresser, polisher, decorator, not to mention designer, of this statue » (p. 99).

Une spécialisation dans un métier n'était donc pas aussi particulière de manière à embarrasser un artisan dans l'exercice d'autres métiers. Bien au contraire, et même si cela pouvait être uniquement de façon occasionnelle et avec une maîtrise moindre, un artisan semblait pouvoir aussi pratiquer un métier autre que le sien, un métier ayant quelque chose en commun avec ce qu'il connaissait déjà. Si un artisan charpentier pouvait diriger le travail d'un tailleur de pierre, c'est qu'il devait probablement connaître à l'avance ce que l'art de la taille signifiait en général, indépendamment du matériau considéré. De même, si un artisan carrier pouvait également réaliser des sculptures, c'est que sa formation initiale devait probablement l'avoir déjà préparé à l'art de proportionner. Le fils d'un sculpteur qui devenait décorateur de poteries devait sans doute avoir appris de son père comment fabriquer un vase et avoir été sensibilisé par lui ou par un autre artisan à l'art de

sa décoration. À cette période de l'antiquité, la reconversion dans un autre métier de la construction semble avoir été possible pour un artisan plus par la pratique que par l'acquisition de nouvelles connaissances.

En faite, la formation que recevait à cette période un artisan d'une autre génération d'artisans semble plus consister en une méthode générale qu'en un métier au sens contemporain du terme, c'est-à-dire un ensemble de méthodes spécifiques à un domaine d'activité particulier, difficilement envisageable dans un autre domaine et apportant une contribution bien particulière à la société, comme un électricien ou un maçon par exemple. Rien n'est certain mais cette façon de concevoir la formation par l'apprentissage d'une méthode générale au lieu d'une méthode limitée et spécifique, pouvait permettre à un artisan de faire face plus facilement aux situations économiques difficiles connues de cette période de l'antiquité. Les guerres et les conquêtes devaient probablement rendre le revenu d'une famille dépendant d'un marché de travail instable et parfois restreint. En maîtrisant une méthode générale, sachant pratiquer plus d'un métier au sens contemporain du terme, un artisan de la construction pouvait ainsi combler plus d'un poste de travail sur un chantier de construction. Au début, si le travail pour lequel il est engagé ne correspondait pas à son expérience passée, il commence d'abord par se perfectionner par la pratique à cette nouvelle tâche. Ensuite, il pouvait même se voir chargé de la direction du chantier de construction.

Nombreux sont les responsables de chantier qui avaient aussi été sculpteurs ou charpentiers et cela parfois de père en fils (Briggs, 1974; Burford, 1972). Cette multidisciplinarité et la compétence de certains artisans ont permis à certains d'entre eux de se voir nommer chef ouvrier ou architecte¹, ce qui leur conférait alors un statut social supérieur². Mais cette nomination était considérée tant pour une question d'efficacité de l'organisation d'un chantier que comme une reconnaissance à proprement parler des talents de l'artisan, comme l'explique A. Burford (1972) :

« [...] the architect's role as designer and, if he chose, innovator in his craft was recognized in the title *architekton*, whereas in the other crafts the individual who introduced a new form or started in a new direction would on the whole influence his fellows informally. The prefix *archi-*, 'chief' or leading carpenter or builder as distinct from the ordinary *tekton*, does not in its root sense imply any kind of overall supremacy in craftsmanship, for if it did we would expect to find self-confident potters, sculptors, bronze workers, weavers laying claim to titles like *archikerameus*, *archilatypos*, *archichalkourgos*, *archhyphanteus*

¹ Architecte = *αρχος* (chef) + *τεκτων* (ouvrier) = *αρχιτεκτων* (*arkhitektôn*).

² A Olympe, vers 350 av. J.C., un bâtiment public fut dénommé *Leonidæum* d'après le nom de son architecte, Leonidas de Naxos, à qui on érigea aussi une statue (Briggs, 1974).

- which we do not¹. The *architekton* was so designated for the purely practical reason that the building of temples, fortresses or ships required larger numbers and a greater variety of workers than any other project. It was the one activity which always required a director and co-ordinator, but he need not be a brilliantly audacious innovator at the same time » (p. 93-94)

Ainsi, si le préfixe « *archi* » signifiait ou faisait référence uniquement au talent exceptionnel d'un artisan, plus d'un artisan pouvait alors avoir vu ce préfixe associé à son titre. Or, seuls deux métiers ont eu ce préfixe accolé à leur titre, celui de fondeur et celui de carrier, deux métiers où souvent plusieurs ouvriers étaient amenés à travailler en équipe. L'interprétation la plus plausible donc de ce préfixe, du moins pour cette période préhellénique, renvoie alors plutôt aux notions de rassembleur, d'organisateur ou de responsable du travail des artisans. Cependant, l'innovation y était également reconnue mais à un degré moindre puisqu'elle consistait principalement à appliquer, avec talent certes mais également avec respect, des règles établies par les ordres d'architecture, comme le Dorique ou le Ionique.

Par rapport à la réalisation d'un projet d'architecture, la fonction de ces « *archi* » artisans, maçons ou charpentiers, consistait à superviser et à diriger les travaux sur le chantier de construction. L'importante variété des activités sur le chantier de construction et l'envergure des projets d'architecture entrepris nécessitaient une coordination et une organisation qui étaient confiées à un responsable des travaux (Durm, 1910). J.A. Bundgaard (1957) ira jusqu'à avancer que ces « *archi* » artisans étaient de véritables organisateurs de chantier en leur niant toute implication artistique semblable à celle d'un Michel-Ange ou d'un Bernini de la période de la Renaissance. Cette affirmation a cependant été jugée exagérée par plusieurs auteurs qui y reconnaissent toutefois la force que la tradition aurait effectivement pu jouer dans la façon de réaliser des édifices (Martin, 1965; Burford, 1969; Scranton, 1962). S'il y avait une attente par rapport à une implication artistique de la part de l'artisan responsable, elle se rapportait plus au raffinement des proportions déjà établies pour un type de solution architecturale qu'à l'élaboration d'une définition artistique nouvelle pour cette solution (Coulton, 1977; Burford, 1972). C'est du moins ce que semblent suggérer les livres d'architecture datant de cette période et même après.

S. Kostof (1977a) écrit à propos des premiers livres d'architecture :

« It would seem that until the fourth century B.C. architectural books dealt both with theory—that is, the proportions and properties of the Orders, ornament, and the like—and technical matters of construction. In the fourth

¹ Elle signale toutefois deux exceptions: “*archikamineutes -smelter (man)*” et “*archilatomos -quarryman*”.

century the discussion settled into a battle of the styles reminiscent of the aesthetic side of the polemics of revivalism in the nineteenth century. Doric diehards like Philon, the architect of the naval arsenal at Piraeus, defended that the venerable Order against the sweeping popularity of the Ionic. Pythios, author of the temple of Athena at Priene, extolled the superiority of the Ionic Order in a book called *Commentaries*, where he apparently also proposed that architects should show proficiency in “all the arts and sciences,” in contrast to practitioners of other professions who “bring a single subject to the highest perfection” (Vitruvius 1.1.12) » (p. 17).

S. Kostof (1977a) résume ici ce que le principal témoignage qui nous parvient de l’antiquité, c’est-à-dire le traité d’architecture de Vitruve, rapporte quant au contenu des livres dédiés à l’architecture de cette période. Ces livres semblent avoir été rédigés pour les professionnels et leur formation. Au VI^e siècle av. J.C. déjà, Theodoros de Samos, qui a été en charge de la réalisation du temple d’Athènes et qui a été consultant pour les problèmes de stabilité du temple d’Artemis à Ephèse, avait également écrit un tel ouvrage et a d’ailleurs fondé une école privée à Sparte pour y enseigner l’architecture. Ces livres devaient alors contenir la connaissance jugée nécessaire par les Grecs pour la réalisation d’un projet d’architecture. La théorie dont ces livres auraient pu traiter pouvait donc se rapporter à la façon de formuler une solution architecturale pour un type de projet d’architecture, en tenant compte à la fois du caractère esthétique recherché, généralement exprimé dans la forme, et des problèmes de répartition des espaces en conjonction avec des notions de structure et de solidité des matériaux considérés, par exemple. C’est au moyen des ordres et de l’ornementation que S. Kostof (1977a) semble vouloir exprimer le contenu théorique de ces livres puisqu’il précise qu’au XIX^e siècle la polémique relative aux styles d’architecture que les grecs connaissaient déjà n’a porté que sur leurs aspects esthétiques.

La bataille des styles, ou plutôt des ordres d’architecture de grecs comme les batailles menées par Philon et Pythios, semble avoir été une défense plus d’un savoir-faire qu’un argument portant sur l’apparence du produit de ce savoir-faire, le temple lui-même. Si Pythios a pris la peine de rappeler dans ses *Commentaries* la formation que doivent avoir ceux qui prennent en charge la réalisation d’un projet d’architecture, c’est qu’il devait probablement ne pas faire de distinction entre un Ordre d’architecture, le Ionique notamment, et une manière de concevoir le projet, sous-entendue par un Ordre. Si, comme il le proposait, la formation devait être dans tous les arts et les sciences, c’est que l’Ordre d’architecture qu’il défendait devait probablement tirer avantage de cette formation. Un Ordre pouvait être perfectionné en intégrant un savoir-faire apporté, non pas uniquement par une sensibilité esthétique supérieure mais également par un élargissement de la formation à plusieurs champs de compétence.

Quant au volet plus technique de ces livres sur l'architecture, il devait probablement se rapporter à la façon de préparer et d'organiser un chantier de construction ainsi qu'à plusieurs façons d'apprêter et de manutentionner les différents matériaux utilisés pour la concrétisation d'une solution architecturale. Chersiphron, en collaboration avec son fils, qui ont réalisé le temple d'Artemis, ont d'ailleurs rédigé un ouvrage spécialement consacré aux aspects mécaniques de la manutention de lourdes charges comme les colonnes, par exemple (Kostof, 1977a, p. 16).

Le savoir-faire acquis par les « archi » artisans des chantiers de construction de temples allait par la suite permettre de considérer de nouveaux types de projets, tant en architecture, en urbanisme qu'en ingénierie. À partir du V^e siècle av. J.C., le terme *architekton* pouvait désigner tant ceux en charge de projets d'architecture que ceux qui réalisent des projets de distribution de l'eau, de travaux publics, d'architecture navale ou encore de machines de guerre (Kostof, 1977a, p. 20). Ces artisans devaient progressivement se spécialiser et changer de profil professionnel tout en remplissant également de nouvelles fonctions.

La Grèce Hellénique, tout comme Rome un peu plus tard, comptait deux catégories de chef des travaux de construction, les uns indépendants et les autres fonctionnaires au service d'une cité (Martin, 1965). Les uns, à l'instar de la grande majorité des artisans de la construction à cette période, se déplaçaient de ville en ville et de sanctuaire en sanctuaire afin d'offrir leurs services là où ils étaient en demande¹ (Burford, 1972). Les autres, lorsqu'ils n'étaient pas en charge d'une construction nouvelle, s'occupaient généralement de l'entretien des édifices existants et des ouvrages publics tels les fortifications ou les ponts par exemple. Dans l'un ou l'autre cas, R. Martin (1965) décrit la tâche de ces chefs des travaux en écrivant que :

« [...] leurs fonctions étaient de préparer les devis descriptifs (συγγραφας, συγγραφειν) à soumettre à l'assemblée du peuple, de compléter ensuite le document après les adjudications, ensuite de recruter et surveiller les ouvriers, de réceptionner les matériaux à leur arrivée sur le chantier, de vérifier les travaux exécutés par les entrepreneurs qui doivent se conformer aux prescriptions des devis, puis ensuite de réceptionner les travaux achevés et de délivrer les autorisations de paiement, pour chacune des tranches successives, au fur et à mesure de l'exécution ; c'étaient les véritables conseillers techniques des commissaires aux constructions (épimélètes ou épistales) » (p. 174-175).

En fait, avec la multiplication et la diversité des entreprises de construction, l'augmentation du nombre des réalisations architecturales et surtout l'organisation

¹ J.A. Bundgaard (1957) attribue d'ailleurs la faible différence qui existe entre les deux temples, le Propylea et le Parthenon, à ce phénomène de migration des artisans tout en sachant qu'ils ont été construits par deux architectes différents.

progressive de la société de la civilisation Hellénique tardive et de celle naissante de Rome, la fonction du chef artisan en construction s'est graduellement transformée pour accentuer davantage l'aspect de la supervision des travaux des autres artisans. Le chef artisan devient superviseur et de la réalisation de nouveaux projets et de l'entretien d'anciennes constructions. Il est cependant continuellement impliqué sur le chantier de construction (Kostof, 1977a, p. 25). Il agit comme intermédiaire entre une instance administrative supérieure dont il pouvait aussi parfois faire partie et une équipe d'acteurs de la construction. Ses responsabilités l'obligent désormais à connaître et le travail sur le chantier et la gestion de ce travail d'un point de vue financier et organisationnel.

Mais ce chef artisan pouvait également être amené à innover d'un point de vue technologique pour servir de nouveaux projets, sous Alexandre le Grand d'abord, et ensuite à Rome, sous Jules César, comme dans leurs nouvelles colonies respectives. Le chef artisan était sollicité par les commissaires aux constructions pour son savoir-faire en général et non plus uniquement pour son savoir-faire pratique, lequel se manifeste directement aux côtés des autres acteurs sur un chantier de construction. Il devient conseiller en réalisations architecturales mais également en ingénierie et en planification urbaine. Sous l'empire romain, ce chef artisan, qui n'en n'est plus exactement un, est désigné par le terme *architectus*.

La façon romaine de réaliser un projet d'architecture semble être restée sensiblement la même que celle des Grecs avant eux (McDonald, 1977; Burford, 1972). Les Romains ont réalisés de grands projets mais sur la base de méthodes de conception que les Grecs avait laissé derrière eux. Ils ont raffiné et surtout apporté de nouvelles techniques. Ils ont également introduit de nouvelles divisions et organisations du travail qui facilitaient la planification de leurs grands projets de réalisation (McDonald, 1977, p. 41-43). La plupart des artisans de la construction se sont regroupés en associations et ces associations ont été à leur tour réunies en *collegium* des artisans de la construction et des experts en démolition. W.L. McDonald (1977, p. 52) note cependant que dans les livres d'architecture écrits par Faventinus et Palladius au IV^e siècle, les règles de la proportion des Ordres considérés avant eux commencent déjà à disparaître.

Cette tradition antique va se perpétuer d'ailleurs jusqu'au Moyen Âge. Après le 7^e siècle, la fréquence d'apparition dans les textes médiévaux du terme *architectus* va considérablement diminuer (Kostof, 1977b, p. 60). Progressivement le titre de maître-maçon va se substituer à celui d'*architectus* mais sans altérer de façon significative la manière de construire.

6.2.3. Le maître maçon

Pour la compréhension des connaissances qui auraient permis la conception des monuments d'architecture du Moyen Âge, les sources documentaires sont également rares et lapidaires (Kostof, 1977b, p. 59-77). Beaucoup de monuments, comme les abbayes, les châteaux forts ou les cathédrales sont encore visibles. Parmi ces monuments, les cathédrales gothiques témoignent d'une toute nouvelle façon de construire dont l'étude permettrait probablement de comprendre les différences entre les façons de construire au Moyen Âge et celles qui étaient en vigueur sous le règne de l'empire romain. R. Suckale (1989) écrit à propos des bâtisseurs de ces cathédrales :

« Nous ne savons presque rien sur leur formation et leur enseignement. Il est probable que les exigences de Vitruve étaient connues et tenues pour fondées. Nous ne possédons pas avant la fin du XIVE siècle à Milan, de traces des pourparlers entre architectes et commanditaires, des débats, des réflexions et des décisions menant au plan final. Il ne nous reste que les bâtiments eux-mêmes et les autres traces de l'activité des architectes pour recueillir des informations valables » (p. 50).

Ainsi, une compréhension des connaissances qui auraient permis aux bâtisseurs de construire des cathédrales pourrait être élaborée à partir de trois sources. La première source, et la plus évidente en même temps, est bien entendu le résultat des activités de ces bâtisseurs, c'est-à-dire les cathédrales gothiques elles-mêmes. La seconde source pourrait être le traité de Vitruve dont on sait qu'au moins 80 manuscrits auraient pu être lu par les bâtisseurs à cette période (Krinsky, 1967). Et enfin, la dernière source pourrait être relative à ce que les bâtisseurs ou leurs contemporains ont laissé comme traces ou consigné dans des écrits en relation avec ces activités.

Les cathédrales gothiques rompent avec les constructions antérieures en ce qu'elles permettent de constater une systématisation de l'utilisation de la croisée d'ogives, l'arc brisé et l'introduction d'arcs-boutants (Gimpel, 1958). Le système constructif de ces cathédrales est basé sur une structure défiant la hauteur et comportant des piles élancées, placées selon une trame dont les travées ne forment plus nécessairement un carré. De ce point de vue, le système constructif des cathédrales gothiques constitue une véritable révolution par rapport aux systèmes considérés antérieurement pour les réalisations romanes ou autres. Mais cette révolution est d'autant plus significative que la construction ne considère plus, en apparence du moins, un Ordre classique qui aurait pu aider les bâtisseurs à relever les défis posés par la définition de ce nouveau système constructif. Si le traité de Vitruve était lu par les bâtisseurs de cette période, il n'a probablement pas attiré leur attention sur les Ordres gréco-romains que considéraient les anciens avec tant d'intérêt.

Si le traité de Vitruve a effectivement constitué une référence pour les bâtisseurs médiévaux, le moins qu'on puisse dire alors c'est que sa lecture a été conditionnée par les finalités que voulaient atteindre ces bâtisseurs. D'après R. Suckale (1989), « le système des ordres et ses possibilités expressives et signifiantes a été gâté par Vitruve lui-même [...] en coordonnant chaque ordre avec les temples dédiés à un groupe bien défini de dieux » (p. 45). En fait, à la recherche d'une nouvelle façon d'exprimer leur religion, les ecclésiastiques et les bâtisseurs qui partageaient la même croyance religieuse ne pouvaient considérer plus longtemps (après la période romane) des façons de construire qui avaient été associées à la vénération d'autres dieux. Ce sont donc les préceptes quant à la formation que préconisait Vitruve pour l'*architectus* qui auraient probablement été retenus alors. Rien n'est certain, mais un de ces préceptes susceptible d'avoir retenu l'attention des bâtisseurs médiévaux pourrait être lié à la formation en géométrie, vu l'importance accordée par Vitruve à cet aspect.

Les bâtisseurs des cathédrales gothiques semblent en effet avoir été très concernés par les nombres et la géométrie, et quantité de faits illustrent cet intérêt. Parmi ces faits¹ sont, par exemple, les iconographies représentant un bâtisseur portant des instruments comme la toise, l'équerre et le compas, les épures sur les murs ou encore l'utilisation de polygones pour définir la forme des plans d'une abside (Vandekerchove, 1989, p.78-79). En Angleterre, vers 1360, un ancien document stipule même que « ce qui unit les métiers au sein de la loge, c'est leur savoir en géométrie, science divine par excellence » (Recht, 1989a, p. 24). La géométrie était probablement comprise comme le fondement esthétique et technique de l'univers (Kostof, 1977b, p. 79). Mais chez les bâtisseurs, cette géométrie semble également avoir été plus une science pratique qu'une théorie au sens contemporain du terme. W. Müller (1989) écrit :

« Le maître d'œuvre du Moyen Age pouvait évidemment représenter un triangle équilatéral [...], de même qu'il savait tracer des lignes de la longueur d'une racine carrée et d'autres que reliait entre elles le nombre d'or. Mais il ne savait pas exprimer par des mesures et des chiffres, la longueur de telles lignes fondées mathématiquement » (p. 239).

C'est probablement ce que veut dire R. Recht (1989b) lorsqu'il écrit que le « savoir de l'architecte médiéval résulte de la somme d'un certain nombre de savoir-faire particuliers, transmis par une tradition ancienne » (p. 284). La géométrie devait probablement avoir été considérée de façon pratique, encapsulée dans des règles accumulées par l'expérience sur le chantier de construction et selon une tradition orale. De tous les écrits retrouvés pour cette période du Moyen Âge et qui se rapportent à la construction,

¹ Pour des illustrations, voir notamment A. Erlande-Brandenburg (1993).

aucun ne constitue un apport théorique sur la matière (Recht, 1989b, p. 279). Ces écrits sont de véritables manuels dont certains traduisent « plutôt l'usage que l'artisan médiéval savait faire de la géométrie » et d'autres transmettent « un savoir plus ou moins diversifié à des artisans travaillant sur le chantier » (Recht, 1989b, p. 283 et 284). Avant de devenir responsable d'un projet de cathédrale, il fallait même avoir fait la preuve d'une aptitude dans un des métiers du chantier de construction (Kostof, 1977b, p. 80). C'est donc principalement sur le chantier de construction que les bâtisseurs médiévaux pouvaient s'instruire.

Les chantiers de construction des grandes cathédrales gothiques pouvaient employer plusieurs acteurs de différents corps de métier dirigés par un acteur principal, le *principalis artifex*, comme le citent certains textes du XIII^e siècle (Recht, 1989a, p. 24). Au début, l'organisation de ces chantiers pouvait être similaire à celle des chantiers romans qui employaient la pierre. Avec un schéma du plan que l'acteur principal aurait élaboré avec le maître de l'ouvrage, il délimitait les fondations et ensuite, comme l'explique D. Kimpel (1989) :

« [...] marquait à l'aide d'une corde l'emplacement exact des murs et des piliers, et les fautes qu'on pouvait faire à ce moment sont pour nous l'indice le plus sûr de la méthode employée. L'élévation se déterminait par la triangulation ou la quadrangulation une fois encore à l'aide de cordes. Les détails sont dessinés à l'échelle 1:1 sur le plancher ou en forme de gabarits ou patrons. Les instruments dont le maître maçon se sert sont tous faits soit pour ce travail en grandeur réelle : les cordes, la longue règle, le grand compas, soit pour le contrôle de l'exécution : l'équerre et le niveau » (p. 98).

Ainsi, l'acteur principal pouvait établir les lignes directrices pour le projet architectural et ensuite travailler à côté des autres acteurs à la définition de chacun des détails de la solution préconisée. Son expérience avec la taille de la pierre et sa connaissance de règles géométriques lui auraient ainsi permis de préparer, au fur et à mesure de l'avancement des travaux sur le chantier, la forme des détails de la solution tout en tenant compte de ce que leur réalisation pouvait impliquer comme difficultés. Pour définir ces détails, il pouvait également compter sur la collaboration des autres acteurs qui pouvaient avoir une expérience plus grande pour la résolution de certains types de problèmes posés par la réalisation du projet. C'est donc possiblement dans cet exercice et cette collaboration que la formation de l'acteur principal pouvait être envisagée au début des réalisations gothiques.

Mais pour réaliser plus vite et plus grand, les bâtisseurs gothiques ont dû envisager une rationalisation des travaux sur le chantier de construction. Cette rationalisation consistait à systématiser une préfabrication de la pierre, à considérer une machinerie pour le levage

des lourdes charges et surtout à diviser le travail sur le chantier (Kimpel, 1989, p. 100; Vandekerchove, 1989, p. 78). Une des conséquences immédiates de cette rationalisation semble avoir été le transfert de l'acteur responsable d'un projet, du chantier à la loge. Dans cette loge, le responsable du projet devait désormais préparer d'avance les détails d'exécution nécessaires aux tâches nées de la division du travail entre carriers, tailleurs de pierre, maçons, transporteurs, etc. Il était toujours sur le chantier pour collaborer et superviser la réalisation du projet mais avec comme obligation supplémentaire de prévoir avec plus de détails les tâches à venir. À partir du XIII^e siècle, cette dernière obligation va même devenir si prenante qu'on le voit de plus en plus assisté et d'un appareilleur chargé de préparer pour lui les spécifications nécessaires à l'appareillage des pierres et d'un parlier chargé d'expliquer ses intentions aux autres acteurs sur le chantier de construction (Kimpel, 1989, p. 100).

Ainsi donc, de sa loge, le responsable du projet d'architecture au Moyen Âge pouvait suivre le chantier et préparer d'avance les détails nécessaires à la construction qui était déjà en cours. Mais cela signifie alors que la solution finale envisagée pour le projet d'architecture n'était pas encore tout à fait formulée au moment du lancement du chantier de construction. Il devait encore spécifier et expliquer des procédés de construction en faisant appel à des assistants, l'appareilleur et le parlier. Sa présence continue sur le chantier de construction devait probablement être nécessaire et contribuer très directement à la concrétisation de la solution.

Si le responsable du projet a lui-même été formé sur un chantier de construction, il a donc appris comment définir et réaliser les mêmes actions que celles considérées par tous les autres acteurs qui travaillent sous sa supervision. Pour formuler une solution architecturale, il pouvait donc considérer ces actions au fur et à mesure qu'elles étaient réalisées. La formulation de la solution architecturale pouvait alors être envisagée dans l'orchestration de ces actions. Avec les connaissances qu'il avait en géométrie pratique, il pouvait coordonner ces actions de façon à ce que leur résultat engendre la forme de la solution recherchée. En fonction des résultats obtenus et des problèmes posés par certaines dispositions particulières pendant la concrétisation, il pouvait envisager de nouveaux procédés de construction. Ces procédés, il pouvait les discuter avec l'appareilleur qui ensuite allait les préciser davantage. Le parlier pouvait ensuite se charger de les expliquer aux acteurs concernés.

Si cette compréhension de la façon de réaliser un projet d'architecture est acceptable alors il est possible d'avancer qu'une solution au Moyen Âge se définissait plus par rapport à des actions à poser qu'en se figurant d'avance le résultat final et précis de ces actions. La forme et le détail de la solution architecturale allaient découler de ces actions et la

définition de ces actions dépendait moins de la précision du résultat à obtenir. Autrement dit, à cette période de l'histoire, les acteurs d'un chantier de construction essayaient de concrétiser une solution architecturale au meilleur de leurs possibilités d'action. En se fixant d'avance la forme de la solution architecturale, ils pouvaient éventuellement rencontrer des problèmes de stabilité inattendus parce qu'ils ne connaissaient pas encore une théorie de la statique. La formulation de la solution architecturale directement sur le chantier de construction leur aurait permis d'éviter ces problèmes d'ordre statique et d'envisager des solutions de plus en plus ambitieuses pour leur projet. Mais pour consolider cette assomption de l'importance de l'action pour la formulation de la solution architecturale, il est nécessaire d'examiner les traces que ces bâtisseurs ont laissé derrière eux de leur activité de conception, c'est-à-dire les éventuels supports pour la communication relative à la solution.

Jusqu'ici, une compréhension sommaire de différentes façons de réaliser un projet d'architecture, de l'antiquité égyptienne au Moyen Âge gothique, a été tentée et exposée. Elle est très certainement incomplète ne serait ce qu'à cause de la rareté des sources documentaires disponibles. La fidélité des sources documentaires et l'interprétation faite pour certains événements rapportés du passé pourraient également avoir altéré cette compréhension. Dans ce qui suit, cette compréhension sera complétée en essayant d'examiner ce qui reste des supports qui auraient pu servir à la communication relative à une solution architecturale durant chacune des périodes de l'histoire considérées jusqu'ici.

6.3. Moyens pour la communication sur les chantiers de construction

6.3.1. Le papyrus égyptien et la coutume des modèles

De la période de l'Égypte ancienne, des dessins ainsi que des instruments qui auraient permis de les tracer et des maquettes, tous relatifs à des édifices, ont été retrouvés. Ces dessins étaient généralement tracés à l'encre rouge sur des supports comme le papyrus et le cuir ou encore des matériaux plus durables tels le bois, le calcaire ou encore la pierre (Kostof, 1977a). Les instruments qui auraient été utilisés pour l'élaboration de ces dessins seraient la règle en bois graduée selon une unité de mesure égyptienne dérivée de mensurations humaines, le carré et l'équerre. Mais on ignore toutefois si les dessins retrouvés avaient été tracés avant ou après la réalisation d'un édifice.

Plusieurs dessins graphiques de détails ou de parties d'édifice, en plan et en élévation, retrouvés étaient superposés à une grille orthogonale. Pour S. Kostof (1977a, p. 8), la grille « may have come first, as the structural basis of the original design, rather than being imposed upon the design as an aid to proportional reproduction » comme l'avait supposé de Cenival (1964). En effet, il est peu probable que cette grille ait servi à d'autres

fin, vu le caractère modulaire des édifices égyptiens et la relative simplicité de leur structure. Ces explications et l'inconfort des égyptiens avec la notion d'échelle permettent de supposer qu'un simple dessin schématique ou un modèle réduit pouvait avoir suffi au proportionnement et à la réalisation d'une construction (Badawy, 1966). Les dessins retrouvés montrent que la technique graphique de projection en plan et en élévation était connue ou pressentie des égyptiens à cette période mais que sa maîtrise ne semble pas avoir encore été au point puisque plusieurs erreurs de concordance entre ces projections, importantes pour la réalisation, ont pu y être décelées (Sakarovitch, 1990). La dimension réduite de la surface des papyrus ne devait probablement pas non plus inciter à une mise à l'échelle d'un édifice tout entier (Coulton, 1977). Les égyptiens semblent avoir préféré tracer directement au sol l'emprise du bâtiment à l'aide de l'unique instrument de mesure dont ils disposaient pour le chantier, c'est-à-dire la corde à 12 noeuds (Brunés, 1967; Kostof, 1977a).

Un tracé géométrique d'une voûte elliptique, datant de l'an 1200 av. J.C., a été retrouvé sur une paroi verticale d'une tombe et étudié par G. Daressy (1907). D'après ses études, l'arc d'ellipse aurait d'abord été tracé au sol, puis ensuite était reporté sur la paroi verticale préalablement blanchie à la chaux. Des traces sur la corde sous-tendant cet arc laissent voir une subdivision selon des intervalles réguliers pouvant avoir servi de repères aux tailleurs de pierres, au moment du creusement de la voûte dans la pierre. Mais tout ce que ce tracé permet de déduire, c'est que la géométrie des égyptiens permettait déjà de construire une ellipse. Étant donné les traces sur la corde, rien n'autorise de conclure à une maîtrise de la notion de projection orthogonale.

Mais la figuration architecturale était également une pratique sociale courante chez les égyptiens. Sous le règne des 11^e et 12^e dynasties (2131-1785), une coutume répandue voulait que l'on installe dans la tombe du défunt un modèle réduit de sa demeure en terre ou en bois (Badawy, 1966). D'après des photographies rapportées par A. Badawy (1966, p. 13), ces modèles sont d'une facture très élémentaire, bien que comprenant plusieurs détails tels des escaliers et des parois intérieures. L'échelle et la précision semblent faire défaut et pour cela leur utilisation à des fins de construction est difficilement concevable. Cependant, rien ne permet d'écarter l'hypothèse de l'existence de modèles beaucoup plus élaborés chez les artisans de la construction.

Certaines fresques murales illustrant des scènes architecturales ont également été retrouvées sur les parois de résidences particulières et des édifices funéraires (Badawy, 1966). Ces fresques étaient composées selon un caractère abstrait plutôt que réaliste et, d'après Kostof (1977a), « sought to record the conceptual rather than the physical reality of the building » (p. 9). De telles fresques, généralement en couleur, représentaient les

demeures par couches successives de scènes placées les unes au-dessus des autres dans la représentation. Ainsi, la première pouvait présenter l'élévation, la seconde la scène immédiatement derrière celle-ci et ainsi de suite jusqu'au mur arrière de la résidence.

À partir des dessins et maquettes retrouvés, il est difficile d'établir un rapprochement avec les moyens de communication qu'ils auraient pu employer pour la réalisation d'un projet d'architecture. Ces dessins et maquettes attestent de la connaissance des égyptiens d'une géométrie et d'une figuration architecturale parfois à première vue étonnement précise mais à l'analyse mathématiquement inexacte.

6.3.2. Les devis et les modèles gréco-romains

Des civilisations gréco-romaines, peu de documents graphiques nous sont parvenus. Et lorsque ces documents sont rapportés, c'est pour la période de la civilisation romaine. Mais cela ne signifie pas nécessairement que les Grecs de l'antiquité ne disposaient pas d'un moyen de communication pendant la réalisation d'un projet d'architecture. Bien au contraire, ils connaissaient au moins ce qu'était un devis alors appelé *syngraphai*.

En Grèce antique, le chantier était organisé autour d'un atelier où l'*architekton* veillait à l'exécution des prescriptions d'un devis et ordonnait les paiements des sous-traitants (Martin, 1965). Pour J. Coulton (1977), ce devis ou *syngraphai* était en fait tout simplement le « design » et faisait parfois référence à des *paradeigma* et des *anagrapheus* (αναγραφευς) pour des explications supplémentaires sur certains points spécifiques de la construction. Voici comment J.A. Bundgaard (1957) décrit le contenu d'un devis pour le Prostôon¹ retrouvé dans une inscription à Eleusis :

« The text of the inscription states just as much as, or more than, the modern working drawings. The terms used for the individual types of blocks - triglyph, Doric, Ionic geison, lion-headed gable-corner etc. - must in themselves have been quite sufficient to show a skilled Greek mason how the block was to be cut. He had acquired all the necessary knowledge in the course of his apprenticeship, and if he had not he need only look around » (p. 113).

Les informations fournies par ces textes restituait des principes simples de construction basés sur des règles de proportionnement que la plupart des artisans de la construction devaient probablement comprendre à cette période (Martin, 1965; Coulton, 1977). Ces règles pouvaient constituer un moyen pour prédire le résultat d'un processus de conception et pour transmettre un savoir (Coulton, 1977). Une autre inscription à

¹ Inscription par Philo pour l'érection d'un porche, Prostoon, pour la maison des mystères (sanctuaire) à Eleusis, datant d'entre 356 et 352 av. J.-C.. (pp.100-110) - à caractère très technique, est apparemment destiné au chantier de construction, chaque entrepreneur sa partie -

caractère plus technique retrouvée pour l'Arsenal à Piraeus¹, un édifice aujourd'hui disparu, contient une description si claire, si logique et complète qu'il a été possible de le reconstituer selon les techniques de dessin contemporaines (Coulton, 1977). Le texte qui semble avoir été écrit pour un expert décrit l'érection de l'édifice de son tracé au sol à l'installation des portes (Bundgaard, 1957).

Les *paradeigma* qui sont souvent mentionnés dans ces devis pouvaient être des modèles en bois, en terre cuite ou même en pierre pouvant avoir été préparés par l'*architekton* et d'après lesquels pouvaient ensuite travailler les artisans sur le chantier de construction (Martin, 1965; Bundgaard, 1957). Comme ce responsable pouvait également avoir été formé en sculpture, il pouvait alors être capable de préparer, lorsque cela devenait nécessaire, un exemplaire à l'échelle 1:1 d'un détail de construction tel un chapiteau ou encore un triglyphe particulier (Coulton, 1977).

Cependant, c'est le terme *anagrapheus* qui reste quelque peu obscur à cause de sa racine grecque *graphos* pouvant signifier soit un dessin, soit un écrit (au sens de gravé ou de tracé). C'est tantôt une liste ordonnée des pierres à ramener des carrières pour certains et tantôt un dessin probablement coté pour la taille de la pierre, pour d'autres (Bundgaard, 1957; Martin, 1965). Quoiqu'il en soit, d'après les inscriptions retrouvées, il est possible de déduire qu'il n'a pas été fait mention dans les devis de plans pour des édifices entiers même lorsqu'il s'agissait, à l'exemple de l'Arsenal à Piraeus, d'édifices moins conventionnels (Coulton, 1977). Les problèmes bi-dimensionnels posés par l'introduction de certaines moulures complexes nouvelles étaient probablement résolus au moyen de patrons simples que devait fournir le responsable du chantier (Coulton, 1977).

Un argument en faveur de l'inexistence de dessins préalables à la réalisation des édifices est fourni par la démarche successive sur le chantier. En effet, Vitruve par exemple, rapporte que Hermogenes (130 av. J.C.), confronté à des problèmes avec le triglyphe de l'Ordre Dorique pendant la construction d'un temple, avait changé de solution pour adopter le triglyphe Ionique alors que la pierre était déjà taillée et attendait sur le chantier (Briggs, 1974). Ailleurs, là où on a mis beaucoup de temps à construire un Temple, les parties construites plus tard sont d'une définition différente (Coulton, 1977). L'Ordre Dorique lui-même est défini de sorte que ce qui se trouve par dessus n'est que rarement contrôlé de façon rigide par ce qui se trouve en dessous (Coulton, 1977). L'*architekton* pouvait à tout moment changer d'orientation architecturale pour les parties non structurales fixées conventionnellement. En ce sens, et alors que les instruments de dessin étaient encore

¹ Pour l'Arsenal à Piraeus: La description de l'Arsenal à Piraeus (Grèce) construit vers 330 avant notre ère sous la direction de Philon et de Euthydomus. Détruit par un incendie allumé par Sulla. Aucune trace ne persiste. Toute une partie de l'inscription est reproduite dans (Bundgaard, 1957, p. 118-121).

loin d'être précis, un dessin détaillé d'un édifice à venir était difficilement réalisable et aurait impliqué un caractère prescriptif qui se serait ajouté à un système conventionnel déjà relativement rigide (Coulton, 1977).

L'adoption par les Grecs d'une démarche successive dans la façon de construire peut être comprise en observant d'une part la précarité du système numérique et son instrumentation, et d'autre part, l'importance qu'ils accordaient à l'impact visuel que leurs édifices devaient produire (Doxiadis, 1972; Coulton, 1977). Les nombres irrationnels étaient inconnus des Grecs ce qui impliquait donc un travail par approximation devant être contrôlé régulièrement après l'exécution de chaque tâche (Coulton, 1977). Avertis des limites de leur système numérique, les Grecs étaient probablement conscients des problèmes qu'aurait pu engendrer une mise à échelle d'un de leurs édifices. Outre les difficultés techniques que cela aurait pu occasionner, la valeur esthétique aurait été difficilement contrôlable (Coulton, 1977). Le travail à échelle réelle, c'est-à-dire une échelle 1:1, était probablement compris comme la solution la plus favorable à l'appréciation à sa juste valeur de l'effet qu'un édifice pouvait avoir sur la perception visuelle.

L'existence de dessins préalables à la construction, chez les Grecs, a été mentionnée à quelques reprises mais rien ne laisse supposer qu'ils aient servi à la réalisation des édifices. Dans un compte délien datant de l'an 166 av. J.C., il est fait mention d'un dessin sur bois, un tableau blanchi, tracé¹ pour modifier certaines dispositions architecturales antérieures d'un édifice (Vallois, 1966, p. 241). De même, pour l'édification d'un mémorial sur l'Acropole en 448 av. J.C., un concours avait été proposé par l'Assemblée, invitant les compétiteurs à présenter un dessin, pas moins d'un *cubit* en largeur, devant être exposé au public pendant dix jours afin qu'il puisse être jugé par un vote populaire (Smith, 1926).

Enfin, Vitruve plus tard décrit même l'activité d'une chambre (ou atelier) de dessin en ces termes :

« The ways of setting things out [*species dispositions*] are these: plan [*ichnographia*], elevation [*orthographia*], and perspective [*scaenographia*]. A plan is made by the proper use of compass and rule, through which the proper outlines are set for the building. An elevation is the image of a standing façade, properly drawn to show the finished appearance. Perspective is the method of drawing the façade together with the retreating sides, the lines all meeting at the center of a circle [1.2.2]. » [citation reprise de McDonald (1977, p. 40)].

Les mots exacts qu'avait pu employer Vitruve pour désigner le plan et l'élévation n'ont malheureusement pas été retrouvés (Coulton, 1977). Quant au mot *scaenographia* (ou *scenographia*), il désigne une perspective mais pas une perspective centrale au sens

¹ Il s'agit en effet d'un projet (paradeigma) de réfection.

contemporain du terme puisque nulle part sur les dessins retrouvés de l'Antiquité, un point de fuite central unique n'a pu être déterminé (Panofsky, 1991). L'insistance de Vitruve pour la formation de l'architecte au dessin, à la géométrie et à l'arithmétique encourage l'idée de la connaissance d'une pratique de la figuration à l'époque gréco-romaine mais on ignore tout de sa forme et de son emploi (McDonald, 1977). D'ailleurs aucune version du traité de Vitruve ne comporte de dessin. Vitruve ne mentionne pas non plus de coupe qui aurait permis de compléter ces modes de figuration de manière à pouvoir disposer d'une figuration architecturale d'une façon précise et complète, comme allait l'expliquer quelques siècles plus tard Raphaël dans sa lettre au pape Léon X. D'ailleurs, les instruments pour réaliser ces dessins pouvaient ne pas avoir été encore assez précis puisque ceux qui ont été retrouvés, datant d'avant le Moyen Âge, « appartiennent à la catégorie des outils d'artisan plutôt qu'à celle des instruments de dessin » (Hambly, 1991, p. 19). De plus, il est également difficile d'établir si dans son traité Vitruve relatait uniquement une pratique existante ou en proposait une nouvelle. Le curriculum idéal pour la formation de l'architecte proposé trois siècles plus tard par le géomètre Pappus d'Alexandrie ne fait d'ailleurs aucune mention du dessin. Le traité de Pappus écrit vers l'an 320, comporte deux parties dont l'une stipule une connaissance théorique en science et une autre un savoir-faire manuel impliquant l'exercice de différents métiers artisanaux (Kostof, 1977b, p. 63). La partie théorique comprenait pour lui l'étude de la géométrie, de l'arithmétique, de l'astronomie et de la physique. Et ce qu'il entendait par formation manuelle se rapportait à l'exécution d'un travail de métal, de construction et de charpenterie ainsi que d'un art de la peinture.

Ce qui peut être probable, c'est que les modes de figuration proposés par Vitruve étaient des épures relativement précises (et probablement colorées) afin que les proportions puissent y être facilement lues étant donné leur importance pour la construction à cette période gréco-romaine. Ces modes de figuration auraient également pu servir à considérer la répartition des espaces en plan et à donner une idée approximative de l'apparence qu'allait avoir la solution architecturale projetée ou une de ses parties, une fois concrétisée. Cependant, il est difficile d'imaginer que si ces modes de figuration étaient effectivement définis, ils entretenaient un quelconque rapport projectif entre eux, car cela aurait demandé des notions en géométrie (au sens de la descriptive) non encore suffisamment avancées à cette époque.

J. Sakarovitch (1990) écrit :

« Si aujourd'hui cette correspondance semble inhérente à la manipulation de deux projections, l'histoire de la représentation durant tout le Moyen-Âge prouve qu'il n'en est rien » (p. 68).

En effet, si la manipulation de projections était connue à cette période et que le traité de Vitruve référait à ces projections alors les bâtisseurs du Moyen Âge auraient pu les considérer pour communiquer entre eux. Or, et même si le traité de Vitruve pouvait avoir circulé parmi ces bâtisseurs, les documents graphiques retrouvés pour cette période prouvent le contraire.

6.3.3. L'*opus in mente conceptum* et le secret de la géométrie

Jusqu'au XIII^e siècle au moins, la façon de travailler sur les chantiers de construction pouvait se passer de dessins détaillés en plan-élévation-coupe et à petite échelle (Müller, 1989 ; Bechmann, 1993, p.52-56). Au Moyen Âge, le responsable d'un chantier de construction pouvait mettre en place, peu à peu et sur un terrain, les dispositions d'un plan schématique, et en parallèle élever les murs d'un édifice en collaboration avec les autres acteurs du chantier (Schöller, 1989). L'idée de départ pour une solution architecturale, l'*opus in mente conceptum*, pouvait être mise directement sur le sol d'un chantier de construction, sans dessin de plan détaillé préalable, ni d'ailleurs de maquette (Bischoff, 1989; Müller¹, 1989). Des dessins très schématiques ont été retrouvés, dans les enluminures notamment, mais leur simplicité ne permet pas de les considérer comme d'authentiques dessins pour la communication entre acteurs d'un chantier de construction (Schöller, 1989). De par leur définition, ces dessins constituaient des esquisses d'une part pour aider à la formulation des lignes directrices d'une solution architecturale et, d'autre part, pour communiquer relativement à ces principes avec les commanditaires d'un projet d'architecture, comme la réalisation d'une cathédrale par exemple. Quant à l'utilisation des maquettes à échelle réduite, bien qu'elles aient été mentionnées à plusieurs reprises dans des sources documentaires, aucune de ces sources ni exemple conservé ne permet d'établir leur mise à contribution pendant un processus de concrétisation architecturale (Bischoff, 1989).

Les premiers dessins d'architecture qui ont fait leur apparition au Moyen Âge sont des épures de détails à échelle réelle reportées généralement directement sur la pierre des sols ou des murs (Schöller, 1989). Ces épures, à caractère très géométrique, pouvaient avoir fourni les indications techniques nécessaires au travail des acteurs sur le chantier de construction. Elles étaient probablement dessinées par l'appareilleur, l'assistant du responsable du chantier de construction. Ce n'est que plus tard seulement qu'une réduction d'échelle a été opérée. Cette réduction d'échelle coïncide d'ailleurs avec le moment de la révolution constructive qui avait engendrée la préfabrication extensive de certaines pièces en pierre pour la réalisation de cathédrales (Kimpel, 1989). Bien plus tard, on assiste aussi

¹ W. Müller (1989, p. 237) s'appuie notamment sur les conclusions d'une étude de documents d'archives réalisée par P. Booz, en 1958, et intitulée *Der Baumeister des Gotik*, Munich-Berlin.

à la publication des premiers traités pratiques dont le plus ancien connu de cette période est celui de Mathieu Roriczer, imprimé à Ratisbonne en 1486 (Recht, 1989b).

Les quelques rares traités d'architecture du Moyen Âge avaient pour objectif d'expliquer, pour les uns, l'emploi de la géométrie pour donner la juste mesure (*das rechte Mass*) et, pour les autres, les procédés de construction nécessaires aux métiers des tailleurs de pierre, des appareilleurs, etc. (Recht, 1989b). Cependant, ces traités manquaient de clarté et n'étaient pas toujours compréhensibles par tous les artisans de la construction. Les artisans du Moyen Âge n'avaient pas l'habitude d'apprendre leur métier en lisant des traités ; ils l'apprenaient plutôt en respectant une tradition orale qui était alors la façon la plus répandue pour transmettre un savoir. Mais à cette difficulté de compréhension s'ajoute également l'obligation, qui était alors institutionnalisée, de garder le secret savoir entre les artisans de la construction. Cette obligation a d'ailleurs fini par être consignée dans les statuts¹ des tailleurs de pierre promulgués à Ratisbonne, en 1459. Cette obligation de garder le secret et la façon de transmettre le savoir au Moyen Âge permettent donc de comprendre la rareté des textes explicites susceptibles de témoigner de la façon de construire un édifice au Moyen Âge (Recht, 1989b).

Un acteur d'un processus de conception, au Moyen Âge, pouvait savoir dessiner différentes figures géométriques à l'aide d'instruments de dessin plus ou moins précis, soit à même la pierre soit sur une feuille de parchemin ; mais il ignorait comment exprimer arithmétiquement les mesures et les chiffres des longueurs obtenues géométriquement (Müller, 1989 ; Bechmann, 1993, p.53). Dans son traité, M. Roriczer, cité par R. Recht (1989b), tente d'expliquer comment « le *Steinwerk* prend naissance à partir des fondements de la géométrie à l'aide de la manipulation du compas et d'une règle et comment il peut être amené aux justes mesures » (p. 281). A l'aide d'instruments de dessin, il proposait de faire apparaître sur un même plan différents niveaux du *Steinwerk*² lui permettant ainsi d'établir des proportions entre les mesures de ces niveaux et ensuite de déduire proportionnellement, d'une façon semblable, les mesures de l'élévation du *Steinwerk* (Recht, 1989b). À partir de ces explications, il est possible de déduire que la géométrie pouvait être comprise au Moyen Âge non pas comme un moyen permettant de figurer le résultat d'un processus de conception mais plutôt comme un moyen permettant d'arriver à un résultat. La géométrie, avec ses règles pour la construction de figures, pouvait constituer un savoir permettant de traduire la façon de réaliser des actions sur un chantier de

¹ Voir les 53 articles du *Statut des tailleurs de pierre de Strasbourg. 1459*, reproduits dans R.Recht (1989c), pp.103 à 109. D'autres statuts similaires existaient bien avant cette date ailleurs en Europe (ex: le plus ancien date de l'an 1360 en Angleterre) mais avaient une portée locale uniquement (Recht, 1989c)

² Ouvrage en pierre, en allemand.

construction. Cette géométrie, probablement héritée de l'Antiquité gréco-romaine, permettait d'expliquer comment obtenir méthodiquement et par approximation certaines constructions dont on avait étudié la forme et la stabilité (Müller, 1989; Brunés, 1967). Ce n'est qu'à la Renaissance, comme nous l'avons vu, que cette géométrie va être employée à d'autres fins, soit celles de figurer en image le résultat d'un processus de conception et de permettre ensuite d'en mesurer les différentes parties.

6.4. En résumé

En somme, les principes d'une géométrie ancienne, élaborée au départ par les égyptiens puis développée par les grecs et les romains, ont servi à la construction d'édifices tout au long des siècles et des civilisations jusqu'à la fin du Moyen Âge. Les règles de proportion établies par expérience, comme les ordres, constituaient un savoir qui permettait de réaliser des projets d'architecture. Comme ces projets étaient réalisés directement sur les chantiers de construction, ces règles de proportion pouvaient également servir à considérer la façon de réaliser des actions sur ces chantiers. Les artisans de toutes les périodes jusqu'à la fin du Moyen Âge que nous venons de voir pouvaient travailler selon des canons et des normes hérités et développés par des artisans de générations précédentes.

Jusqu'au Moyen Âge, la communication entre acteurs d'un processus de conception pouvait passer principalement par la parole. Ces acteurs pouvaient avoir recours à un moyen pour la communication mais rarement pour figurer le résultat précis d'un processus de conception architecturale. Aucune source documentaire consultée n'a permis d'établir que ces acteurs aient vu la nécessité de figurer d'avance et avec précision, en dessin ou en maquette, le résultat d'un processus de conception. La façon de réaliser un projet d'architecture et le caractère réglé des solutions architecturales envisagées jusqu'à la fin du Moyen Âge pouvaient ne pas nécessiter de considérer dans le détail et à l'avance le résultat précis du processus de conception.

Lorsque des moyens de communication ont été mis à contribution, c'était pour permettre aux acteurs de communiquer relativement à cette façon de réaliser un projet. Ces moyens pouvaient être soit des dessins schématiques, soit des modèles tridimensionnels ou bien encore des devis descriptifs.

En figure 17, nous rendons compte par un schéma de notre compréhension de la façon de communiquer entre acteurs d'un processus de conception jusqu'à la fin de la période du Moyen Âge. Cette figure est élaborée selon les mêmes principes qui ont permis d'obtenir les figures 15 et 16 du précédent chapitre. Cependant, à l'opposé de ces deux figures, dans cette figure 17, la flèche dirigée vers le rectangle désignant les moyens utilisés pendant les communications relatives à une solution architecturale est en rapport

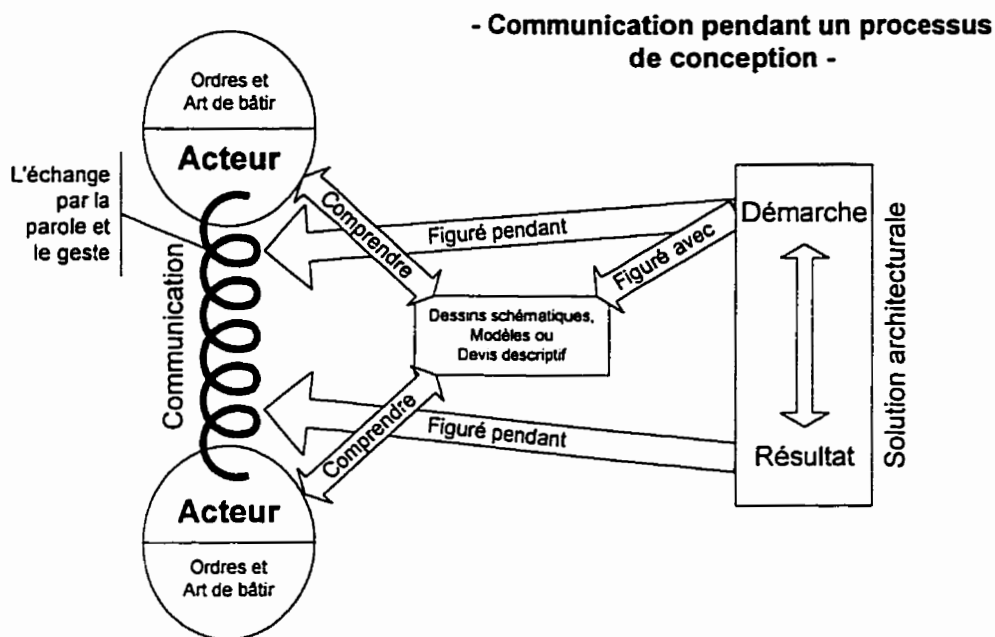


Figure 17 : Schéma de la communication entre acteurs d'un processus de conception de l'Antiquité au Moyen Âge

avec la démarche qui permet d'obtenir un résultat pendant un processus de conception. Cette flèche a été orientée de cette façon pour souligner que les moyens de communication pouvaient être considérés jusqu'au Moyen Âge, comme nous venons de le voir, pour la réalisation d'actions. Pour marquer que la communication entre ces acteurs pouvait passer principalement par la parole, la spirale qui représente le processus de communication entre ces acteurs a été tracée en trait gras. À cette spirale, deux flèches, partant du résultat et de la démarche qui caractérisent la solution architecturale, sont dirigées pour indiquer que c'est pendant cette communication que les acteurs pouvaient se figurer cette démarche et ce résultat. Ces acteurs pouvaient posséder des connaissances relatives à des Ordres d'architecture et différentes expériences dans l'art de bâtir.

Dans ce qui suit, nous allons essayer de comprendre comment, à partir de la Renaissance italienne, la façon de réaliser un projet d'architecture s'est transformée et comment les moyens pour la communication ont été adaptés à cette transformation.

L'objectif de ce chapitre est de comprendre comment les moyens utilisés pour la communication en architecture ont été développés à partir de l'explication d'une méthode pour le dessin du résultat d'un processus de conception, telle celle proposée par Raphaël. Pour cela, il est possible de commencer par voir comment cette méthode a été reçue par les acteurs d'un processus de conception et comment ces acteurs définissent ce processus à la Renaissance italienne. Cette compréhension peut être élaborée à partir de traités d'architecture publiés à cette période.

7.1. Le dessin de la copie de modèles

7.1.1. Les premiers traités d'architecture

Un traité est un ouvrage « didactique, où est exposé d'une manière systématique un sujet ou un ensemble de sujets concernant une matière »¹. Le terme « traité » renvoie à l'action de dissertar, d'exposer ses vues sur un sujet. Lorsqu'il s'agit d'architecture, ce ou ces sujets peuvent être relatifs à tout ce qui peut toucher, de près ou de loin, à la réalisation d'un projet, de la façon de formuler un problème d'architecture à la façon de considérer sa solution, sans oublier la formation nécessaire à ceux qui entreprennent de réaliser ce projet. Un traité d'architecture pourrait donc renseigner sur comment son auteur envisage la façon de communiquer entre les différents acteurs d'un processus de conception. Il pourrait également instruire sur les intentions de son auteur quant à la mise à contribution des moyens qu'il préconiserait pour la communication. Mais tous les traités écrits en matière d'architecture n'abordent pas toujours, du moins directement, la question de la communication entre les acteurs d'un processus de conception. En effet, certains traités d'architecture soulèvent cette question indirectement en expliquant le savoir que les acteurs doivent posséder pour réaliser un projet d'architecture. D'autres, par contre, traitent la question de la communication en expliquant comment il serait possible de mettre à contribution des moyens pour cette communication.

Dès le début de la période de la Renaissance, des traités d'architecture ont commencé à être rédigés mais avec des contenus très différents. D'après le travail de recherche de F. Choay (1980), le traité de L.B. Alberti, *De re aedificatoria*, posséderait une « valeur inaugurale » en ce qu'il propose de fonder l'édification, l'architecture, en tant que discipline spécifique et autonome. F. Choay (1988, p. 83) a confirmé cette valeur inaugurale en

¹ Dictionnaire, le Petit Robert, édition 1989.

opposant notamment des textes qu'elle a défini comme « commentateurs » et « réalisateurs ». Alors que les textes commentateurs sont ceux qui « glosent sur l'espace bâti », les textes réalisateurs regroupent les textes « prescriptifs »¹ et ceux dits « instaurateurs » dont L.B. Alberti est d'ailleurs le fondateur et le seul à en avoir écrit jusqu'au XVII^e siècle (Choay, 1980, p. 83). Le traité de L.B. Alberti établit une nouvelle façon de faire en architecture et n'est donc pas le reflet de la façon de réaliser un projet d'architecture à son époque. Par conséquent, les premiers traités d'architecture qui peuvent nous intéresser pourraient tous comporter un contenu à caractère soit commentateur soit prescriptif.

Pour A. Chastel (1988), ce recours aux commentaires ou aux prescriptions des premiers traités d'architecture est principalement dû à une difficulté de synthèse de l'abondante matière nouvellement développée à la Renaissance. Cette matière était nouvelle tant du point de vue constructif² que des règles à suivre pour l'élaboration d'un projet d'architecture. Avant de développer sa propre conception de l'acte de bâtir, on était encore, à la Renaissance, à essayer de comprendre ce que Vitruve avait voulu dire en comparaison avec ce que les ruines antiques permettaient encore de voir.

A. Chastel (1988) écrit :

« L'aspiration à une mise en ordre théorique n'aboutit pas à l'élaboration d'un traité. On procède tour à tour à la rationalisation de la pratique, au choix et le commentaire des modèles (antiques et modernes), à la recherche des fondements esthétiques de l'acte de construire, sans dégager un lien entre ces préoccupations. Quand on développe un discours élevé sur les œuvres célèbres, antiques ou modernes, c'est dans un style d'éloge, procédant d'une rhétorique flatteuse plutôt que d'une critique spécifique » (p. 15).

L'auteur fait référence à un traité d'architecture en tant que corps de « doctrine » bien établi ayant une portée sur la façon de formuler et de résoudre un problème d'architecture (p. 14). En Italie, à l'époque de la Renaissance, jusqu'au XVI^e siècle, faute de synthèse, on assiste à une prolifération de traités d'architecture, à caractère commentateurs surtout, que A. Chastel (1988, p. 15) qualifie de « pattern-book ». Il s'agit en fait de recueils de modèles d'édifices ou de leurs détails datant de l'antiquité et s'adressant principalement à des spécialistes de la construction. Mais pour ces spécialistes,

¹ Pour F. Choay (1980), le traité de Vitruve possède un caractère prescriptif. Elle écrit que c'est « une tentative prémonitoire, prématurée, non aboutie et qui ne pouvait, à une époque non motivée pour aborder l'espace perceptif et l'espace construit avec le systématisme et le détachement qui, quinze siècle plus tard, permirent l'émergence du traité albertien » (p. 28).

² Au chapitre 5, nous avons vu que la plupart des chargés de projets d'architecture au début de la Renaissance n'étaient pas issus des chantiers de la construction comme leurs prédécesseurs du Moyen Âge.

la plupart de ces traités du XV^e siècle sont demeurés inédits jusqu'au XIX^e siècle, et au siècle suivant, le XVI^e, « le genre se multiplia et devint raîdement l'ornement obligé de la bibliothèque de l'honnête homme », écrit F. Choay (1980, p. 41).

Parmi les traités d'architecture qui ont été produits à la Renaissance, celui de Andréa Palladio (1508-1580), *I quattro libri dell'architettura*, publié en 1570, constitue une tentative de synthèse sur la façon de réaliser un édifice à son époque, en Italie. Cependant, ce traité est principalement constitué de dessins, tous tracés selon une stricte considération des projections orthogonales, et ne comprend pas d'explications quant à la façon dont l'auteur concevait la réalisation d'un projet d'architecture. Sans conclusion indicative non plus, il contient et des modèles antiques et les propres réalisations de l'auteur, ce que ses prédécesseurs n'avait toutefois pas encore osés (Chastel, 1988, p. 15). Quelques trente ans avant A. Palladio cependant, Sebastiano Serlio avait déjà eu l'idée d'un projet semblable qui a eu des répercussions jusqu'en France.

En effet, en 1537, S. Serlio avait entamé un projet de traité d'architecture qui consistait à rédiger huit livres portant sur différents aspects de la réalisation d'un projet d'architecture. Ce traité devait présenter à la fois des notions sur la géométrie et la perspective (Livres I et II publiés à Paris en 1545), des exemples de l'antiquité romaine complétés de réalisations contemporaines ainsi que d'une présentation des ordres classiques (Livres III et IV publiés à Venise respectivement en 1540 et en 1537), des illustrations d'édifices religieux (Livre V publié à Paris en 1547), d'édifices civils, ruraux et urbains (Livre VI récemment retrouvé sous forme de deux manuscrits) ainsi que des exemples de réhabilitation de bâtiments anciens (Livre VII paru à Francfort en 1575 après sa mort). Le huitième Livre, qui devait porter sur l'architecture militaire, n'a pas encore été publié et on sait que S. Serlio a également publié à Lyon, en 1551, un ouvrage spécialement dédié aux portails. C'était donc un projet complexe d'articulation de la matière dont avait voulu s'occuper S. Serlio avec la rédaction de son traité.

A. Chastel (1988, p. 15-16) voit trois mérites dans cette réalisation de S. Serlio principalement. Le premier, c'est d'avoir établi une distinction entre des programmes, c'est-à-dire entre des projets d'architecture pouvant émaner de la bourgeoisie, de la seigneurie et de la royauté. Le deuxième mérite est d'avoir su voir la différence entre la réalisation d'un projet d'architecture en ville et en campagne. Et enfin, le troisième mérite est d'avoir compris qu'il pouvait exister en architecture un caractère national ou régional. Ses déplacements en France, à Lyon et à Paris notamment, en Italie et ailleurs à travers ces pays l'ont probablement sensibilisé à la nécessité d'une compréhension particulière « du lieu et pour qui » on construisait. Dans son traité, il a traduit cette sensibilité en proposant toujours des modèles d'édifices mais non plus de l'antiquité uniquement comme

l'ont fait ses prédécesseurs, comme Cesare Cesariano par exemple. Chacun de ses livres semble rendre compte des préoccupations « de là » où il avait été publié. Au XVI^e siècle, ce traité a eu une remarquable influence sur la façon non seulement de construire mais aussi de rédiger les traités d'architecture, en France (Golton, 1988).

En France, l'édition du traité d'architecture de S. Serlio a permis une prise de conscience d'une dépendance directe du savoir développé et ramené d'Italie en ce qui concerne la réalisation de projets d'architecture. Cette prise de conscience s'est notamment manifestée chez Jacques Androuet du Cerceau (1510?-1585?) et Philibert de l'Orme (1514-1570)¹ qui, tous deux, ont rédigé des ouvrages sur l'architecture mais d'un genre très différent.

7.1.2. Les modèles types de Jacques Androuet du Cerceau

J.A. du Cerceau était éditeur de livres et avait un intérêt particulier pour l'architecture. F. Boudon (1988) écrit qu'il était « le premier et le seul éditeur du royaume à exploiter une formule dont Serlio, avec le *Livre VI*, avait été l'initiateur » (p. 367). Il avait une position de monopole dont il s'était servi pour publier plusieurs ouvrages sur l'architecture qui étaient alors en demande par ses contemporains. Après deux petits recueils sur *Les Petites habitations* (paru aux alentours de 1540) et sur les *Moyens temples* (paru en 1550), il édite deux nouveaux ouvrages; le *Livre d'architecture* (paru en 1559 et réédité en 1582 et 1611) avec son complément le *Second Livre d'architecture* (paru en 1576) et un autre *Livre d'architecture* (paru en 1582 et réédité en 1615 et 1648). Ces deux ouvrages étaient composés de dessins de modèles d'édifices choisis à partir de bâtiments existants ou purement imaginés.

Un témoignage de l'utilité et du rôle que ces ouvrages jouaient, en toute probabilité pendant la communication pour la réalisation d'un projet d'architecture à cette période de la Renaissance en France est fourni par un auteur contemporain à J.A. du Cerceau, E. Tabourot (1608). Voici un extrait où un de ces livres est explicitement cité :

« Il [...] prit un iour fantaisie [au sieur Gaulard] de bastir une maison à Dole [...]. Ce qu'ayant entendu un maiste masson, il luy porta divers pourtraicts, avec le livre de du Cerceau. Et pource qu'il n'entendoit gueres à ces peintures ny aux plans pourtraicts en diverses cartes, le masson luy promist de luy apporter un modele eslevé en bois ou carton. Et environ huit iours après luy en apporta un au plus près de la fâtaisie du sieur Gaulard, & luy montrant par le menu, disoit: Voylà vostre entrée, vostre salle, vostre escalier, vostre chambre, vostre garde-robbe, vostre cabinet, vostre cuisine, vostre garde-

¹ D'après la chronologie établie par J.-M. Pérouse de Montclos (1988) dans sa présentation des traités d'architecture de P. de l'Orme.

manger. A quoy il respondiit à chasque mot : Ouy, voilà mon entree, mon escalier, ma salle, etc... Enfin, voyant un petit pertuis noir, qui estoit peint en un coing, il demāda : Et qu'est ce là ? Monsieur, respond le maçon, ce sont les privez. Pardieu, dit-il, je m'en doutois bien, il y a un quart d'heure que je les sentoīs » (Tabourot, 1608 [1^{ère} édition 1585], folio 9).

Dans cet extrait¹, il est possible de remarquer au moins trois choses par rapport à la réalisation d'un projet d'architecture chez un bourgeois français du XVI^e siècle. Tout d'abord, c'est un maître maçon qui propose une solution architecturale. Il ne formule pas une solution nouvelle à un problème d'architecture spécifique. Il ne reprend pas non plus une solution traditionnelle qui aurait pu déjà avoir fait ses preuves pour un problème d'architecture semblable. Le maître-maçon part d'un modèle répertorié dans un livre produit par une tierce personne et le propose à son client, le sieur Gaulard. Le maître maçon non seulement pouvait comprendre les dessins illustrant le modèle qu'il proposait à son client puisqu'il serait parvenu à le traduire sous la forme d'une maquette mais, de plus, il savait réaliser ce modèle. En ce sens, le maître maçon pouvait donc posséder une connaissance et une expérience en matière tant de la concrétisation, au sens du chantier de construction, que de la lecture et de la préparation de figurations architecturales.

Ensuite, chose remarquable également, l'auteur mentionne des peintures et des plans que ne parvenait pas à « entendre » le sieur Gaulard. Si l'on tient compte qu'il distingue les peintures des plans et si l'on interprète « plans » au sens contemporain du terme, c'est-à-dire une projection horizontale, alors les peintures mentionnées auraient donc pu signifier des élévations ou des vues en perspective de ce modèle. Mais les plans « pourtraicts en diverses cartes » laissent également entendre la triade des projections plan-élévation-coupe. Pour comprendre ces dits plans, le sieur Gaulard aurait donc été appelé à faire l'exercice sur lequel Raphaël insistait déjà, c'est-à-dire lire les dits plans en même temps. Or, il n'y parvenait pas. La compréhension des peintures aurait également été difficile pour le client mais pas de la même façon puisqu'il était tout de même arrivé avec le maître maçon à retenir, parmi plusieurs modèles, un modèle qu'il voulait comprendre plus en détail. C'est le maître maçon, probablement parce qu'il connaissait des notions de géométrie, qui pouvait expliquer ces peintures et ces plans à son client.

Enfin, le maître maçon avait recouru à la maquette et à la parole pour expliquer à son client le modèle retenu. L'auteur utilise le terme « élever »² une maquette, au lieu de « fabriquer » ou « faire » une maquette, ce qui donne lieu à penser que le maître maçon allait confectionner la maquette à la manière d'une construction, c'est-à-dire en partant

¹ Nous devons la découverte de ce passage du texte d'Etienne Tabourot (1547-1590) à la précision apportée par F. Boudon (1988, p. 377), dans sa note 40.

² Ce qui rappelle notamment l'expression médiévale « extraire du plan » ou *Ausziehen*.

des fondations pour arriver à la toiture. Cette opération était réalisée en peu de temps, environ huit jours, en utilisant du carton ou du bois ce qui ne permettait donc probablement pas au maître maçon de détailler les aspects décoratifs du modèle considéré, ni d'indiquer les « privez » d'ailleurs. Le maître maçon avait probablement voulu présenter uniquement l'organisation des espaces du modèle, ce qui, une fois la maquette finie, pouvait justifier qu'il explique verbalement au sieur Gaulard cette organisation.

En somme, dans cet extrait, il est possible de voir à quoi aurait pu servir le traité d'architecture de J.A. du Cerceau et donc les dessins qui y étaient inclus. F. Boudon (1988) a étudié une édition du traité d'architecture de J.A. du Cerceau et rapporte que l'auteur déclare clairement ses intentions dans le titre du premier Livre de son traité. Elle cite l'extrait suivant :

« [...] *instruire ceux qui désirent bastir soient petit, moyen, ou grand estat. [...] Pareillement à l'imitation desditz plans et deseings, non seulement les maçons, charpentiers et autres ouvriers, mais aussi ceux qui se délectent à la pourtraicture, peuvent prendre instruction à bien dessaigner et accomoder tous logis et bastimens. Chose qui apporte grand plaisir et proffit* » (Boudon, 1988, note 3, p. 367).

D'après cet extrait, J.A. du Cerceau précise à qui il adresse son Livre et comment il envisage son utilité. Il propose aux professionnels et à toutes autres personnes, ayant les moyens financiers nécessaires et qui désirent réaliser un projet d'architecture, d'utiliser ses modèles et de les adapter à leurs propres besoins. En ce sens, c'est ce que le sieur Gaulard et le maître maçon ont suivi comme démarche. Mais le contemporain à J.A. du Cerceau, Philibert de l'Orme, semblait mépriser cette façon de proposer des modèles dessinés.

7.1.3. Les prescriptions de Philibert de l'Orme

Philibert de l'Orme est né à Lyon d'une famille de maîtres maçons prospère. Sur les chantiers de construction, il a donc pu acquérir dans sa jeunesse une connaissance et une expérience en réalisation de projets d'architecture. Il a également été s'instruire en Italie, à l'occasion de voyages à Rome notamment. Là, il a pu côtoyer les humanistes de la Renaissance ainsi que certains cercles d'artistes ; il a réalisé des relevés et étudié les ruines de l'antiquité romaine. Vers la fin de sa vie, il décide d'écrire des traités d'architecture que plusieurs considèrent comme le résultat de la rencontre de deux savoir-faire, celui du Moyen Âge français et celui de la Renaissance italienne (Blunt, 1958; Guillaume, 1988).

P. de l'Orme a écrit deux traités, *Les Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz* (paru en 1561) et le *Premier tome de l'architecture* (paru en 1567). Au XVII^e

siècle, un éditeur a réédité (1626 et 1648) ces traités en les rassemblant en un seul volume tout en mutilant les textes et en introduisant des illustrations d'autres ouvrages¹. Avant l'édition de J.-M. Pérouse de Montclos en 1988, il n'existait « pas d'édition complète des traités de Philibert de l'Orme » mais uniquement ces rééditions du XVII^e siècle (Pérouse de Montclos, 1988, p. 355). Même l'érudit A. Blunt (1958, p. 127-156) qui a commenté l'œuvre de P. de l'Orme s'est appuyé sur le contenu de la réédition de 1648. Il était conscient de certaines anomalies par rapport à l'édition princeps mais sans les connaître toutes (Blunt, 1958, p. 127, note 1). Cet état des sources documentaires fait en sorte que certaines attributions à P. de l'Orme de quelques commentateurs de ses traités pourraient être erronées.

Les trois premiers Livres du *Premier tome* de P. de l'Orme sont particulièrement intéressants du point de vue des conseils donnés par l'auteur pour la formation et les rapports à envisager entre les principaux acteurs de la réalisation d'un projet d'architecture. Le Livre I est consacré aux rapports entre un client et l'architecte. Il y explique notamment quelles sont les qualités à rechercher chez celui qui va prendre en charge la réalisation d'un projet d'architecture. Le Livre II explique la façon de préparer l'assiette pour entreprendre la construction d'un édifice. L'auteur y donne quelques conseils pour le tracé au sol d'un plan. Et au Livre III, il introduit la question de l'art du trait pour la coupe de la pierre qui est davantage développée dans le Livre IV qui traite des voûtes. P. de l'Orme y expose, à échelle réduite, en s'adressant aux architectes et aux maîtres maçons, différentes façons de tracer l'épure permettant de débiter la pierre. Alors que les Livres I à IV du *Premier tome* traitent de la réalisation d'un projet d'architecture, les Livres subséquents, de V à IX, abordent les questions des ordres d'architecture et leur définition. Ce sont donc les trois premiers livres, et particulièrement le premier, qui sont les plus intéressants pour la compréhension de la façon dont P. de l'Orme aurait pu entendre la communication entre les acteurs d'un processus de conception, au XVI^e siècle.

Au Livre I, P. de l'Orme entame son traité à la manière d'une démarche de réalisation de projet. Il commence par recommander longuement au client les qualités que le responsable devrait avoir; qualités qui, d'après lui, précèdent souvent la réputation de ce responsable². Il écrit que ce responsable doit être « un sage, docte, et expert » qui ne doit

¹ Des *Nouvelles Inventions*, l'avertissement final, un discours à la louange au roi et le chapitre III du Livre I, dans lequel l'auteur fait le récit de son invention, ont disparus. L'avis aux lecteurs et la dédicace de la réédition ont également été transformés. Pour les illustrations, le blason de l'auteur a été retouché mais surtout plusieurs planches d'autres traités du XVI^e siècle, publiés par de Fra Giocondo, Serlio, et des auteurs contemporains ont été rajoutées. J.-M. Pérouse de Montclos (1988) écrit que l'éditeur ne semble pas s'être soucié de l'ordre des planches et les a introduites « n'importe où et n'importe comment (certaines planches sont à l'envers) » (p. 358) dans sa réédition de 1648.

² Livre I, fol 8.

rien ignorer de la « Philosophie, des Mathématiques », ni de l'histoire. Il précise aussi qu'il :

« [...] serait tresbon que l'Architecte [...] eust estudié aux sciences (outre celles que nous auons dict) qui sont requises à l'Architecture, comme entendre bien l'Arithmetique, je dy en sa pratique et theorique : la Geometrie aussi en theorique, mais plus en pratique, pour les traicts qui sont le vray usage d'icelle »¹ (Livre I, chap III, fol. 10v-fol. 11).

Cette précision pourrait laisser penser que la partie théorique de la géométrie qu'il préconise est principalement destinée à permettre le dessin du résultat d'un processus de conception, surtout lorsqu'il a écrit un peu avant que cette personne doit également comprendre :

« [...] la protraicture, pour faire voir et donner à entendre à un chacun par figures et deseings les œuures qu'il aura à faire. Semblablement qui cognoisse la perspective, tant pour faire ses protraicts, que pour sçavoir donner la clarté aux édifices selon les region et naturel d'une chacune partie d'iceux » (de l'Orme, 1988, Livre I, chap. III, fol. 10).

Mais P. de l'Orme ne conçoit le dessin que comme un moyen secondaire d'aide à la communication du responsable d'un projet d'architecture avec les différents autres acteurs d'un processus de conception. Il condamne sévèrement ceux qui font usage du dessin uniquement pour, dit-il, « tromper et abuser » les seigneurs (Livre I, chap. X, fol. 22). Il remet également en cause le conseil de Vitruve selon lequel ce responsable doit aussi être rhétoricien et il est d'avis que cette rhétorique devrait se limiter au conseil ainsi qu'à l'expression d'une diligence naïve pour dire, ce qui de façon prompt, lui permettra de réaliser son entreprise et ses intentions. Il écrit que :

« Plusieus ne sçayent parler beaucoup, mais sont fort studieux et curieux de leur estat, et trop plus à louër que ceux qui font grands parleurs et font longs discours, avecques ostentations de beaux protraicts et bien peinturez, mais leurs œuyres ne sont en rien semblables » (Livre I, chap. III, fol. 10v).

P. de l'Orme n'écarte pas les dessins pour communiquer relativement à une solution architecturale mais demande à ce qu'ils soient accompagnés de modèles et de devis. Pour lui, la sagesse est de :

« [...] sçavoir bien entretenir sa reputation et donner bon conseil et fidele, avec exhibition de protraictz, modelles et devis proportionnez de leur mesure et parfaite symmetrie, à fin qu'on cognoisse qu'il y procede en vray homme de bien, et qu'il est tresdocte en son art » (Livre I, chap IV, fol 12).

¹ Pour rendre le texte plus lisible, les « f », « s », « & », « u », « v », « ã », « õ », « i » et « e » du texte original ont été respectivement substitués par des « s », « et », « v », « u », « an », « on », « j » et « en ».

Il constate, que de son temps, trop de constructions d'édifices ont été entreprises sur la base de moyens de communication abusifs. À l'aide de dessins et de modèles, plusieurs personnes, des « Architectes et maistres maçons » utilisant les moyens des peintres et qui savaient « bien farder, layer, vmbrager, et colorer », se seraient avancées à proposer des projets d'architecture insuffisamment développés pour être réalisables (Livre I, chap. X, fol 22). P. de l'Orme conclut son Chapitre X sur le responsable du projet qui « *devoir manifester ses inventions par desseing et protraits tant de plates formes et montées, que autres, et signamment par un modèle qui représentera au naturel tout le bastiment et logis* » ainsi :

« Je suis doncques d'avis, que nous suyvions les bonnes coustumes de ceux qui souloient anciennement bien edifier, et ne s'arrestoient, comme escrit Leon Baptiste Albert, aux protraicts de plates peintures ou autres. Croyez (dict il) que tous ceux qui se sont amusez à faire beaux desseings, ont esté ceux qui moins ont entendu l'art. Il suffit donc à l'Architecte de sçauoir bien faire ses lignes pour dresser proprement un plan, et une montée faite nettement avec toutes ses proportions et mesures, à fin que le Seigneur l'entende. Puis dresser ses modelles qui seront de boys ou de papier, ou de charte, ou d'autre matiere, ainsi qu'elle luy viendra à propos. Je ne dy pas que ce ne soit une fort belle grace à l'Architecte de sçauoir bien protraire et peindre, mais il a tant d'autres choses beaucoup plus necessaires à cognoistre, qu'il luy doit suffire de protraire mediocrement, proprement et nettement. Car pouyeu que les mesures soient bien gardées, ses protraits ne sçauroient faillir à se bien monstret » (Livre X, chap. X, fol. 22v).

Pour P. de l'Orme, la manière de figurer une solution architecturale, de façon à ce qu'elle puisse être comprise par un client, est celle qu'il interprète de L.B. Alberti. Cette manière, il la comprend comme un « savoir-faire pratique » et non un « art », au sens de la peinture. À son avis, être habile dans l'art de dessiner est une qualité souhaitable mais pas indispensable pour la figuration d'une solution architecturale. L'important est de savoir et de s'appliquer à suivre une méthode graphique qui permet d'engendrer une figuration correcte de la solution. De plus, le résultat obtenu avec une méthode graphique n'est pas suffisant selon lui, puisqu'il conseille également de préparer un modèle fait de matière¹, autrement dit une maquette. Il consacre même l'intitulé et le contenu du Chapitre XI de son Livre I pour expliquer « *Qu'il ne se fault arrester à un seul modèle de tout l'œuvre et bastiment, ains en conyient faire plusieurs cocernans toutes les principales parties de l'édifice: et des grandes commoditez qui en proviendront* » (fol. 22v).

¹ A. Blunt (1958) écrit que P. de l'Orme voulait « que l'architecte établisse des plans détaillés de chacune des parties de la construction envisagée, et qu'il en prépare, si possible, une maquette » (p. 131). Mais cette interprétation est difficile à défendre. La position de P. de l'Orme semble pourtant très claire ne serait ce qu'en lisant l'intitulé du Chapitre XI de son Livre I.

Dans tout le Chapitre XI, P. de l'Orme s'attache à expliquer avec insistance l'utilité des maquettes mais il avertit des conséquences possibles d'une réduction d'échelle (sans la nommer). Une maquette unique donne la forme générale mais pas le détail de ce qui sera construit. Pour résoudre ce problème et établir une meilleure correspondance avec le futur édifice, il propose que partout où il y a le besoin de comprendre un aspect de la solution, une nouvelle maquette soit préparée. Cette maquette ne sera pas décorée et pas trop détaillée, juste de quoi pouvoir observer les « proportions et mesures » (fol. 23 v.). À la question des dépenses que la préparation d'une grande quantité de maquettes pourrait impliquer, il répond qu'elle est beaucoup moins dispendieuse qu'une entreprise risquée dont le client pourrait s'en repentir durant toute sa vie (fol. 23). En disposant de maquettes pour comprendre une solution architecturale, le client peut savoir si le responsable retenu pour un projet d'architecture « entend bien son art » et si « la despense n'est point excessive » (fol. 23). Le client peut établir l'estimation d'un projet en distinguant dans la maquette les différentes portes, fenêtres, maçonneries, etc. C'est uniquement la maquette qui permet d'établir cette estimation et non pas les « protraits et peintures » (fol. 23v.). L'arithmétique aidant, le client peut alors calculer le coût des matériaux « mesurés » et, si ces coûts dépassent ses capacités financières ou s'il désire augmenter ces coûts alors, il peut retrancher ou ajouter à la maquette ce qu'il aura jugé nécessaire.

Dans le Livre I, P. de l'Orme adresse ses recommandations aux personnes qu'il considère comme les deux principaux responsables « de la conduite et entreprise » d'un projet d'architecture. Ainsi, aux Chapitres XIII à XIX de ce Livre, il explique même au seigneur comment s'approvisionner et préparer les matériaux nécessaires à la concrétisation d'une solution architecturale. Les Chapitres IV à IX sont plus particulièrement adressés à l'architecte. D'après leur contenu et la précocité du projet, c'est-à-dire l'étape de la formulation d'une solution architecturale, la charge de l'architecte tient moins à la technique qu'à la théorie. Il est introduit à la façon d'orienter un édifice, aux effets des vents et des eaux, à ses obligations pour le contrôle du projet, aux règles de l'architecture (qu'il va d'ailleurs développer davantage dans les derniers Livres), à des exemples de réalisation de l'auteur et à des problèmes de salubrité dans les édifices. De cette répartition de la matière du premier Livre, il est possible de constater que la responsabilité qui incombe à l'architecte relève plutôt d'un savoir théorique qui se rapporte surtout à une géométrie théorique pour la formulation d'une solution architecturale. Le moyen pour la communication préconisé par P. de l'Orme pour permettre aux deux responsables de collaborer à la réalisation d'un projet d'architecture est principalement une série de maquettes. P. de l'Orme insiste moins sur le dessin que sur la maquette afin de permettre au client, dit-il, d'entendre à quoi la solution architecturale pourra ressembler une fois concrétisée, comment elle pourra à la fois être réalisée d'après les « inventions » de

l'architecte et servir au calcul des dépenses que sa concrétisation implique. Mais après ces préliminaires de formalisation de la solution, l'auteur se tourne vers le chantier de construction.

Au Livre II, c'est au « maîtres maçons, tailleurs de pierres, et ouvriers (sur lesquels l'Architecte toujours domine) » que P. de l'Orme s'adresse (Livre II, fol. 31). Il écrit que ceux là :

« seront doncques advertis en ce livre, de quelz instruments et moiens ils se doivent principalement ayder pour les mesures, tant des orthographies que scenographies, c'est à dire tant des plans que des montées et Fassades des bastiments, à fin de proprement cognoistre quelles seront les œuvres, premier que d'y proceder par aucuns desseings ou modelles » (Livre II, fol. 31).

L'auteur met ici moins l'emphase sur le modèle réduit et introduit plus le dessin comme moyen pour la communication sur le chantier de construction. Pour pouvoir travailler à partir de ces dessins, il demande aux acteurs sur un chantier de connaître « de petites reigles et preceptes d'Arithmetique et Geometrie » (Livre II, fol. 31 v.). Cette arithmétique et cette géométrie sont envisagées pour des questions pratiques car ce sont elles qui permettront à ces acteurs de trouver « les dimensions et denombrements » nécessaires à leurs actions (Livre II, fol 31v). Tout n'est donc pas donné dans le dessin et c'est à ceux qui concrétisent la solution de déduire ce dont ils ont besoin du dessin en mettant à contribution les savoir qu'il leur conseille. Il précise ce qu'il entend par arithmétique et explique qu'il s'agit en plus des quatre opérations de base, c'est-à-dire ce qui permet d'ajouter, de soustraire, de multiplier et de diviser, de la règle de trois (aussi appelée par l'auteur la règle de proportion ou dorée), « pour les grandes commoditez qu'elle apporte » (Livre II, fol 31v). Mais pour celui qui est en charge du chantier il lui recommande aussi de connaître les fractions et les racines carrées et cubiques, « à fin d'accōmoder le tout aux proportions et dimensions, desquelles s'ayde necessairement l'Architecture » (Livre II, fol. 31v.). La géométrie pratique que P. de l'Orme explique à ces acteurs consiste en un savoir permettant de réaliser la construction de différentes figures de base comme le tracé d'une perpendiculaire à une droite ou la division d'un segment en plusieurs parties égales, par exemple. Il préconise l'utilisation d'instruments comme la règle, l'équerre mais surtout le compas¹ ou la corde avec lesquels les acteurs peuvent obtenir des résultats beaucoup plus précis pour leurs tracés (Livre II, chap. I à III). La construction de figures géométriques est encouragée par l'auteur non pas uniquement pour la taille des pierres (le trait) mais également pour le calcul. Au Chapitre

¹ P. de l'Orme symbolise même le travail du docte et sage architecte au travers de l'utilisation du compas dans une figure incluse au folio 51, verso, et commentée au folio 50, recto, verso.

II du Livre II, il va jusqu'à dénoncer l'imprécision de l'arithmétique pour la détermination de la racine carrée d'un nombre (fol. 38 v.).

Au Livre III, où P. de l'Orme se penche plus particulièrement sur la construction de caves et leurs ouvertures, il introduit son lecteur aux épures nécessaires à la taille des matériaux durs, la pierre notamment. Pour réaliser ces épures, il propose d'abord des instruments de dessin (fol. 56 v.) puis explique ensuite plusieurs façons géométriques, des « artifices » en ses termes, pour réussir différentes épures. Sa démarche consiste à inviter le lecteur à procéder par déduction pour réussir les constructions présentées (fol. 68 v.). En fait, l'auteur essaye d'expliquer un savoir que la plupart des ouvriers connaissaient déjà mais qu'il pense en perte et que, de leur propre aveu, les responsables de projet ne possédaient pas (fol. 81).

Finalement, P. de l'Orme prescrit à l'architecte une prise en charge continue de la réalisation d'un projet d'architecture. Avec le client, cet architecte formule une solution architecturale et, sur le chantier de construction, il reste aux côtés des ouvriers pour superviser la concrétisation de cette solution. Pour chacune de ces deux opérations, la formulation et la concrétisation d'une solution architecturale, l'auteur préconise des moyens différents pour la communication. Pour formuler une solution, il suggère l'emploi de maquettes, comme nous l'avons vu. Pour la communication entre acteurs sur un chantier de construction, P. de l'Orme suggère plus le dessin orthographique que les maquettes.

Pour P. de l'Orme, le dessin sert principalement à déterminer l'emplacement des fondations et les tâches à prévoir pour la concrétisation d'une solution architecturale. À partir d'un dessin, les différents acteurs sur un chantier de construction établissent les tâches qu'ils auront à accomplir pour arriver à un résultat comparable à ce qui est consigné dans le dessin. Pour cela, ils doivent mettre à contribution leurs connaissances et expériences respectives dans la réalisation des actions à considérer. Pour superviser le travail de concrétisation, l'architecte doit posséder une connaissance et une expérience similaires à celles des autres acteurs sans quoi, dit-il, le résultat risque d'être contraire à ses attentes initiales (fol. 81). C'est dans la géométrie « pratique » principalement que réside une grande partie de la connaissance nécessaire à l'architecte, ainsi qu'à tous les autres acteurs du chantier. Pour P. de l'Orme, cette géométrie consiste en une somme d'artifices permettant de calculer, tailler et placer correctement les différentes matières qui entrent en considération pendant la construction d'un édifice. Une géométrie « théorique » réservée plus à l'architecte qu'au client permettrait également de formuler une solution architecturale. Cette géométrie théorique est relative à l'établissement de proportions entre les différentes formes du futur édifice.

À partir de ce que nous venons de voir donc, P. de l'Orme considère la façon de réaliser un projet d'architecture en mettant à contribution une tradition médiévale¹ et la culture de son temps, celle de la Renaissance. D'un côté, il tire avantage du savoir développé à la Renaissance en distinguant notamment le travail de formulation de celui de concrétisation pendant un processus de conception (en ayant lu le traité de L.B. Alberti). De l'autre côté, il garde un lien avec le Moyen Âge en héritant et en comprenant l'importance d'une expérience sur un chantier de construction. Par contre, de la Renaissance et du Moyen Âge, il ne retient pas tout. De la Renaissance, il semble ne pas accorder autant d'importance que ses contemporains au principe du dessin du résultat d'un processus de conception, par exemple. Et du Moyen Âge, il ne semble pas non plus conserver cette crainte de révéler les secrets, si bien gardés, relatifs aux savoir-faire des maîtres et artisans, comme la façon de tailler la pierre, par exemple. Il profite même des possibilités de l'imprimerie pour divulguer et diffuser ce savoir parmi les personnes intéressées à l'architecture mais, en partie aussi, de peur qu'il ne se perde.

Cependant, le traité de P. de l'Orme reste le témoignage d'une expérience personnelle et constitue le résultat d'un exercice à caractère prescriptif qui ne reflète donc pas nécessairement la façon de réaliser un projet d'architecture chez ses contemporains. L'exemple de l'utilisation du recueil de modèles de J.A. Du Cerceau par le maître maçon et le sieur Gaulard a montré que la distribution des responsabilités pour la réalisation d'un projet d'architecture pouvait également se faire uniquement entre un client et un maître-maçon, sans l'« architecte » à qui s'adresse également P. de l'Orme. De plus, le traité de P. de l'Orme était adressé en premier lieu aux lettrés de la France de la Renaissance.

7.2. La formation et le dessin

Si, au XVI^e siècle, P. de l'Orme essaye de prescrire, à sa manière, une façon de réaliser un projet d'architecture en s'efforçant d'articuler la responsabilité de cette réalisation autour d'un triumvirat, client, architecte et constructeur, et si l'ouvrage de J.A. du Cerceau a pu connaître un certain succès auprès de maîtres maçons et leurs clients, il est alors possible d'imaginer que le rôle de l'architecte n'était pas encore totalement défini à cette période de l'histoire, en France du moins. Le métier d'architecte, au sens de celui qui est chargé d'instruire et de superviser la réalisation d'un projet d'architecture, pouvait donc être en pleine formation mais aux dépens des acteurs de chantiers de construction

¹ A. Blunt (1958) considère que même « Le fondement de la structure décrite par lui est généralement médiéval et, dans certains cas, l'auteur insiste explicitement sur ce point; c'est le cas, par exemple, pour l'escalier en colimaçon doté de voûtes en berceau, à propos duquel il fait l'éloge de la Vis de Saint-Gilles (XII^e siècle), selon lui la plus grande réussite de son espèce. Mais sa façon de disposer ses structures prouve qu'il connaissait bien la géométrie moderne et qu'il savait en faire une application nouvelle aux problèmes de l'architecture » (p. 135).

qui étaient déjà intégrés à un processus de conception bien établi de longue date. Un acteur avec un nouveau rôle dans ce processus de conception, ayant pour intention d'instruire des acteurs déjà initiés à réaliser des projets d'architecture sans sa présence, suggère donc probablement une nouvelle organisation des activités pendant cette évolution.

Mais l'exercice de ce nouveau rôle passait également, comme nous l'avons vu pour la Renaissance italienne, par l'introduction d'un nouveau moyen de communication, à savoir : le dessin, que les acteurs d'un processus de conception n'avaient pas nécessairement eu besoin de considérer jusque là. Ce nouveau moyen de communication n'avait donc pas encore besoin d'être inscrit à l'agenda de la formation de ces acteurs. La question qui se pose alors est de savoir comment ces acteurs participants à un processus de conception déjà bien établi, ont adopté ce nouveau moyen de communication pendant la réalisation de leurs différentes activités. Autrement dit, il s'agit de comprendre si ce nouveau moyen de communication, le dessin d'architecture, a été introduit suite à un besoin, partagé par ces acteurs, pour améliorer la façon de réaliser leurs actions ou pour répondre uniquement aux exigences d'une nouvelle organisation du travail impliquée par l'introduction d'un nouvel acteur.

Cette compréhension peut être construite en étudiant l'évolution de la formation des acteurs en charge de la réalisation d'un projet d'architecture. Car, comme écrit Y. Deforges (1981) :

« [...] la capacité de faire et d'utiliser un document technique relève pour le moins d'un apprentissage plus ou moins intégré à l'action, plus ou moins poussé, plus ou moins lié à la position du professionnel dans le cycle de production, mais toujours nécessaire, car le graphisme technique n'a rien de « naturel » ; les déclarations sur le dessin « moyen naturel d'expression » ont trait au dessin libre ; quant au projet de faire du dessin technique une sorte de langage universel, il ne peut s'envisager que dans le cadre d'une technicisation généralisée de la société » (p. 146).

Ici, l'auteur, même s'il mentionne le dessin technique, donne déjà une partie de la réponse à la question considérée. Si l'on admet avec lui que l'introduction du dessin technique correspond à la volonté d'une société pour une technicisation généralisée de sa production, alors l'introduction du dessin pour la communication en architecture, adoptée dans cette société, peut donc également être un reflet de cette volonté. Cependant, avant de réaliser cette volonté, les acteurs d'un processus de production ont aussi eu à apprendre la maîtrise de ce dessin pour ensuite l'intégrer à leurs actions. Le dessin pour la production est, en effet, quelque chose d'artificiel, une somme d'entités géométriques abstraites, dont le contenu ne peut donc être compris que si un acteur a, un tant soit peu, compris ses principes géométriques et appris à s'en servir.

Pour comprendre les implications de l'introduction du dessin comme moyen de communication pendant un processus de conception architecturale, les deux principales instances en charge de la formation des acteurs jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, c'est-à-dire la communauté des compagnons et les écoles publiques, sont considérées ci-dessous.

À partir du XVII^e siècle, en France, au moins deux principales organisations prennent en charge la formation des personnes désirant acquérir un métier relatif à la réalisation d'un projet d'architecture, le compagnonnage et les académies royales. Chacune de ces deux organisations avaient adopté une démarche pédagogique différente pour leur enseignement. Le compagnonnage préconisait un apprentissage en situation et les académies, un enseignement dans des écoles.

En examinant comment les communautés compagnoniques et les académies royales concevaient leur enseignement, il est possible de comprendre comment elles entendaient la façon d'exercer un métier et, par conséquent, les moyens de communication qui étaient nécessaires à l'exercice de ce métier. La conception de ces deux organisations du savoir nécessaire à un acteur d'un processus de conception à qui elles dispensent une formation, permettra de comprendre comment elles entendaient la façon d'agir de ces acteurs et leurs besoins en moyens de communication. Pour ce faire, il est possible de commencer par l'apprentissage en situation qui a précédé la création des écoles.

7.2.1. Le « compas »gnonnage ou l'apprentissage en situation

Les origines du compagnonnage coïncident avec la division du travail apparue au Moyen Âge. En effet, le corollaire de la remise en cause à cette période de la façon de réaliser un projet d'architecture va être, à côté de la définition d'un nouveau rôle pour le responsable du projet d'architecture, la formation en jurande des métiers de la construction. Stimulée par un régime monarchique désireux de mieux rassembler sous son autorité les différents métiers de son espace économique, une organisation corporative des métiers se forme. Pour les différents métiers, cela pouvait représenter le maintien de leurs privilèges et, pour le régime qui gouverne, un moyen de régler et de coordonner la vie professionnelle. Mais l'accession à la maîtrise dans un de ces métiers, qui donnait alors droit à l'exercice d'un métier en tant qu'artisan, devient de plus en plus difficile principalement à cause des coûts qu'elle implique. Les redevances et les frais nécessaires pour accéder à la maîtrise dans un métier limitent le métier d'artisan à une certaine catégorie de personnes, celles qui avaient les moyens de s'affranchir de ces redevances.

D'après J.-M. Savignat (1980, p. 55-60), certaines personnes pouvaient même devenir maître dans un métier simplement en payant des lettres de maîtrise au roi¹. Cela aurait eu pour conséquence, la création d'une catégorie de maîtres n'ayant pas nécessairement fait la preuve de leurs compétences dans le métier convoité. Mais en réaction, une autre conséquence était la création d'une nouvelle forme d'organisation, le compagnonnage. À cette organisation pouvaient se joindre et les maîtres et les prétendants au titre, les valets, qui n'avaient pas les moyens financiers nécessaires pour devenir artisan. C'est donc dans le compagnonnage principalement que le savoir-faire des acteurs de chantiers de construction était préservé. Mais cette conservation passait également par une transmission de ce savoir-faire.

Jusqu'à la suppression en 1791 des corporations de métiers en France, la communauté compagnonnique s'était chargée de la formation d'une grande partie des artisans de la construction. Les compagnons travaillaient sur les chantiers de construction et, en même temps, en situation, formaient les personnes qui désiraient acquérir un métier. Pour devenir compagnons, les jeunes gens étaient assimilés à des apprentis et appelés aspirants. D'après E. Martin Saint-Léon (1977), la formation se faisait à deux niveaux, celle réservée aux aspirants et celle dispensée aux compagnons confirmés.

La formation des aspirants était assurée par un ancien, soit individuellement soit en groupe. Ces aspirants arrivaient dans la plupart des cas à la formation sans savoir ni lire ni écrire. L'enseignement était dispensé de façon orale et par la démonstration mais ne se limitait pas uniquement aux aspects directement liés au métier. L'ancien était le tuteur, le responsable de toute l'éducation de l'apprenti (Martin Saint-Léon, 1977, p. 244). Il instruisait l'apprenti en tout, même en dehors du chantier de construction. Pour son métier, « il lui montre en quoi et pourquoi son ouvrage est défectueux ; il lui apprend à mieux faire [...] » (Martin Saint-Léon, 1977, p. 244). À la manière du traité de P. de l'Orme, il lui apprenait également différents « artifices » pour tracer des figures sur du bois ou de la pierre sans que cela n'ait exigé de sa part la connaissance d'une géométrie théorique. À l'aide d'un compas et d'une règle, l'ancien expliquait à l'apprenti de quelle façon lui-même procédait pour construire une figure qui allait permettre la fabrication d'une pièce sur le chantier de construction. Un compagnon (Favaron) décrit ainsi l'enseignement de ce savoir-faire en géométrie au XIX^e siècle qui illustre ce qu'elle aurait pu être durant les siècles antérieurs :

« Nous faisons des cours de géométrie descriptive auxquels personne (parmi les géomètres professionnels) ne comprendrait rien, mais ça réussit tout de

¹ Voir également sur le rapport entre maître-maçon et les ouvriers, J.-P. Bayard (1977, p.109-112). L'auteur y explique notamment comment, par rapport aux maîtres maçons, le compagnonnage s'est établi en France.

même. C'est très curieux ; il ne faut pas dire par exemple : en élevant cette perpendiculaire, en tirant cette oblique etc... On dit : tiens, tu vois ça ; puis ça ; en mettant un morceau de bois comme ça et en traçant ça comme ça, on fait deux coupes, ou ça fait un arêtier. Nous avons des ouvriers qui ne connaissent pas un mot d'algèbre, ni quoi que ce soit, et qui sont plus forts en descriptive - une descriptive impossible, fantastique - que tous les ingénieurs du monde » (E. Coornaert, 1966, p. 258).

Le savoir-faire que considéraient les artisans n'était donc pas à caractère théorique. C'était en apprenant la façon de manier le compas et la règle pendant l'accomplissement d'une action sur un chantier de construction que ces artisans étaient formés. Autrement dit, c'était en associant des procédés de géométrie aux finalités d'une action que l'artisan apprenait son métier. Cet apprentissage impliquait une méthode pédagogique basée sur la résolution de problèmes par démonstration en situation. Le compagnon formait son apprenti à la méthode qui lui permettait de résoudre plus tard un problème équivalent en décrivant les actions qui permettent d'obtenir le résultat escompté, sans explicitations théoriques relatives aux principes de la géométrie qui servent à ces actions. Et pour expliquer la méthode qui permettrait à un apprenti de résoudre un problème, le compagnon communique avec l'apprenti par la parole tout en lui désignant ce sur quoi allait porter l'action qui allait permettre de résoudre le problème considéré. Les moyens de communication que considéraient alors le compagnon et l'apprenti pendant la formation étaient donc la parole, le tracé de figures et ce sur quoi allait porter l'action, son substrat. Dans le cas du témoignage du compagnon du XIX^e siècle, ce substrat était un morceau de bois.

C'est après que l'artisan ait été formé suffisamment longtemps auprès de plusieurs anciens, en allant de chantier de construction en chantier de construction (communément appelé le Tour), qu'enfin il pouvait prétendre au titre de compagnon. Y. Deforges (1981, p. 159) rappelle d'ailleurs de façon pertinente l'étymologie du mot « compasgnon » qui, d'après lui, réfère « avant tout¹ à celui qui sait se servir du compas et qui sait mesurer ». Il est également celui qui a certaines obligations sociales et morales de fraternité² envers la communauté des compagnons à laquelle désormais il appartient.

Une fois reçu au sein de la jurande, le compagnon pouvait ensuite encore perfectionner ses connaissances, mais cette fois-ci en dehors du chantier de construction. Ce perfectionnement visait une instruction supérieure et également la formation d'artisans

¹ J.-P. Bayard (1977, p.29) établit l'étymologie du mot compagnon plus par rapport à « celui qui partage le pain avec un autre » mais précise tout de suite après que les « rites qui nous sont parvenus [...] sont ceux des maçons opératifs, utilisant l'équerre, le compas, le maillet : nous trouvons des signes sur chaque pierre taillée ».

² Y. Deforges (1981, p. 159) écrit que cette double initiation « technique et sociale » leur procure « une force de contestation puissante et cohérente qu'ils seront, si souvent, cloués au pilori ».

hors pairs susceptibles de participer à la préparation d'un « chef d'œuvre ». Ce chef d'œuvre était préparé pour une communauté qui se mesurait à une autre communauté compagnonnique. Le but de cet exercice était de se démontrer mutuellement, entre communautés compagnonniques, l'excellence de leurs savoir-faire alors évalué par un jury composé de compagnons chevronnés, dits les anciens. Ces concours leur permettaient ainsi à tous de parfaire continuellement leurs connaissances.

Mais l'instruction supérieure à laquelle les compagnons pouvaient prétendre concernait avant tout l'art du trait, c'est-à-dire ce que P. de L'Orme définissait, par exemple, comme nécessaire pour « cognoistre comme il faut faire les courbes sur le coing et toutes les cherches rallongées pour faire les croupes des couvertures ». Il s'agissait de différents tracés pratiques servant à débiter bois ou pierres, dessinés au début à même le sol puis, plus tard, à petite échelle sur des supports comme le papier. Ces tracés constituaient des solutions à différentes situations de coupes problématiques sur le chantier de construction. P. de L'Orme parle lui-même de solutions simples et difficiles en présentant les planches de ses *Nouvelles Inventions* (XI, p. 289-290). À partir du XVII^e siècle, cette connaissance du trait va même amener certains de ces compagnons instruits à devenir démonstrateurs de trait dans différentes écoles en France, tant leurs compétences en cette matière étaient reconnues. Et la façon qu'ils enseignaient cet art du trait devait probablement emprunter une pédagogie comparable à celle employée pour les apprentis sur le chantier de construction, c'est-à-dire d'après le comment faire pour arriver à résoudre un problème particulier. C'est ce qui semble néanmoins ressortir du *Livre du Compagnon* écrit par un compagnon du XIX^e siècle, A. Perdiguier (1977) dit Avignonnais La Vertu. Ce livre comprend un précis relatif au trait dans lequel la matière est présentée sous la forme d'un dialogue, entre le compagnon et son apprenti.

D'après ce que nous venons de voir jusqu'ici, pendant un apprentissage en situation ou un perfectionnement de la connaissance, un apprenti, comme un compagnon, pouvaient apprendre des notions de géométrie non pas pour lire un dessin mais pour réaliser une action.

Les moyens de communication dont les compagnons pouvaient se servir pendant la réalisation de leurs actions sur un chantier de construction n'avaient donc pas besoin d'exprimer de notions explicites de géométrie. La parole pour expliquer la façon d'accomplir des actions, le trait pour tracer les figures nécessaires à la réalisation de ces actions ainsi que le substrat sur lequel l'action allait être envisagée pour obtenir le résultat souhaité pouvaient donc être mis à contribution par les compagnons qui réalisaient des actions pendant un processus de conception architecturale.

Mais, au siècle des lumières, la tendance est à l'étude et à l'enseignement généralisé avec pour but de mettre les arts libéraux à la portée des artisans de tous les métiers.

7.2.2. Les écoles de dessin et la copie de modèles

Au début du XVII^e siècle déjà, des sociétés savantes s'étaient formées pour permettre à des personnes ayant des connaissances en mathématiques, en architecture, en philosophie ou en peinture de partager et de discuter de leurs intérêts communs relatifs à ces différents arts libéraux. À partir de cet enthousiasme pour les arts libéraux, en 1648, l'Académie royale de peinture et de sculpture de Paris a été créée en réunissant certaines de ces sociétés savantes. Vingt trois ans plus tard, en 1661, c'est au tour de l'Académie royale d'architecture de recevoir ses lettres patentes du roi.

Dès leur création, les Académies royales avaient envisagé l'ouverture d'écoles pour dispenser un enseignement au grand public. L'Académie de peinture, la première, avait tenté d'ouvrir une école pour dispenser des cours de dessin à petits frais mais s'était heurtée à la contestation de la jurande des maîtres peintres et tailleurs de pierres qui voyait dans cette initiative un empiétement sur ses propres prérogatives de formation des artisans. La jurande avait eu gain de cause et l'Académie de peinture ne pouvait inaugurer son école que trois ans plus tard. Cependant, entre temps, la jurande avait pris conscience des enjeux de l'éducation de son époque, et s'était également instituée en académie, l'Académie Saint-Luc. Cette académie avait alors réussi à ouvrir sa propre école de dessin et gratuite. Le succès et la demande régionale pour ces écoles allaient faire qu'ensuite, en 1676, le roi approuve l'idée d'ouvrir ce genre d'écoles un peu partout à travers la France, c'est-à-dire là où un besoin de formation se faisait sentir. Suite à ça, les écoles et les Académies royales s'étaient alors multipliées pour concurrencer très directement l'ancien système de formation des jurandes par apprentissage en situation. Et, vers la fin du XVIII^e siècle, des décrets avaient été publiés pour ordonner la suppression de toutes les Académies (1793) ainsi que les maîtrises et les jurandes (1777) de France (Deforges, 1981, p. 161-164).

Au début, ces écoles de dessin étaient à temps partiel. Elles étaient destinées surtout aux personnes qui voulaient compléter leur formation pour un métier. Ce n'est d'ailleurs qu'en 1747 que J.-F. Blondel (1705-1774) ouvre une école à plein temps mais destinée uniquement à former des architectes. Les écoles à temps partiel avaient pour mission « de tirer les arts mécaniques de l'avalissement où le préjugé les a tenus si longtemps », comme on peut le lire sous la rubrique « Art » de l'*Encyclopédie* de D. Diderot et de J. d'Alembert (1751-1780).

En fait, comme le remarque Y. Deforges (1981, p. 148) qui a mené une recherche approfondie sur l'évolution de l'enseignement du dessin et du graphisme technique, surtout

en France, au milieu du XVIII^e siècle un fossé bien plus important était déjà creusé entre les arts libéraux et les arts mécaniques. Y. Deforges (1981) écrit que :

« A la séparation fonctionnelle, conception-réalisation, qui laissait l'artisan possesseur d'un pouvoir étendu : celui que lui donnaient son savoir jalousement conservé, la propriété de ses outils de travail et le plaisir de créer matériellement, se substitue la dichotomie naissante, conception-organisation, exécution, propre au système manufacturier, qui rassemble le pouvoir du savoir et des moyens de production entre les mains des ingénieurs et des hommes d'affaires, en ne laissant à l'ouvrier que la liberté de produire machinalement » (p. 148).

Il est possible de comprendre ce que l'auteur a voulu dire par la séparation entre conception-organisation et exécution en analysant la façon dont les programmes de ces écoles à temps partiel étaient enseignés.

Dans les écoles à temps partiel, la plupart des enseignants dispensaient des cours selon une même méthode pédagogique basée sur la copie de modèles (Deforges, 1981, p. 151). Ces cours pouvaient se rapporter à l'architecture, à la géométrie, à l'arithmétique, à la gnomonie, à la perspective ou à l'art du trait par exemple. Pendant ces cours, l'enseignant donnait à ses élèves des modèles dessinés ou en volume, accompagnés d'explications sur la manière de les dessiner. Les élèves devaient ensuite reproduire ces modèles autant de fois que nécessaire, jusqu'à ce que l'enseignant ait approuvé le résultat.

Les exceptions quant à la façon d'enseigner semblent rares. Par exemple, les écoles de mathématiques pratiques et de dessin de Reims offraient des cours en salles qui pouvaient être accompagnés d'un exercice pratique à l'extérieur de l'établissement, en allant mesurer sur le terrain des bâtiments ou en vérifiant directement avec un appareilleur de pierre chevronné l'épure préparée pour une coupe. Une autre exception semble être le cours public dispensé par J.-F. Blondel. Y. Deforges (1981) écrit au sujet des caractéristiques de l'enseignement qu'il proposait qu'il s'agit de :

« [...] une nette défaveur de la copie de modèles, une volonté affirmée de ne pas enseigner le dessin seul, mais de rassembler autour d'un thème les connaissances afférentes et un appel au concret et à l'investissement personnel de l'élève. Il s'agit là de la mise en pratique des vues personnelles d'un éducateur [...] D'ailleurs, Blondel ne fera pas école. La copie de modèles restera la méthode fondamentale de l'enseignement du dessin jusqu'à la fin du XIX^e siècle » (p. 169-170).

Pour plusieurs, à cette période le dessin était « considéré comme ayant sa propre finalité formative » (Deforges, 1981, p. 149). J.-F. Blondel ne semblait cependant pas partager entièrement cet avis puisqu'il concevait le dessin comme un moyen de répondre

aux besoins de la réalisation d'un projet d'architecture. Il annonce même qu'à certains jours allait se donner, dans son école, « gratuitement à tous les ouvriers du bâtiment, différentes leçons sur le dessin, les éléments, la théorie ou la pratique, relatifs à leurs besoins ; nous nous faisons [écrit-il] un devoir de présider à ces différentes instructions » (Blondel, 1973, p. 80 et 99). Sa réponse à ces besoins des ouvriers était d'enseigner le dessin avec pour but de résoudre les problèmes posés dans différents métiers et non le dessin tout seul.

La considération du dessin comme ayant sa propre finalité formative vient notamment de l'engouement qu'il y avait à cette période de l'histoire pour la géométrie. Y. Deforges (1981) cite, par exemple, B.F. de Rozoi¹ qui considère la géométrie comme étant « la matrice des opérations de l'esprit » (p. 150). Il suffisait, croyait-on, de faire faire inlassablement par les artisans des reproductions de modèles pour que les principes de cette géométrie puissent être compris et que, de cette manière, ces artisans allaient pouvoir arriver à en profiter pour réaliser leurs actions. Mais, d'un autre côté, on ne voulait pas non plus que l'artisan soit détourné de ce qu'il avait à faire. Par exemple, L. Philipon de la Madelaine (1783) écrit : « je ne veux pour le peuple que des routines & de la pratique ; je bannis absolument la démonstration, à moins que la pratique ne lui soit essentiellement liée » (note I, page 152). L'idée était en fait que l'artisan comprenne juste ce qu'il lui fallait pour arriver à comprendre les instructions de celui qui était en charge d'un projet d'architecture.

A.L. de Lavoisier, également cité par Y. Deforges (1981, p. 149-150), écrit que :

« De même qu'il existe des connaissances qui doivent être communes à tous les hommes, à quelque profession qu'ils se destinent, de même il en existe qui doivent être communes à tous les artistes. Le dessin nous paraît devoir être rangé dans cette classe ; le dessin est un langage sensible qui parle aux yeux, qui donne de l'existence aux pensées, et sous ce point de vue, il exprime plus que la parole ; c'est un moyen de communication entre celui qui conçoit ou qui ordonne et celui qui exécute ; enfin, considéré comme langue, c'est un instrument propre à perfectionner les idées ; le dessin est donc la première étude de ceux qui se destinent aux arts »².

Dans cet extrait, A.L. de Lavoisier place ainsi le dessin comme un moyen pour la communication entre un concepteur et un exécutant. Le dessin est considéré comme un langage qui permet à un « concepteur » d'« ordonner » et non d'« expliquer » ses intentions.

¹ Référence de l'auteur: B.F. de Rozoi (1769), Essai philosophique sur l'établissement des écoles gratuites de dessin pour les arts mécaniques, Paris, Quillau.

² Extrait par Y. Deforges (1981) des *Réflexions sur l'instruction publique présentées à la Convention Nationale par le bureau de Consultation des Arts et Métiers suivies d'un projet de décret*, Brochure B.N. R8373, 1973.

D'après A.L. de Lavoisier, il y a un concepteur qui pense et ensuite ordonne aux autres acteurs d'un processus de conception d'exécuter ce qu'il a pensé. Selon cette compréhension du rôle du dessin, l'artisan n'a donc plus besoin, comme en apprentissage en situation, de comprendre les actions qu'il va poser mais uniquement d'exécuter des actions définies et ordonnées par un concepteur. En ce sens, le dessin est en effet une connaissance pour celui qui exécute. Pour celui qui conçoit, le dessin est également considéré comme une connaissance lorsqu'il permet de travailler, de perfectionner des idées. Mais l'enseignement du dessin pour le perfectionnement des idées est dispensé ailleurs que dans les écoles à temps partiel. C'est dans les écoles à plein temps, spécialement conçues pour permettre à ceux qui désirent devenir concepteurs, au sens de la division du travail conception-organisation/exécutant, que cet enseignement du dessin pour le perfectionnement des idées et leur communication est dispensé.

En effet, à côté du cours public, J.-F. Blondel ouvre une *École des Arts* à plein temps destinée à ceux qui veulent ou qui peuvent se former en architecture, étant donné qu'il puisait sa clientèle dans quelques cercles de privilégiés, les « bien-nés ». Dans cette école parallèle à celle de l'Académie d'architecture, il essaye de rassembler toutes les matières qu'il juge nécessaires au métier d'architecte. Le dessin y est considéré comme une activité fondamentale mais à condition qu'il soit jumelé à la connaissance des sciences et d'autres arts susceptibles d'aider à la réalisation d'un projet d'architecture. Ainsi toutes les disciplines, telles par exemple l'arithmétique, la stéréotomie, la physique, la perspective, la géométrie ou la mécanique sont intégrées au programme de cette formation parce qu'elles permettent notamment le proportionnement, la taille des pierres, l'établissement de devis, le calcul des charges, etc. J.-F. Blondel préconise même la formation au modelage afin de permettre aux élèves de fabriquer et d'apprécier des modèles de leurs solutions architecturales en trois dimensions. Cette formation était si complète au point de vue technique que J.-F. Blondel exigeait de ses élèves non pas seulement de proposer des solutions architecturales mais également de produire des dessins d'exécution accompagnés d'un estimé des coûts. Comme l'écrit Y. Deforges (1981), cette formation « étend l'emprise du concepteur au détriment de l'artisan et préfigure l'organisation industrielle » (p. 179). D'ailleurs plus tard, en 1795, cette école de J.-F. Blondel allait être fusionnée à celles de peinture, de sculpture et d'architecture pour former la nouvelle *École des Beaux-Arts* qui sera maintenue active jusqu'au XX^e siècle.

Mais pendant la longue période qui a mené à la création des écoles à plein temps, l'activité de production en architecture était restée principalement entre les mains de maîtres maçons, devenus entrepreneurs, ou architectes-entrepreneurs. Les autres architectes, dits architectes-académiciens, sont restés en attente de grandes commandes susceptibles de venir de personnes suffisamment aisées pour penser à des projets à leur grandeur.

Cependant, surtout à la fin du XVIII^e siècle, ces personnes aisées étaient rares et ces architectes-académiciens s'étaient retranchés derrière une production de papier. Le constat de cette production de papier a probablement amené J.-F. Blondel à stigmatiser le dessin qui reste sans relation avec la concrétisation. L'absence de commandes architecturales précises a amené les architectes-académiciens à constituer le dessin « en domaine de création autonome » (p. 166), indépendant du processus de concrétisation de la solution architecturale, ce qui leur a permis d'être visionnaires pour « faire éclater le carcan académique » (p. 173) dans lequel ils se trouvaient alors (Savignat, 1981). Mais ce retranchement derrière le dessin a également eu pour conséquence une rupture de l'idée de globalité du processus de conception telle que la concevait P. de l'Orme lorsqu'il prescrit à l'architecte une prise en charge continue de la réalisation d'un projet d'architecture. L'élaboration de dessins était assimilée par ces architectes-académiciens comme la principale activité pour la réalisation d'un projet d'architecture et l'art de bâtir n'était devenue que la partie scientifique de cette activité. Cet art de bâtir était donc laissé aux soins de concepteurs scientifiques, les ingénieurs, qui n'allaient d'ailleurs pas tarder par la suite à s'impliquer activement dans le processus de conception architecturale, comme nous le verrons plus bas.

En somme, la dichotomie conception-organisation/exécution, que mentionnait plus haut Y. Deforges (1981, p. 148), consistait, au XVIII^e siècle, en une nouvelle distribution des tâches entre les acteurs d'un processus de conception. À la Renaissance italienne, on avait déjà dissocié les acteurs qui formulent un problème d'architecture et sa solution de ceux qui concrétisent cette solution sur un chantier de construction, engendrant ainsi une distinction entre le processus de formulation et le processus de concrétisation en architecture. Mais au XVIII^e siècle, en France, l'enseignement du dessin était dispensé d'une telle façon qu'il préparait les élèves à devenir des exécutants pendant un processus de conception. Les élèves devaient apprendre à copier des modèles. La méthode pédagogique pouvait être à l'opposé de celle considérée en apprentissage en situation des communautés compagnonniques qui préparaient leurs apprentis à formuler des solutions à des problèmes sur un chantier de construction. Sur les bancs des écoles et en apprentissage en situation, on apprenait à se servir du dessin à des fins différentes. Les compagnons apprenaient à tracer des figures pour pouvoir réaliser leurs actions et les élèves des écoles apprenaient le dessin pour pouvoir reproduire les actions définies par un autre acteur qui a réfléchi pour eux à la réalisation de cette action.

7.3. Le dessin scientifique

Nous avons vu précédemment la place prépondérante que prenait de plus en plus le dessin pendant le processus de conception architecturale au XVIII^e siècle. La façon dont

ce dessin pouvait être enseigné dans les écoles de dessin avait favorisé la définition d'une catégorie d'acteurs exécutants et, une autre, de concepteurs-organiseurs. Mais cette dernière catégorie d'acteurs se distancie également et en même temps du processus de concrétisation pour se concentrer davantage sur le dessin d'architecture et les solutions architecturales que ce dessin permettait d'envisager sans que celles-ci ne soient nécessairement réalisées. Le pendant de cette transformation du rôle et des tâches des acteurs d'un processus de conception architecturale a aussi été la définition d'un nouvel acteur susceptible de prendre en charge l'art de bâtir sur les chantiers de construction. Il s'agit de l'ingénieur qui va désormais prendre en charge non seulement la formulation et la résolution de problèmes techniques pendant un processus de conception mais également la recherche et l'innovation en matière de technologie, c'est-à-dire la définition d'outils et procédés techniques et organisationnels susceptibles d'améliorer la production sur les chantiers de construction (Savignat, 1981, p. 147).

Pour pouvoir formuler et résoudre les problèmes d'ordre technique pendant un processus de conception architecturale, les ingénieurs se sont dotés d'un nouvel outil graphique, le dessin scientifique. Ce dessin est qualifié de scientifique parce qu'il est basé sur des règles théoriques et explicites de géométrie. Il est parfois aussi appelé graphisme technique ou dessin technique mais ces appellations ne permettent pas de différencier un dessin élaboré selon des règles d'une géométrie pratique, comme celle considérée par les compagnons ou P. de l'Orme pour ses *Nouvelles Inventions* par exemple, et un dessin réalisé en considérant les règles d'une géométrie théorisée (Deforges, 1981).

Dans ce qui suit, nous allons tout d'abord considérer la mise au point de la méthode pour l'élaboration d'un dessin scientifique qui est encore enseignée et employée au XX^e siècle, c'est-à-dire celle basée sur la géométrie descriptive. Ensuite, nous considérerons une méthode pour l'élaboration d'un dessin scientifique, basée sur une géométrie différente, la géométrie projective, qui a longtemps été d'abord décriée et ensuite ignorée. Comme nous le verrons plus loin, il s'agit de deux méthodes pour l'élaboration d'un dessin scientifique qui ont été développées par des personnes qui poursuivaient des objectifs différents.

7.3.1. Une méthode pour l'exactitude et la précision

En 1737-39, A.F. Frézier (1682-1773) avait écrit, en trois tomes, un traité opérationnel, intitulé *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois, ou traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture*. Ce traité annonçait déjà vers quoi l'organisation de la production en architecture se dirigeait. A.F. Frézier était ingénieur militaire et, dans son ouvrage, il donnait des réponses concrètes aux acteurs d'un processus

de conception pouvant être confrontés à des problèmes de construction. Dans sa préface, il explique le pourquoi de son traité :

« Parmi les connaissances qui nous sont nécessaires, celle de la coupe des pierres, quoiqu'une des plus négligées, n'est pas moins importantes. J'ai reconnu par ma propre expérience qu'elle était aussi indispensablement nécessaire à un Ingénieur qu'à un Architecte ; parce qu'il peut être envoyé comme moi dans des colonies éloignées et même dans des provinces où l'on manque d'Ouvriers capables d'exécuter certaines parties des fortifications, où il faut de l'intelligence dans l'appareil. L'épreuve que je venais d'en faire à mon second retour d'Amérique me fit naître l'idée d'en composer un Traité [...] » (p.).

Les campagnes militaires ont donc sensibilisé A.F. Frézier à la question du savoir-faire des acteurs d'un processus de conception qui agissaient sur des chantiers de construction. Dans son explication, l'auteur constate que ce savoir-faire est rare et qu'il est autant nécessaire à l'architecte qu'à l'ingénieur. Il ajoute que ce savoir-faire est même rare en France à cette période du XVIII^e siècle, en dehors des villes. Il explique également que ce savoir-faire est nécessaire à l'architecte comme à l'ingénieur parce que l'un ou l'autre peut se retrouver en des lieux où des artisans qualifiés en construction peuvent être manquants. Il recommande donc que cet ingénieur et cet architecte arrivent à prendre en charge ce savoir-faire des artisans de la construction de façon à ce qu'ils puissent éviter d'être dépendants de ces artisans. Il propose à cet effet, un traité qui porte sur l'art du trait, c'est-à-dire un recueil de procédés graphiques permettant de contrôler le débit des matériaux en vue de leur utilisation sur un chantier de construction.

L'explication donnée par A.F. Frézier pour la rédaction de son traité permet de faire trois constatations. Tout d'abord, au niveau de la formation, les ingénieurs et les architectes à qui l'auteur fait ses recommandations semblent ne pas avoir été directement impliqués sur un chantier de construction. Pour certains architectes, comme les architectes-académiciens par exemple, cela pourrait signifier qu'ils se désintéressaient des questions d'ordre technique qu'impliquait alors la concrétisation d'une solution architecturale. Ensuite, au niveau de la conception du rôle des acteurs pendant un processus de conception, en mentionnant le travail des acteurs sur le chantier de construction, A. Frézier a employé le terme « exécuter » ce qui permet de constater que l'auteur concevait ce processus de conception selon la dichotomie conception-organisation/exécution que nous avons déjà vue plus haut. Et finalement, au niveau de la consolidation de cette dichotomie, l'auteur recommandait de connaître la coupe de pierre ou la stéréotomie. Pour A. Frézier, un des savoir-faire sur le chantier était donc l'art du trait. Ce traité semble donc être et une tentative et une invitation à la prise en charge de ce savoir-faire sur le chantier de construction.

Mais l'amorce de cette prise en charge du savoir-faire relatif à l'art du trait, sans toutefois avoir porté fruit, avait déjà été entreprise par d'autres, bien avant A. Frézier (Sakarovitch, 1993, p.127-129). Comme cela a été indiqué précédemment dans ce chapitre¹, P. de l'Orme avait déjà préconisé dans un traité, au XVI^e siècle, différents « artifices » pour tailler les pierres et le bois nécessaires à la fabrication de voûtes et de charpentes. Au XVII^e siècle, plusieurs auteurs comme par exemple, M. Jousse qui a rédigé *L'art de la charpenterie* en 1627, le père F. Derand auteur en 1643 de *L'architecture des voûtes* ou encore A. Bosse qui a publié la même année *La pratique du trait à preuves...*² se sont également intéressés à cet art du trait. Cependant, leurs écrits ne semblent pas avoir servi en leur temps, aux acteurs d'un processus de conception du moins, et ne pouvaient donc avoir eu de conséquences immédiates sur l'organisation de la production en architecture (Savignat, 1981, p. 140). Ce qu'ils dénotent néanmoins, c'est l'intérêt qu'il y avait déjà pour ce savoir-faire sur le chantier de construction. Mais ce savoir-faire n'était pas encore suffisamment synthétisé et le besoin pour cette synthèse ne s'était pas encore fait sentir. C'est à la sortie du traité de A.F. Frézier que cet attrait pour la synthèse a commencé à apparaître. À la fin du XVIII^e siècle, Gaspard Monge (1746-1818) établira une synthèse des procédés graphiques traduite en sa *Géométrie descriptive*. Avant de considérer cette géométrie, un court résumé de la vie professionnelle de G. Monge permettra de mieux comprendre comment il est arrivé à envisager cette synthèse.

D'après les témoignages que rapporte M. Brisson en introduction à l'édition de 1847 de la *Géométrie Descriptive*, G. Monge était le fils d'un modeste commerçant qui avait manifesté dès son adolescence de remarquables dispositions pour la physique et la géométrie. À l'âge de seize ans, il avait déjà relevé et dressé le plan de sa ville natale, Beaune. En 1765, un officier de l'École du Génie de Mézières apprécie les dispositions du jeune G. Monge et le fait entrer dans son école à titre de collaborateur technique dans un atelier de coupe de pierres et de moulage. Très vite, il va assimiler l'art du trait et se distinguer dans cette école en apportant des solutions originales à des problèmes militaires au moyen de sa géométrie pratique. Une fois reconnu par ses supérieurs et le cercle des mathématiciens, il devient professeur de mathématiques, de physique et même d'hydraulique et, en 1780, l'Académie des sciences de Paris l'élit associé géomètre. En 1784, il se fixe dans la capitale d'où il va activement s'impliquer dans la Révolution française des années qui suivent. Ainsi, après un court passage au gouvernement en tant que ministre de la marine (1792-93), il participe en 1794 à la création de deux écoles, l'*École normale* et l'*École centrale des travaux publiques* qui deviendra au bout d'une

¹ Voir *Les prescriptions de Philibert de l'Orme*, en page 194.

² Les considérations géométriques mises à jour par A. Bosse sont examinées plus longuement dans ce chapitre à partir de la page 219.

année, l'*École polytechnique* connue à ce jour. C'est dans ces écoles que G. Monge arrivera enfin à enseigner ouvertement sa géométrie descriptive gardée secrète pour raisons militaires.

Pour la définition et la diffusion de la géométrie descriptive, au moins deux importants aspects de la vie de G. Monge peuvent être remarqués. Tout d'abord, l'auteur de cette géométrie a essayé de répondre pendant une grande partie de sa vie aux besoins militaires de son pays. Cette recherche de réponses aux besoins militaires l'a probablement encouragé à essayer de résoudre des problèmes posés et par la balistique et par le génie militaire au moyen de procédés rigoureux. G. Monge devait être sensible au concept de rationalité, c'est-à-dire à la considération de moyens qui n'échappent pas à la raison de manière à pouvoir en contrôler les résultats.

Ensuite, G. Monge a été un fervent défenseur de la Révolution française. Son implication politique lui a permis d'occuper des postes décisionnels au niveau du gouvernement d'alors, ce qui lui a donné l'occasion de faire entendre ses idées relatives à la façon de considérer l'éducation nationale. Pour « tirer la nation française de la dépendance où elle a été de l'industrie étrangère », écrivait G. Monge (1847), :

« [...] il faut premièrement diriger l'éducation nationale vers la connaissance des objets qui exigent de l'exactitude [...] Il faut, en second lieu, rendre populaire la connaissance d'un grand nombre de phénomènes naturels, indispensable aux progrès de l'industrie [...]. Il faut enfin répandre, parmi nos artistes, la connaissance des procédés des arts, et celles des machines qui ont pour objet, ou de diminuer la main-d'œuvre, ou se donner aux résultats des travaux plus d'uniformité et plus de précision [...] » (p. xv).

Précision, exactitude et diffusion avaient donc été des mots d'ordre pour G. Monge. Il prévoyait industrialiser son pays en formant un plus grand nombre de personnes à une connaissance qui puisse leur permettre de considérer des objets avec exactitude et de comprendre les phénomènes naturels ainsi que les procédés des arts et des machines et ceci afin de diminuer la main d'œuvre et obtenir des résultats précis et uniformes. La géométrie descriptive devait faire partie de cette connaissance. Cette géométrie a donc été développée autour d'une idée de rationalisation de la production.

Avec son intérêt pour l'enseignement public, G. Monge a pu participer à l'élaboration de programmes d'enseignement. Ses implications politique et dans l'enseignement lui ont donc permis d'inclure sa géométrie au programme de grandes écoles. Ces écoles allaient ensuite contribuer à la diffusion de la géométrie descriptive qu'il venait de mettre au point. Plusieurs ouvrages sur sa géométrie descriptive avaient d'ailleurs été publiés de son vivant ou immédiatement après sa mort par les élèves qui avaient suivi son cours (Chasles, 1875, p. 210).

Mais la diffusion de la géométrie de G. Monge tenait aussi et surtout à sa valeur de synthèse¹ des méthodes graphiques développées jusqu'alors. Y. Deforges (1981) écrit que « l'enseignement avait besoin d'une théorie valorisante » (p. 191). Pour enseigner ces méthodes, l'école (supérieure) avait besoin que ce qui se faisait déjà sur les chantiers de la construction puisse devenir une articulation de concepts théoriques, et que ces concepts théoriques puissent être indépendants d'une application unique, immédiate, comme la coupe des pierres ou la construction d'une perspective. G. Monge avait réussi cette articulation avec les cours qu'il avait donnés notamment dans les écoles créées pendant la révolution française.

Dans son ouvrage, G. Monge (1847) après avoir décrit son programme pour l'éducation, énonce les objectifs de sa géométrie descriptive. Il écrit que :

« La géométrie descriptive a deux objets : le premier, de donner les méthodes pour représenter sur une feuille de dessin qui n'a que deux dimensions, [à] savoir, longueur et largeur, tous les corps de la nature, qui en ont trois, longueur, largeur et profondeur, pourvu néanmoins que ces corps puissent être définis rigoureusement.

Le second objet est de donner la manière de reconnoître d'après une description exacte les formes des corps, et d'en déduire toutes les vérités qui résultent et de leur forme et de leurs positions respectives » (p. 1)

Un double objectif pour sa géométrie donc : celui de représenter, d'une part, et celui, d'autre part, de permettre le raisonnement sur le résultat de cette action de représenter. En premier lieu, l'intention de G. Monge était de ramener la tridimensionnalité des « corps de la nature » à la bidimensionnalité du papier. Comme le constate J.-M. Savignat (1980), pour G. Monge, « la contrainte de la bidimensionnalité de la feuille de dessin est positivement acceptée » (p. 148). Pour représenter ces corps de la nature, G. Monge pose la condition que ces corps soient « rigoureusement » définis. Par rigueur, il entendait la possibilité de considérer des caractéristiques précises d'un objet, c'est-à-dire celles susceptibles d'être traduites mathématiquement sur une feuille de papier. Sur une feuille de papier, au moyen de points et de lignes, sans égard à ce sur quoi sa méthode s'applique ni à qui le résultat de cette méthode est destiné, pourvu qu'un corps possède des caractéristiques pouvant être interprétées, la méthode peut mener à une représentation. Sur deux plans coordonnés, ces points et ces lignes constituent des projections de caractéristiques formelles de corps tridimensionnels. À partir du contenu de ces plans, il

¹ A. Dahan-Dalmedico et J. Peiffer (1986, p. 137-139) écrivent que c'est « un des rares cas en histoire des sciences où une discipline apparaît soudainement avec un corps de savoir déjà constitué, des méthodes propres et un domaine d'applications déjà bien délimité », voulant dire par là que G. Monge n'était pas « le créateur exclusif ».

est ensuite possible de déduire les grandeurs de distances et d'angles ainsi que les positions respectives des différentes formes de ce corps dans l'espace.

En fait, pour G. Monge, le produit de la représentation avec la géométrie descriptive est moins une vue de l'objet qu'une construction géométrique destinée à découvrir cet objet. Sa seconde intention avec sa géométrie est d'apporter les outils graphiques permettant d'analyser la forme d'un corps dépourvu de sa matérialité. C'est pour la précision et l'exactitude, et non l'apparence, du résultat que cette géométrie semble avoir été introduite par G. Monge. La géométrie descriptive permet de développer dans l'abstraction des solutions techniques posées par la forme dans les problèmes d'assemblage, de débit ou de décomposition de la matière ou des articulations de corps, caractérisables géométriquement. Elle était comprise comme une science appliquée pouvant être considérée pour des problèmes posés sur le chantier de construction et dans les manufactures de la révolution industrielle. Elle permettait aux acteurs d'un processus de conception qui voulaient formuler des solutions techniques en dehors de la concrétisation sur un chantier de construction, de considérer d'avance des problèmes techniques posés par cette concrétisation.

Ainsi, la géométrie descriptive allait, par la suite, être plus utile à l'ingénieur qu'à tous les autres acteurs d'un processus de conception (Savignat, 1980, p. 148-152). Elle allait permettre à l'ingénieur de jouer pleinement son rôle d'acteur pour la considération de problèmes d'ordre technique pendant la réalisation d'un projet d'architecture. Et, par sa proximité par rapport au processus de concrétisation, l'ingénieur allait pouvoir également introduire les résultats obtenus au moyen de la méthode de la géométrie descriptive comme moyens pour la communication entre les différents acteurs d'un processus de conception. La géométrie descriptive permettait désormais non seulement de répondre aux besoins de l'activité des ingénieurs mais aussi de réaliser une perspective ou la triade plan-coupe-élévation du résultat d'un processus de conception.

Cependant, tous les acteurs d'un processus de conception pouvaient ne pas considérer le résultat obtenu au moyen de la géométrie descriptive au même titre que l'ingénieur. En effet, comme écrit Y. Deforges (1981) qui associe l'ingénieur au géomètre, c'est-à-dire une personne ayant des connaissances en géométrie, :

« Pour le géomètre, l'objet représenté se résout, après projection, en points lignes, surfaces ; pour le technicien, l'objet est toujours, et avant tout, une entité ayant une fonction technique ; aussi est-il porté à adopter, à préserver et à cultiver l'approche qui identifie le plus directement possible l'objet technique à son image » (p. 212).

L'ingénieur, parce qu'il a à résoudre les problèmes d'ordre technique dans une sphère théorique, c'est-à-dire en considérant des équations et des modèles théoriques

divers pour le calcul d'une structure en acier par exemple, pouvait trouver dans la géométrie descriptive l'abstraction nécessaire lui permettant de considérer ses concepts pour la résolution de problèmes sur une feuille de papier. Pour d'autres acteurs par contre, plus éloignés de cette sphère théorique et plus proches de la concrétisation, comme le technicien qui prépare le dessin d'une fondation par exemple, l'action peut être plus au centre de leurs préoccupations. Le dessin produit au moyen de la géométrie descriptive peut être vu par ces acteurs comme devant être associé à la réalisation d'actions concrètes. Ces acteurs peuvent comprendre le résultat de l'application de la géométrie descriptive sous un aspect technologique plutôt que géométrique, où « technologique » entend les moyens, instruments et méthodes, permettant au contenu des dessins produits d'être concrétisés sur un chantier de construction.

Mais ce n'est que vers la fin des années 1950, après de longs débats sur la façon d'enseigner la géométrie descriptive dans les écoles, que cette sensibilité par rapport à la fonction du dessin (technique) pour différents acteurs d'un processus de conception a été livrée dans les écrits (Deforges, 1981, p. 209-214). Il aura fallu attendre plus d'un siècle pour se rendre compte que la géométrie descriptive pouvait être considérée différemment par différents acteurs d'un processus de conception. La formation à la géométrie descriptive des acteurs d'un processus de conception n'avait pas encore réussi à entièrement servir la séparation conception-organisation/exécution qui était visée au moment de l'introduction de cette géométrie au programme d'enseignement des principales écoles de formation de ces acteurs.

Après les cours donnés par G. Monge à l'École polytechnique de Paris, la géométrie descriptive est enseignée dans plusieurs écoles techniques en Europe continentale. Mais elle n'était pas aussi indispensable à d'autres acteurs du processus de conception, vu qu'en Angleterre (vers 1870) et aux États-Unis (vers 1840) on a tardé à l'adopter. Ces pays avaient pourtant connu les mêmes besoins en rationalité d'une révolution industrielle qui, en Angleterre, avait d'ailleurs été engagée plusieurs décennies avant qu'en France on n'envisage cette révolution. Dans ces deux pays cependant, les questions de forme et de stabilité des bâtiments n'avaient pas encore été pris en charge par des acteurs avec une formation distincte. En Angleterre par exemple, la réalisation d'un projet de pont ou de bâtiment pouvait être confiée à une personne de même formation, ingénieur, architecte ou jardinier comme dans le cas de la réalisation, à Londres, du *Crystal palace* de l'exposition universelle de 1851.

G. Monge connaissait les limites de sa géométrie en ce qui concerne la communication. Il savait que la compréhension des résultats obtenus au moyen de la géométrie descriptive pouvaient être difficiles à comprendre. La compréhension d'un

objet dessiné au moyen de la géométrie descriptive pouvait demander un exercice de comparaison du contenu géométrique de plusieurs plans. Les lignes de construction nécessaires à la représentation d'un objet avec cette géométrie étaient souvent abondantes et surchargeaient un dessin. De plus, il pouvait également être difficile de reconnaître dans le résultat la profondeur des objets représentés, c'est-à-dire quelle ligne représentant une arête d'un objet est en avant ou en arrière d'une autre ligne représentant une autre arête de cet objet. Pour essayer d'apporter une solution à ces problèmes de compréhension, G. Monge a proposé une *Théorie des Ombres et de la Perspective*, inspirée d'ailleurs des méthodes dont se servaient déjà les architectes-académiciens pour dessiner sur papier leurs solutions architecturales. Pour obtenir ces ombres et tracer cette perspective, G. Monge a considéré la même méthode graphique qui permettait de représenter rationnellement un corps de la nature, c'est-à-dire celle basée sur sa géométrie descriptive (Belhoste, 1990).

7.3.2. Une manière universelle...

Bien avant G. Monge, au XVII^e siècle, un géomètre français, Girard Desargues (1593-1661), s'était intéressé à faire un rapprochement entre la science et les arts où étaient considérées des règles de la géométrie. En 1636, G. Desargues manifeste cet intérêt¹ en publiant son opuscule, *Exemple de l'une des manières universelles du S.G.D.L.² touchant la pratique de la Perspective sans employer aucun tiers point, de distance ny d'autre nature, qui soit hors du champ de l'ouvrage*. Quelques années plus tard, l'auteur publiait également son *Brouillon Project d'une atteinte aux événements des rencontres du cône avec un plan* (1639) et d'*Exemple d'une Manière universelle du S.G.D.L. touchant la pratique du trait à preuves pour la coupe des pierres en l'Architecture ...*³ (1640). Dans ses écrits, G. Desargues avançait des idées originales en géométrie mais dans un vocabulaire difficile à comprendre pour la plupart de ses contemporains (Taton, 1994a, p. 39-40). Pour essayer d'expliquer ces idées, son ami et disciple Abraham Bosse (1602-1676), un graveur en taille douce, avait publié, en 1648, un ouvrage portant le titre de *Manière universelle de Mr Desargues, pour pratiquer la perspective par Petit-pied, comme le Geométral* (Bottineau-Fuchs, 1994; Taton, 1988, p. 51). Cet ouvrage est du reste préfacé d'une reconnaissance de G. Desargues lui-même, écrite en octobre 1647. Le titre et la reconnaissance incluse dans cet ouvrage d'A. Bosse (1648) traduisent d'ailleurs déjà assez

¹ G. Desargues s'était également intéressé à la musique et au chant. Voir E. Knobloch (1994) et R. Taton (1994a, p. 33-35). Pour une biographie des œuvres et écrits de G. Desargues, voir R. Taton (1988, p. 67-74).

² S.G.D.L. pour « Sieur Girard Desargues Lyonnais ».

³ La suite du titre est : « ; Et de l'éclaircissement d'une manière de réduire au petit en Perspective comme en Géométral, et de tracer tous Quadrans plats d'heurs égales au Soleil ».

clairement l'intention que pouvait avoir G. Desargues en développant ses idées à cette époque dites des Lumières¹.

En effet, face au « fourmillement » de différents procédés pour la mise en perspective des objets proposés par les « perspecteurs » du début du XVII^e siècle et des nombreuses techniques employées pour la coupe des pierres, du bois, de même que celles pour la conception des cadrans solaires, G. Desargues a cherché à trouver des « regles abregées de chacun de ces arts »² qui avaient jusque là, chacune, leurs propres méthodes. Comme il l'écrit lui-même en parlant des arts en question, G. Desargues s'était donné au départ :

« [...] d'entendre, s'il m'eût été possible & les fondemens, & les regles de leurs pratiques, telles qu'on les trouvoit & voyoit lors en vŕage ; où ie m'aperceut que ceux qui s'y adonnent , auoient a fe charger la memoire, d'un grand nombre de leçons diuerŕes, pour chacune d'elles; & qui par leur nature & condition, produifoient un embarras incroyable en leur entendemēt, & loin de leur faire auoir de la diligēce à l'execution de l'ouurage, leur y faifoit perdre du temps, fur tout en celle de la pourtraiture, fi belle & fi estimable entre les Inuentions de l'esprit humain, où la plus part des Peintres & autres ouuriers traualloient, comme a l'aduenture & en taftonnant : fans guide ou conduite affurée, & par confequent, avec vne incertitude & fatigue inimaginable » (extrait de la *Reconnoissance* dans A. Bosse, 1648).

Ainsi, le développement des idées de G. Desargues origine d'un constat d'une diversité de façons d'agir dans différents arts. G. Desargues avait constaté³ que ses contemporains, artistes et artisans, pouvaient peiner en employant les méthodes qu'ils avaient alors à leur disposition pour réaliser leurs actions et que les résultats qu'ils obtenaient avec ces méthodes pouvaient ne pas toujours être à leur satisfaction. Il a essayé non pas d'« expliquer » les fondements des façons d'agir de ses contemporains, mais plutôt de comprendre ces façons d'agir en vue d'en dégager des considérations théoriques susceptibles d'améliorer, d'unifier et de faciliter ces façons d'agir. G. Desargues aurait

¹ G. Desargues entretenait des rapports avec certains savants et amis du père M. Mersenne. Parmi ces amis, des hommes de science pour la plupart, il y avait notamment R. Descartes, les Pascal père et fils, Roberval et Fermat (Taton, 1988).

² Pour reprendre les termes exactes de G. Desargues tels que employés dans sa *Reconnoissance* incluse dans la *Manière universelle* de A. Bosse (1648).

³ Ce constat semble avoir été partagé, au moins pendant quelques années, par ses contemporains puisque sa *Reconnoissance* était incluse en préface de la *Manière universelle* enseignée à l'Académie Royale de Peinture et de Sculpture de Paris par son disciple A. Bosse. Pendant plus de dix ans, de 1648 à 1661, année qui correspond du reste au décès de G. Desargues, les élèves de cette Académie recevaient un cours sur la perspective basée sur cet ouvrage dont le contenu devait probablement avoir été examiné au préalable avant d'être autorisé par ses membres. En autorisant cet ouvrage, il est possible d'imaginer que les membres de cette jeune Académie (fondée une année seulement avant l'arrivée de A. Bosse) avaient d'une manière ou d'une autre approuvé le constat que faisait G. Desargues dans sa *Reconnoissance*.

ainsi voulu rationaliser la façon de faire des artistes et artisans de son époque tout en leur garantissant, d'un point de vue géométrique, des résultats supérieurs et immédiats.

Cependant, G. Desargues ne semble pas avoir voulu établir, du moins consciemment et au départ, une science géométrique dans le sens d'une théorie. D'après ses propres écrits, G. Desargues s'était défendu d'avoir « iamaïs eu de gouft, à l'étude ou recherche, ny de la Phisique, ny de la Geometrie, finon entant qu'elles peuuent feruir à l'efprit »¹ pour arriver à une certaine connaissance des méthodes qui lui auraient ainsi permis de réaliser des actes effectifs. Autrement dit, son intérêt premier semble avoir été de servir la façon d'agir dans un des arts de son époque, comme la taille des pierre ou la peinture, sans pour autant penser à servir une science en particulier telle la physique ou la géométrie, par exemple.

Dans cette perspective, G. Desargues était donc directement concerné par la façon d'agir de ses contemporains dans les différents arts de son temps. En effet, son intention d'améliorer les façons d'agir ne pouvait être comprise que si son constat initial découlait d'un rapport particulier de sa part avec des artisans et artistes du début du XVII^e siècle ainsi qu'avec leurs méthodes de travail. Sans être artisan ou artiste lui-même², il a probablement pu mettre personnellement à l'épreuve les méthodes alors en vigueur et ainsi découvrir par lui-même les difficultés que celles-ci pouvaient poser pendant la réalisation de certaines actions. On sait que G. Desargues entretenait des relations privilégiées, étroites, multiples et diversifiées, avec ces artistes et ces artisans (Damisch, 1994, Taton, 1988, p. 59-66).

R. Taton (1988) et H. Damisch (1994) ont traité de plusieurs de ces relations. Ainsi, vers la fin des années 1620, G. Desargues aurait collaboré à une fresque commencée par Philippe de Champaigne en 1628 pour l'église du Couvent des Carmélites et, d'après ses propres écrits, il avait enseigné sa méthode à plusieurs artistes et artisans célèbres. Parmi ceux-là, il y avait des artistes de renom comme de La Hyre et Poussin ainsi que des artisans réputés pour leur savoir-faire tels un maître maçon comme Hureau ou un maître charpentier comme Buret. À cette époque donc, si un grand nombre d'artistes et d'artisans pouvaient apparemment avoir été intéressés par les idées de G. Desargues, ils pouvaient alors avoir été aussi soucieux que G. Desargues et A. Bosse d'améliorer ou de rationaliser les méthodes employées dans leur art respectif. Ses idées pouvaient être considérées tant pour le dessin de la perspective chez les peintres qu'en stéréotomie chez les tailleurs de pierre ou en gnomonique chez ceux qui concevaient les cadrans solaires. Par conséquent,

¹ Extrait de la *Reconnaissance* dans A. Bosse (1648).

² G. Desargues écrivait lui-même dans une réponse à un de ses critiques que : « Moy je ne suis artisan de la main d'aucune sorte d'Art [...] » (cité par R. Taton, 1988, p. 59).

l'originalité du point de départ de l'œuvre de G. Desargues se situe en premier lieu dans la pensée qu'il avait eu d'essayer de trouver une solution commune aux divers problèmes d'ordre géométrique auxquels étaient confrontés plusieurs artistes et artisans de différents arts de son époque.

Parmi ces problèmes, un certain nombre étaient liés aux surfaces courbes impliquant l'étude et le tracé de coniques (ellipses, paraboles, hyperboles) qui avaient déjà retenu l'attention de plusieurs personnages de l'histoire avant lui, à commencer par Apollonius de Perge, un contemporain d'Euclide (Chasles, 1875; Dhombres, 1994). En se consacrant à l'étude des coniques, G. Desargues, comme Apollonius quelques siècles plus tôt dont il connaissait le seul ouvrage (*Les Coniques*) parvenu jusqu'à nous, a pu remarquer qu'elles pouvaient être générées en sectionnant un cône par un plan. Élaborant sur cette idée tout en examinant de nombreuses dispositions du plan sécant avec le cône, il finit par imaginer un cercle et un système de deux droites parmi ces courbes. Puis il conçoit de reporter les « propriétés » du cercle qui est à la base du cône en considérant les coniques comme la projection de ce cercle à partir du sommet du cône sur le plan de section choisi. Cette disposition de l'esprit amène G. Desargues à ne plus considérer chaque conique séparément comme cela se faisait jusqu'alors. Il venait de se donner les moyens d'étudier les propriétés du cercle (et non ses mesures) et ensuite, sans avoir aucun besoin de nouvelles démonstrations, les étendre aux autres coniques. À son tour, le cercle même ne devenait plus qu'un simple cas particulier de ces coniques, au sens projectif du terme.

Les propriétés des figures auxquelles G. Desargues s'était attaché sont celles qui demeurent invariables lorsque la figure est projetée sur un plan. À la Renaissance, L.B. Alberti et bien d'autres avaient remarqué que la perspective avait la caractéristique de déformer les objets à représenter et, par conséquent, ne permettait pas d'obtenir les mesures justes de l'objet à partir de sa représentation (distances, angles, congruence ou similitude). Ce que G. Desargues remarque par contre, c'est que les points alignés sur une droite conservent leur alignement une fois projetés sur un plan, et même que le rapport entre ces points reste intact après une projection (points en involution), par exemple. Le regard que G. Desargues porte sur les figures géométriques est, de ce point de vue, tout nouveau puisqu'il avantage l'invariance par projection de leurs aspects qualitatifs comme la tangence, les intersections ou les rapports (propriétés d'incidence) plutôt que leurs particularités quantitatives tels les angles ou les distances (propriétés métriques). Ainsi, G. Desargues pouvait considérer un cercle comme une figure géométrique inscrite dans un quadrilatère dans une disposition projective particulière et non plus comme une forme définie par son centre et un rayon. Il entendait par-là que les propriétés des côtés du quadrilatère qui s'intersectent deux à deux en un point à l'infini sont liées à celles de la conique.

Bien qu'au XVI^e siècle déjà Guidobaldo del Monte (1545-1609) démontre pour la première fois que les droites parallèles convergent à l'infini, c'est à G. Desargues que l'on doit sa considération effective pour la résolution de problèmes géométriques. Et ce n'est d'ailleurs que deux siècles plus tard que Jean-Victor Poncelet (1788-1867) établit par convention que chaque droite possède un point à l'infini et que chaque plan est étendu à l'infini en une droite, définissant par là même toute la géométrie projective déjà fondée dans les principes par G. Desargues. Dans un système de droites parallèles, c'est ce point à l'infini qui est le point de concours de ces droites et non plus le point de fuite des tableaux des peintres de la Renaissance.

Par la suite, l'effort de synthèse amènera G. Desargues à formuler un théorème¹ célèbre, auquel son nom est d'ailleurs associé aujourd'hui, et qui stipule que :

« Si les droites joignant les sommets correspondants de deux triangles passent par un point S, alors les points d'intersection des côtés correspondants sont situés sur une droite » (Gellert *et al.*, 1986, p. 601).

Ce théorème traduit la conception nouvelle à laquelle le géomètre est arrivé après ses recherches dans les différents arts. Pour la perspective, il ne considère plus, comme ses contemporains et ses prédécesseurs, une pyramide ou un cône visuel allant de l'œil de l'observateur à l'objet, mais un faisceau de rayons parallèles dont la direction est conceptuellement arbitraire. La position de l'observateur devient chez G. Desargues secondaire et l'espace prend un caractère abstrait dans le sens où il ne fait plus référence dans sa définition à ce que l'œil peut voir, à l'expérience perceptive directe de la personne. Le plan et la perspective pouvaient être obtenus selon une même méthode graphique, à la condition de considérer une échelle appropriée des dimensions projetées à l'infini. La méthode de G. Desargues se voulait précise et indépendante de ce qui peut être observé. Elle était proposée pour résoudre toutes sortes de constructions géométriques nécessaires non seulement au dessin des perspectives mais aussi à la détermination de la forme et des proportions des pierres pour les ouvrages voûtés et la mise au point des cadrans solaires. En fait, G. Desargues a été, probablement sans le savoir, l'instaurateur des fondements de la géométrie projective : c'est seulement bien plus tard, en 1872, que le mathématicien allemand Felix Klein (1849-1925), dans son programme d'Erlangen, lui concédera enfin la place qu'elle méritait parmi les autres géométries.

A. Pérez-Gómez (1987) voit dans la méthode de G. Desargues « la première étape vers une fonctionnalisation de la réalité qui allait précipiter la Révolution Industrielle » (p. 110). D'après l'auteur, en fonctionnant indépendamment de la réalité, c'est-à-dire

¹ Pour une explication à la fois détaillée et illustrée de ce théorème, voir notamment W.W. Sawyer (1982, p. 143-149).

selon des principes de géométrie explicites, G. Desargues « évitait les questions métaphysiques » qui accompagnaient les actions et les pensées de ses contemporains. Pour arriver à sa conclusion, A. Pérez-Gòmez (1987, p. 110-111) s'appuie principalement sur deux idées. La première idée considère que les artistes et les artisans du XVII^e siècle n'auraient guère voulu d'une réduction de leurs façons de faire à la condition d'un *ars fabricandi*. Ils auraient préféré, d'après lui, continuer à employer des méthodes empiriques où façons de faire et règles de construction étaient intimement liées. Pour rendre compte de ce refus, l'auteur (1987, p. 111) cite notamment les démêlés qu'A. Bosse eut avec les membres de l'Académie Royale de Peinture et de Sculpture où il enseigna¹ la *Manière universelle* de G. Desargues. La seconde idée de l'auteur est basée sur une compréhension de la géométrie descriptive de G. Monge comme étant l'atteinte « des principaux buts que Desargues s'était fixé » (Pérez-Gòmez, 1987, p. 107). Voyant apparemment dans J.-V. Poncelet, ancien élève de G. Monge, le raviveur de l'hypothèse générale de la géométrie projective, l'auteur établit ainsi une filiation relativement directe entre les travaux de G. Desargues et G. Monge, filiation qui est d'ailleurs souvent faite peut-être à tort puisque les deux hommes poursuivaient des intentions différentes pendant la définition de deux approches au dessin scientifique.

R. Taton (1988, p. 56) pense que les démêlés de A. Bosse avec les membres de l'Académie Royale de Peinture et de Sculpture étaient peut-être dus à la fois au mauvais caractère d'A. Bosse et à une cabale contre G. Desargues. A. Bosse n'était ni peintre ni sculpteur et enseignait la matière de l'ouvrage qu'il avait publié, la *Manière universelle de M. Desargues...* Était annexé à cette publication l'*Exemple* de G. Desargues qui avait déjà soulevé dès sa publication toute une controverse sur la place publique parisienne. Par voie de libelles et d'affiches entre G. Desargues et un jésuite, le révérend père J. Du Breuil qui l'avait en partie plagié, une querelle avait commencé (Taton, 1988, p. 50). Au début de 1644, l'un des plus virulents détracteurs de G. Desargues, le tailleur de pierres J. Curabelle² publie son *Examen des œuvres du sieur Desargues* qui embrasa de plus bel la controverse autour de la méthode Desargues (Taton, 1988, p. 54). Pamphlets et brochures n'allaient cesser d'être échangés entre les deux auteurs jusqu'à ce que G. Desargues découragé abandonne. Malgré cette querelle, A. Bosse réussit quand même à enseigner à l'Académie Royale la pratique de la perspective de G. Desargues jusqu'en 1661, année de son exclusion, malgré qu'il y ait même été admis, en 1651, comme membre avec droit de participer aux assemblées mais sans bénéficier d'aucun des privilèges accordés aux peintres (Damisch, 1994, p. 16).

¹ et non pas uniquement tenta d'y enseigner, comme l'écrit l'auteur en page 111.

² Jacques Curabelle appartenait à une famille de maîtres tailleurs de pierres (Le Moël, 1994).

J. Sakarovitch (1994) écrit qu'au travers de cette querelle entre G. Desargues et J. Curabelle :

« [...] se trouve mis en cause le statut du dessin de chantier. Si l'on admet avec Curabelle que l'épure ne vaut et ne se valide que par sa réalisation, alors le maître maçon reste la clef de voûte du chantier. Les épures préparatoires sont certes indispensables, mais elles n'ont pas d'autonomie propre, elles sont indissociables de la construction qu'elles permettent de réaliser. Elles ne sont qu'une première phase, une première étape, d'un même processus de production.

Si au contraire, un dessin peut, comme le prétend Desargues, trouver en lui-même sa propre légitimité, si l'on peut convaincre de son exactitude par des considérations purement théoriques et indépendamment de toute concrétisation, si ce sont des raisonnements géométriques qui permettent de trouver les tracés optimaux, et non plus le fruit de l'expérience, alors le statut de l'épure s'en trouve modifié, et par conséquent celui de son auteur et de son exécutant » (p. 360).

Pareillement, pour J.-P. Saint Aubin (1994), la querelle de G. Desargues et de J. Curabelle « est la rencontre de deux discours inconciliables » (p. 369). En fait, bien que la querelle tourne autour d'une méthode de tracé, l'enjeu semble plus concerner le rôle des acteurs pendant un processus de conception que la validité même et les possibilités de la méthode proposée par G. Desargues. En tant que maître tailleur, J. Curabelle tente de préserver son statut d'artisan et en tant qu'homme de science, G. Desargues tente de rationaliser les méthodes de travail des artistes et des artisans de son époque, négligeant ainsi ce qui pouvait avoir distingué un acteur d'un autre acteur d'un processus de conception, c'est-à-dire son expérience. J. Curabelle et G. Desargues étaient donc susceptibles de tenir deux discours distincts, cachant un intérêt de l'un, pour le métier et, de l'autre, pour la science.

Mais contrairement à G. Monge qui, comme nous l'avons vu précédemment, avait pour intention de permettre à une personne de disposer sur une feuille de papier la figure d'un objet avec ses mesures exactes afin que cette personne puisse ensuite raisonner sur cet objet, G. Desargues proposait quant à lui une méthode qui permettait de considérer les propriétés d'incidence de la figure d'un objet. La différence est majeure au point de vue de la destination des méthodes proposées par G. Monge et G. Desargues. La méthode proposée par G. Desargues a pour particularité de ne pas accorder d'importance aux propriétés métriques d'un objet et permettait de raisonner sur les propriétés invariantes

par projection de l'objet¹. Comme il était parti d'une compréhension des façons de faire d'artistes et d'artisans de son époque, G. Desargues avait réussi à développer une méthode, qui pouvait être considérée par ces artistes et artisans pendant leurs actions. La méthode Desargues pouvait convenir à la résolution de problèmes de l'ordre du tracé pendant la réalisation d'une action ; elle n'était pas une méthode qui permettait à une première personne de préparer d'avance une solution à un problème d'action de façon à ce qu'une autre personne ensuite n'ait plus qu'à reproduire le résultat obtenu par transposition de mesures et de figures sur un chantier de construction. Avec la méthode Desargues, un acteur d'un processus de conception peut trouver d'avance la méthode qui permet de résoudre un problème de forme. Pour obtenir ensuite un résultat sur un chantier de construction, un acteur met en application la méthode et donc une façon de faire.

La mauvaise réception en France de la méthode Desargues au XVII^e siècle a considérablement réduit la propagation des idées de G. Desargues pendant au moins deux siècles. Ce n'est qu'au XIX^e siècle que ses idées ont refait surface mais cette fois-ci uniquement au sein du cercle des mathématiciens. Ainsi, en France, ce sont principalement des disciples de G. Monge, ayant été sensibilisés aux notions de projection, comme J.-V. Poncelet et M. Chasles, qui allaient essayer de reconstituer et de développer davantage les idées avancées par G. Desargues. Mais c'est en Allemagne, avec Carl G.C. von Staudt (1798-1867), Julius Plücker (1801-1868), Grassman (1809-1877) par exemple, que la géométrie projective allait enfin devenir une géométrie à part, c'est-à-dire ayant ses propres concepts au même titre que les autres géométries déjà connues, euclidienne ou autres (Coolidge, 1940, p. 92-105; Meserve, 1983, p. 259-265). Quant à la géométrie descriptive, d'après J.L. Coolidge (1940, p. 114), elle aurait atteint sa perfection principalement avec les travaux de S.F. Lacroix (1765-1843) et de J.N.P. Hachette (1769-1834). Son développement se serait donc presque achevé vers le début du XIX^e siècle.

En guise de conclusion, c'est à partir d'une compréhension des façons d'agir des artistes et artisans de son époque que G. Desargues a réussi à fonder une géométrie nouvelle, la géométrie projective. Cette géométrie consiste en une méthode qui permet d'obtenir des figures géométriques en soulignant les propriétés invariantes par projection des objets considérés. Contrairement à G. Monge, G. Desargues a proposé une méthode qui permet de réaliser un dessin scientifique pendant l'action et non un dessin à reproduire sur un chantier de construction.

¹ R. Bkouche (1994, p.212) montre comment les géomètres du XIX^e siècle avaient établi une classification des propriétés géométriques des figures en distinguant celles qui sont métriques de celles qui sont liées au dessin, autrement dit les propriétés graphiques. Cette classification des propriétés géométriques a ensuite permis à ces géomètres de développer davantage la problématique de la géométrie projective.

7.4. En résumé

Enfin, pendant la période allant de la fin de la Renaissance au XX^e siècle, en France du moins, le développement des moyens de communication en architecture se faisait alors que la définition de la façon de réaliser un projet d'architecture subissait une profonde mutation. Cette mutation consistait en la définition progressive de nouveaux rôles pour les acteurs du processus de conception faisant ainsi apparaître tout d'abord des architectes, ensuite des ingénieurs et enfin des acteurs qui exécutent des instructions uniquement. La communication au moyen de modes de figuration graphiques devait servir cette mutation. Ainsi, on est passé du dessin d'architecture au dessin scientifique permettant de préparer la triade plan-élévation-coupe ainsi que la perspective sur la base de règles explicites de géométrie, la géométrie descriptive. Durant cette mutation, il y a eu tout d'abord (1) une réception des modes de figuration graphiques, ensuite (2) une formation à ces modes de figuration et enfin (3) une institutionnalisation de ces modes de figuration pour la communication pendant un processus de conception.

Avec les traités d'architecture de J.A. du Cerceau et de P. de l'Orme, nous avons vu comment les modes de figuration graphiques pouvaient avoir été reçus en France, au début du XVI^e siècle. Les modes de figuration graphiques permettaient à J.A. du Cerceau de proposer des modèles de solutions aux personnes qui voulaient alors réaliser un projet d'architecture. Mais comme, à l'exemple du sieur Gaulard, une personne pouvait ne pas comprendre les dessins de ce traité, un maître maçon devait se charger de les comprendre et de les expliquer à cette personne.

P. de l'Orme recommandait de se méfier des dessins d'architecture qu'il considérait avant tout comme des outils de travail. Pour communiquer avec une personne qui a initié un projet d'architecture, P. de l'Orme recommandait fortement à celui qui allait superviser la réalisation de ce projet, c'est-à-dire l'architecte, d'utiliser autant de maquettes que nécessaires afin que cette personne puisse comprendre en détail tout ce à quoi elle pourra s'attendre, une fois la solution architecturale concrétisée. Pour lui, un architecte devait savoir dessiner pour pouvoir s'aider du dessin pendant la formulation d'une solution architecturale. Avec son traité, P. de l'Orme tentait de définir un nouveau rôle, celui de l'architecte, mais il stipulait que celui-ci devait continuellement être présent pendant un processus de conception. La parole était encore le principal moyen pour la communication pendant la réalisation d'un projet d'architecture.

Cependant, à partir du XVII^e siècle, le dessin commençait à être enseigné dans des écoles qui préparaient un nouveau profil d'acteurs, les exécutants. Pour apprendre le dessin, la méthode pédagogique préconisée dans la plupart de ces écoles a été la copie de modèles. Cette méthode était à l'opposé de celle considérée en apprentissage en situation des

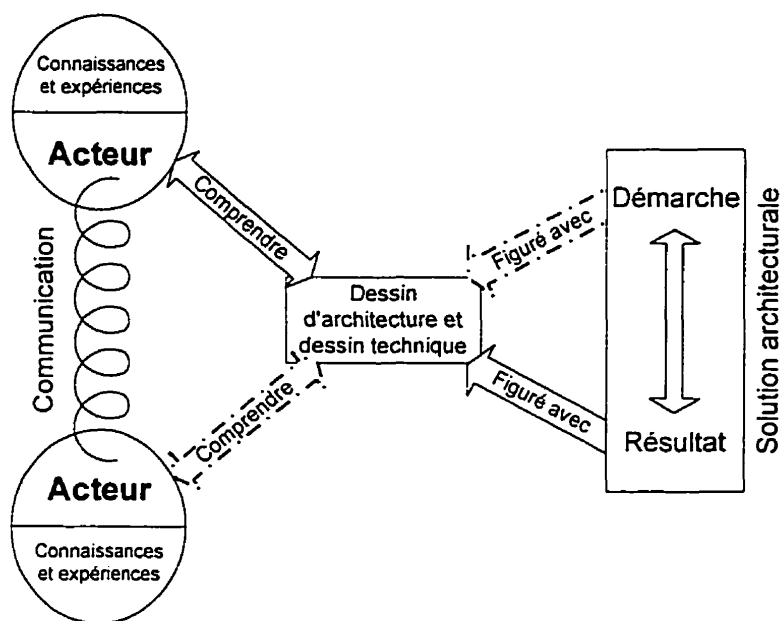


Figure18 : Schéma de la communication entre acteurs d'un processus de conception à partir du XIX^e siècle en France

communautés compagnonniques qui avaient jusque-là assuré une grande partie de la formation des personnes qui réalisaient un projet d'architecture. L'apprentissage en situation consistait pour un compagnon à expliquer à son apprenti, pendant la réalisation d'une action, comment obtenir un certain résultat. Avec la multiplication des écoles de dessin, l'apprentissage en situation avait été détrôné et les artisans avec un savoir-faire en construction comparable à celui des compagnons devenaient de plus en plus rares.

Au XVIII^e siècle, une prise de conscience des qualités, de la préciosité et de la rareté de ces artisans avait amené certains auteurs, comme A.F. Frézier ou G. Monge, à s'intéresser de plus en plus au savoir-faire de ces artisans. G. Monge a essayé de le théoriser en développant sa géométrie descriptive. Sur un dessin désormais scientifique, il était possible d'indiquer les mesures exactes et précises des formes à réaliser sur un chantier de construction. Les acteurs d'un processus de conception sur ce chantier n'avaient plus qu'à transcrire ces mesures et formes sur ou avec des matériaux de construction. La communication entre les acteurs qui formulaient une solution architecturale et ceux qui la concrétisaient pouvait être réalisée en utilisant principalement le dessin.

En figure 18, nous rendons compte par un schéma de cette nouvelle façon de communiquer entre acteurs d'un processus de conception, telle qu'elle aurait pu être considérée dès le début du XIX^e siècle. Cette figure est identique à la figure 7 de la

première partie dans laquelle nous avons schématisé les discordances entre les fins et les moyens d'acteurs pendant une communication d'un processus de conception contemporain.

Pour conclure cette troisième partie, nous pouvons à présent revenir sur le développement des moyens pour la communication en architecture et comparer les schémas que nous avons produit pour chaque période de l'histoire considérée.

UNE MISE EN PERSPECTIVE HISTORIQUE

Dans cette troisième partie, l'objectif était de comprendre le développement des moyens utilisés pour la communication entre acteurs d'un processus de conception architecturale. Pour ce faire, nous avons mené une recherche historique. Il s'agissait de comprendre d'abord comment, à la Renaissance italienne, le dessin d'architecture avait fait son apparition, c'est-à-dire quelles avaient été les intentions des personnes qui avaient défini ce dessin et la façon qu'elles réalisaient alors un projet d'architecture. Ensuite, nous nous sommes intéressés à la façon de réaliser un projet d'architecture avant la définition de ce dessin. L'objectif était de comprendre comment, sans recourir à ce dessin, c'est-à-dire à la triade plan-élévation-coupe, des acteurs d'un processus de conception pouvaient communiquer relativement à une solution architecturale. Enfin, nous avons examiné comment, à partir de la Renaissance italienne, les acteurs d'un processus de conception avaient développé le dessin d'architecture de façon à en faire le moyen de communication le plus répandu à ce jour. L'objectif était de comprendre de quelle façon

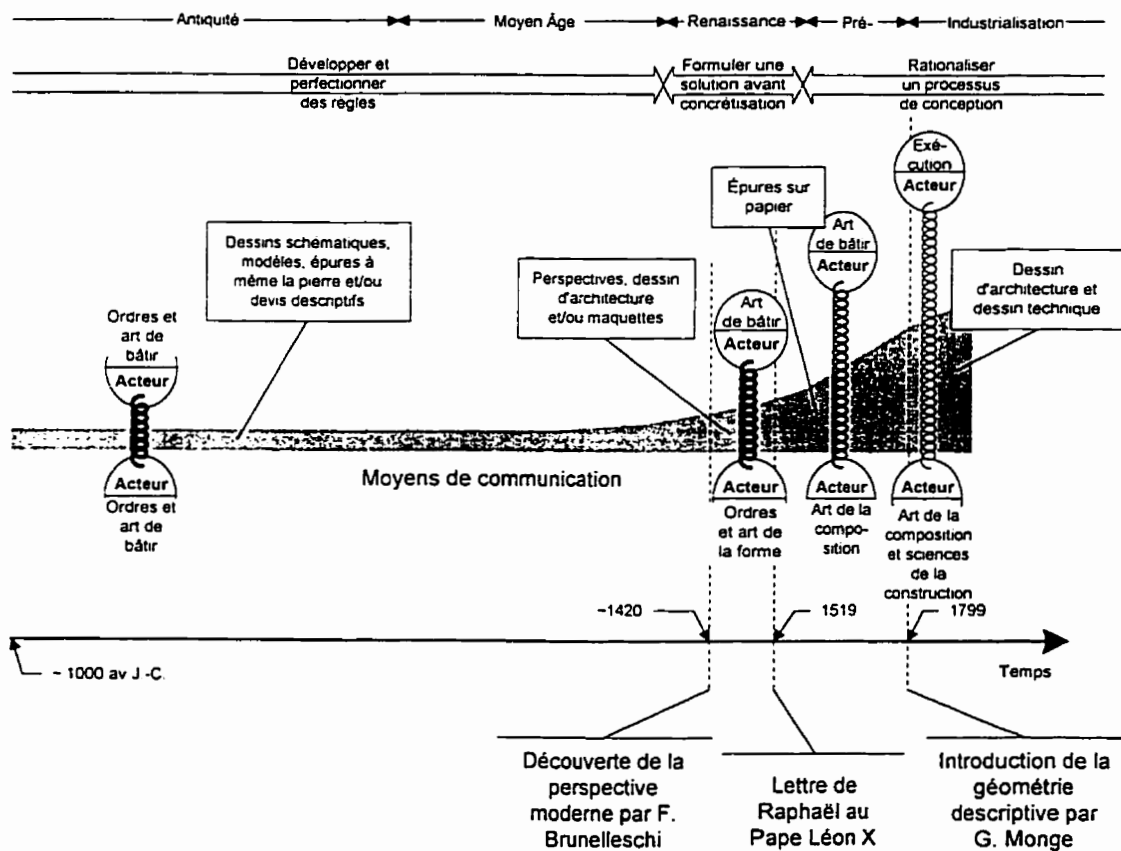


Figure 19 : Mise en relation du développement des moyens de communication avec la transformation du processus de conception architecturale

et avec quelles intentions, des acteurs d'un processus de conception avaient ainsi répandu l'utilisation de la triade plan-élévation-coupe pour la communication en architecture.

Au terme de cette troisième partie, il est possible de donner un aperçu du développement des moyens de communication en architecture. D'après ce que nous avons pu identifier, grâce à notre recherche, tout au long de l'histoire trois principales intentions ont guidé les acteurs du processus de conception. Il s'agit (1) du développement et du perfectionnement de règles pour l'architecture, (2) de la formulation d'une solution architecturale avant sa concrétisation et (3) de la rationalisation du processus de conception architecturale.

En figure 19, le développement des moyens de communication en architecture est schématisé, par rapport à ces trois principales intentions. Dans cette figure, sur un axe de référence représentant le déroulement du temps, quelques faits marquants, à l'exemple de la découverte de la perspective moderne, sont indiqués à titre de référence. Les moyens de communication encadrés dans cette figure sont ceux qui, soit avaient été nouvellement introduit, soit avaient retenu l'attention d'acteurs d'un processus de conception à un certain moment dans le temps.

Quant aux communications entre ces acteurs, elles sont représentées avec la même spirale dont nous avons déjà fait usage dans les figures schématiques précédentes. L'accentuation du trait de ces spirales marque l'intensité des échanges directs entre des acteurs. Pour signifier un changement important dans le partage des initiatives entre acteurs du processus de conception, les longueurs des spirales sont modifiées. Ainsi, plus les acteurs partagent les initiatives pendant le processus de conception et plus la spirale est courte, et moins ils en partagent et plus cette spirale est longue. La zone courbe en grisé est introduite pour essayer de visualiser l'accroissement dans le temps de l'utilisation des moyens de communication. Comme jusqu'à la fin du Moyen Âge, les acteurs d'un processus de conception pouvaient mettre à contribution un minimum de moyens pour leurs communications, cette zone courbe est étroite. À partir de la Renaissance jusqu'au début du XIX^e siècle, la largeur de cette zone courbe va en augmentant pour souligner à la fois l'usage de plus en plus répandu du dessin d'architecture et de l'exécution de l'art du trait sur une feuille de papier qui devait par la suite être pris en charge par le dessin technique.

Pour rendre compte de la prise en charge, pendant le développement des moyens de communication, de l'information relative à la démarche permettant d'obtenir un résultat et le résultat lui-même, un second schéma peut être défini et est présenté en figure 20. Dans cette figure, trois axes réfèrent l'un au temps, un autre à une démarche et enfin un dernier à son résultat. L'axe référant au temps est identique à celui de la figure 19. Sur les

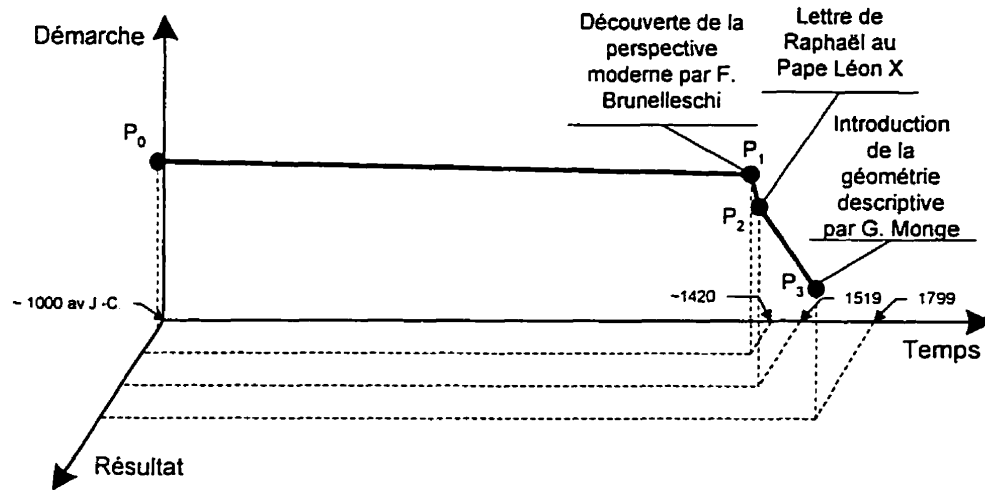


Figure 20 : Prise en charge de la démarche et du résultat d'un processus de conception pendant l'évolution de la définition des moyens de communication en architecture

axes faisant référence à la démarche et à son résultat, aucune unité de mesure n'est indiquée parce que la démarche et son résultat sont difficilement quantifiables, du moins dans une unité significative ou comparable. Cependant, si l'on considère l'importance accordée à l'un et à l'autre à une période de l'histoire, il est possible de fixer dans le plan des axes des positions relatives de cette démarche et de son résultat. Ainsi, si nous considérons que de l'antiquité à la fin du Moyen Âge, les acteurs d'un processus de conception pouvaient accorder moins d'importance au résultat qu'à la démarche d'un processus parce qu'ils n'avaient pas considéré de modes de figuration du résultat, alors il est possible d'obtenir deux points P_0 et P_1 , indiqués dans cette figure. De même, si nous considérons qu'entre la découverte par F. Brunelleschi des principes de la perspective centrale et la lettre de Raphaël au pape Léon X, la démarche était prise en charge pendant la communication de la même façon qu'à la fin du Moyen Âge mais que, vu l'apparition du dessin d'architecture et des maquettes, le résultat avait été considéré davantage que par le passé, alors un point P_2 peut être établi. Enfin, si nous observons qu'à partir de la lettre de Raphaël jusqu'à l'introduction par G. Monge de la géométrie descriptive, non seulement le dessin était promu et enseigné dans des écoles, l'apprentissage en situation des compagnons avait diminué et l'artisan ou le maître maçon tendait à devenir un exécutant uniquement alors il est possible de considérer que pendant une communication le résultat pouvait avoir pris encore plus d'importance par rapport à une démarche en perte d'attention, ce qui permet d'obtenir un point P_3 . Le raccordement des points P_0 , P_1 , P_2 et P_3 donne une ligne brisée qui permet de rendre compte visuellement de l'évolution de la prise en charge de la démarche d'un processus de conception et de son résultat pendant la transformation de la définition de la communication en architecture.

Ces deux dernières figures permettent de voir qu'il pouvait y avoir, tout au long de l'histoire, concordance entre les fins des acteurs et les moyens de communication qu'ils ont développé et mis à contribution pendant un processus de conception. Ces figures montrent également qu'à chaque nouveau développement de ces moyens de communication, le résultat escompté d'un processus de conception a été privilégié à la démarche qui permet d'obtenir ce résultat. Compte tenu des connaissances et des instruments disponibles, pour réaliser des intentions, des choix ont été fait en fonction des façons dont les processus de conception étaient définis à chaque période de l'histoire et par là même, les communications pendant ces processus.

Le dernier développement important qui a été apporté à ces moyens de communication date du XIX^e siècle avec l'introduction de la géométrie descriptive. Depuis, ces moyens de communication ont été perfectionnés jusqu'au XX^e siècle sur les mêmes principes géométriques. Or, en première partie nous avons pu relever deux discordances entre les fins des acteurs d'un processus de conception contemporain et les moyens disponibles pour la communication. Il a été possible de constater notamment que la démarche qui permet d'obtenir un résultat n'était pas prise en charge par les moyens de communication disponibles. Une façon donc d'essayer de rétablir une concordance entre les fins des acteurs pendant un processus de conception et leurs moyens pour la communication pourrait alors consister à revenir sur des choix établis par le passé et que nous avons essayé de comprendre dans cette troisième partie.

Ainsi, s'il est nécessaire de réintégrer à la communication en architecture la démarche qui permet d'obtenir un résultat, il pourrait être envisagé de réhabiliter le principe des devis descriptifs que les grecs de l'Antiquité utilisaient déjà pour détailler la façon de réaliser une démarche pendant le processus de conception. Il s'agit non pas de devis tels qu'on les considère de nos jours, c'est-à-dire pour compléter la description du résultat d'un processus de conception, mais de devis qui traduisent la méthode pour parvenir à ce résultat.

De plus, pour traduire la façon d'obtenir la forme du résultat escompté pour une démarche d'un processus de conception, il est également concevable de mettre à contribution une géométrie qui valorise une méthode permettant d'obtenir une forme et non une méthode pour la décrire. Nous avons vu que G. Desargues avait proposé une telle méthode, celle de la géométrie projective. Il s'agit alors de voir comment cette géométrie peut être récupérée pour la figuration architecturale.

En fait, notre recherche indique que la définition des moyens de communication disponibles est due principalement à des choix fait par le passé mais par rapport auxquels

nous ne sommes pas prisonniers. Ces choix ont été faits en écartant d'autres possibilités pour la communication en architecture. Ils peuvent être révisés pour résoudre les discordances relevés. La prochaine partie de cette thèse décrit un autre volet de nos recherches qui porte explicitement sur la façon de résoudre ces discordances.

DERNIÈRE PARTIE : UNE INTÉGRATION DE L'ACTION À LA FIGURATION EN
ARCHITECTURE—RECHERCHE DE DÉVELOPPEMENT

Les deux parties précédentes ont porté sur deux questions complémentaires relatives à la communication pendant le processus de conception architecturale. Il s'agissait faire ressortir et de comprendre (1) la façon dont une personne peut prendre connaissance d'un environnement physique et (2) la façon dont les moyens utilisés pour la communication en architecture ont été développés au cours de l'histoire. La démarche de recherche avait pour but de comprendre deux discordances qui ont été relevées en première partie, à savoir : (1) une discordance entre la façon dont une personne peut comprendre le contenu d'un mode de figuration et la façon dont ce contenu est présenté dans les modes de figuration disponibles, et (2) une discordance entre ce sur quoi porte une communication entre acteurs pendant le processus de conception et les modes de figuration employés. Cette démarche de recherche et de compréhension a permis d'arriver à un ensemble de conclusions qui permettent d'envisager une proposition pour la résolution des deux discordances relevées.

L'étude de travaux de recherche en psychologie a permis de dégager des indications pour la définition d'un moyen de communication en architecture. Il s'agit que l'information visible relative à une solution architecturale puisse être sélectionnée, définie et structurée pour différentes personnes de manière variable tout en pouvant être perçue de façon dynamique. Comme nous l'avons vu, cette sélection correspond à la possibilité de choisir l'information à communiquer. La définition de l'information correspond aux différentes formes que celle-ci peut devoir prendre pour pouvoir convenir à l'action de chaque personne qui poursuit des finalités dans un projet d'architecture. Quant à la structuration de l'information, elle est la manière d'agencer cette information pour qu'elle puisse être comprise par une personne. Ces indications peuvent constituer des besoins pour la communication en architecture où un mode de figuration est un moyen pour satisfaire ces besoins.

Avec sa typologie organisée autour des quatre pôles conceptuel/perceptif et statique/dynamique, G.E. McKechnie (1977, p.170-174) a fait ressortir que les modes de simulation disponibles ne peuvent être rapprochés que de deux de ces pôles à la fois. En se rapprochant de deux pôles de la typologie (c'est-à-dire conceptuel et statique par exemple), un mode de simulation peut offrir des possibilités de figuration que les modes se rapprochant de deux autres pôles (exemple : perceptif et dynamique) n'offrent pas. Le dessin en plan, coupe et élévation qui est le moyen de communication le plus répandu en architecture ne peut être rapproché dans cette typologie que de deux de ces pôles, c'est-à-dire les pôles statique et conceptuel, autrement dit deux pôles qui ne répondent pas à tous les besoins de la communication qui ont été identifiés en étudiant les travaux de recherche en psychologie.

En essayant de comprendre par notre recherche le développement au cours de l'histoire des moyens utilisés pour la communication en architecture, il a été possible de voir que le dessin en plan, coupe et élévation n'a pas toujours été le mode de figuration employé en architecture. Avant la Renaissance italienne, la parole, l'écriture et le geste pouvaient constituer des moyens de communication entre acteurs du processus de conception architecturale et permettaient, comme nous l'avons vu, d'envisager la façon d'obtenir un résultat architectural. Ce sont, à la Renaissance italienne, la volonté d'imiter la nature et les intérêts pour le renouvellement de l'apparence des édifices ainsi que la préservation de ruines antiques qui ont contribué à la définition du dessin d'architecture. Jusqu'à la formalisation de la géométrie descriptive, la parole et le geste comme moyens de communication en architecture ont progressivement laissé place au dessin que les institutions d'enseignement en France ont contribué à répandre dans plusieurs pays industrialisés. Cette géométrie a été mise au point pour faciliter l'industrialisation de la production architecturale et manufacturière du XIX^e siècle. Elle n'a pas été pensée pour faciliter la compréhension d'une solution architecturale. La géométrie descriptive a été introduite pour permettre la mesure précise de la forme d'objets physiques alors qu'une autre géométrie était disponible, la géométrie projective, et avait pour but de faciliter la façon d'obtenir cette forme¹.

Objectif de la recherche de développement

Dans cette partie, l'objectif est de proposer, en fonction des connaissances et moyens techniques disponibles, une méthode pour la figuration d'une solution architecturale susceptible de répondre aux besoins de la communication entre acteurs du processus de conception. Il s'agit de proposer un modèle théorique pour la préparation d'une figuration architecturale susceptible de résoudre les deux discordances relevées en première partie.

Pour cela, nous avons mené une recherche de développement². Dans ce type de recherche, J.-M. de Ketele et X. Roegiers (1996) écrivent que :

« [...] le chercheur essaie de construire des outils (instruments, matériels, stratégies d'intervention...) efficaces pour le praticien. L'efficacité suppose ici que l'outil soit valide et fiable, que l'on ait précisé les conditions et les limites d'application. Dans cet effort, le chercheur tentera d'énoncer [...] des règles technologiques pour l'élaboration ou l'utilisation d'un instrument donné » (p. 97).

¹ Voir la dernière section, Dessin scientifique, du chapitre 7, partie III.

² J.-M. de Ketele et X. Roegiers (1996, p. 97) rangent la recherche de développement et la recherche scientifique dans une même catégorie de « recherches expérimentales ». Ils écrivent que celles-ci « se distinguent des autres recherches avant tout par leur phase confirmatoire pensée a priori » (p. 98).

Les trois parties précédentes nous ont permis de voir que la communication en architecture est un processus complexe auquel divers acteurs peuvent participer pendant le processus de conception. Cette communication dépend non seulement d'une façon de réaliser un projet d'architecture mais également des connaissances, des expériences ainsi que des finalités des acteurs qui prennent part à la réalisation de ce projet. Face à la complexité de cette communication et face à sa diversité, notre recherche de développement n'est dirigée que vers un aspect particulier de la communication en architecture. Il s'agit pour nous de voir comment il est possible de figurer les caractéristiques visibles d'une solution architecturale en considérant les connaissances techniques dont nous disposons actuellement. En d'autres termes, compte tenu de la compréhension que nous avons élaboré aux parties précédentes, notre recherche de développement consiste à proposer une solution à un problème particulier de la communication en architecture. La proposition de recherche porte uniquement sur les caractéristiques visibles d'une solution architecturale susceptibles d'aider un acteur du processus de conception à se former une image mentale de cette solution.

La recevabilité d'une proposition de recherche dépend de la validité et de la fiabilité des résultats obtenus. Pour A.-P. Contandriopoulos *et al.* (1989), cette proposition revient à « expliciter sous forme de modèle la solution théorique retenue pour résoudre le problème soulevé, et de proposer un test pour mettre cette solution à l'épreuve » (p.15). D'après ces auteurs, la proposition d'un modèle n'est donc complète que si elle est accompagnée d'un test qui permettra d'en établir la validité. Ce test vise à convaincre de la cohérence et de la portée du modèle proposé pour le problème soulevé. Conséquemment, dans ce qui suit, après avoir présenté le modèle théorique retenu pour la préparation de figurations destinées à la communication en architecture, une mise à l'épreuve pour valider ce modèle est considérée. Les résultats de ce test donneront matière à une discussion qui couronnera cette partie.

CHAPITRE 8 : Une méthode pour la figuration architecturale— Conceptualisation

L'objectif de ce chapitre est de proposer une méthode pour la définition d'une figuration d'une solution architecturale. La figuration résultante a pour but d'aider une personne à comprendre et à expliquer une solution architecturale. Avec une figuration, cette compréhension et cette explication sont fonction de la façon de figurer la solution qui, pendant le processus de conception, est en développement. Une méthode de figuration peut alors être élaborée à partir de ce qui peut être compris par la visibilité d'une solution architecturale pendant un processus de conception.

8.1. Visibilité et processus de conception

La visibilité est le « caractère de ce qui est perceptible par la vue »¹. La visibilité d'une solution architecturale pendant le processus de conception se rapporte à la perception visuelle du résultat d'une démarche. Pendant le processus de conception, il s'agit de caractéristiques visibles qui vont permettre à un acteur de se constituer une représentation mentale d'une solution permettant de considérer des actions pour atteindre des finalités dans un projet. La perception visuelle d'une solution architecturale pendant le processus de conception peut alors être comprise d'un point de vue tant physiologique que téléologique. La définition d'une figuration architecturale destinée à rendre visible cette solution peut être envisagée à partir de ces deux points de vue. Avant de voir comment elle peut être abordée, considérons tout d'abord ce qu'impliquent pour la figuration les dimensions physiologique et téléologique de la perception visuelle.

8.1.1. La dimension physiologique

La vision fait appel aux organes de la vue, un mécanisme physiologique. La perception visuelle qu'a une personne d'un objet physique implique une sensibilité de l'œil et une position relative par rapport à cet objet.

- *L'œil sensible*

Les caractéristiques physiques d'un objet matériel pouvant donner naissance à des sensations sur la rétine de l'œil d'une personne contribuent à la reconnaissance de cet objet (Marr, 1982). Il s'agit de formes et de couleurs d'un objet rendues sensibles à l'œil en présence de lumières. À partir de formes et de couleurs, une personne peut déduire d'autres caractéristiques physiques d'un objet comme ses matières ou ses textures. Lorsque,

¹ Dictionnaire Le Petit Robert, édition 1989.

pendant une communication entre acteurs d'un processus de conception, il s'agit de rendre visible une solution architecturale, autrement dit des informations se rapportant à un futur édifice, ce sont donc les formes et les couleurs de cette solution qui peuvent devoir être à mettre en évidence dans un mode de figuration.

Le résultat d'un processus de conception architecturale est un objet matériel qui possède une forme tridimensionnelle. Une maison ou une usine sont des objets en volumes constitués de solides, c'est-à-dire de formes ayant une consistance, de la matière, comme des murs ou des toits. Un contour délimite ce résultat et le sépare de l'environnement physique dans lequel il peut être situé. Ce contour peut être la résultante de la structure de formes. Chaque partie d'un édifice peut posséder sa propre forme, et donc un contour, et concourt à la définition de la forme générale de cet édifice. Plusieurs contours de formes peuvent ainsi contribuer ensemble à définir le contour général de la forme du résultat du processus de conception architecturale en question.

En plus de rendre visible les objets, la lumière et ses caractéristiques physiques permettent également de préciser les formes d'un édifice. Les couleurs et les ombres dues à la présence de la lumière engendrent chez une personne des impressions sensorielles différentes pour chaque forme visible. Pour deux formes aux couleurs distinctes, des intensités lumineuses différentes peuvent parvenir à une personne et ainsi lui permettre d'établir une distinction entre ces formes. Les ombres, portées ou projetées, venant modifier la définition des couleurs d'une forme, sont une conséquence de positions relatives des formes et des sources de lumière. Dans un espace tridimensionnel, la présence d'ombres sur des formes permet d'établir des profondeurs pour les formes perçues. Les couleurs et les ombres peuvent laisser percevoir les reliefs d'un objet et ainsi deviner les caractéristiques des matières dont il est fait. Mais ce que l'œil d'une personne peut voir d'un objet dépend également de la façon qu'elle se positionne par rapport à cet objet pour en prendre connaissance.

- *Les points de vue*

Le regard d'une personne sur un objet physique peut être fixe ou en mouvement. Une personne peut regarder un objet à partir d'une position unique ou en multipliant ses points de vue par rapport à cet objet. Dans l'un et l'autre cas, l'œil d'une personne enregistre des intensités lumineuses différentes.

Un point de vue détermine ce que l'œil d'une personne peut voir d'un objet. Plus il y a de points de vues et plus une personne peut voir l'objet de façons différentes. La multiplication de points de vue peut se faire par déplacements autour d'un objet ou en déplaçant l'objet. Une personne peut être en mouvement autour d'un objet et un objet peut être animé devant le regard d'une personne. De plus, ce qu'une personne peut voir

d'un objet dépend également de son champ de vision et de sa proximité à cet objet. Plus un objet est compris dans le champ de vision et est à proximité d'une personne, plus cette personne peut distinguer et détailler les formes et les couleurs de cet objet.

Ainsi, d'un point de vue physiologique, rendre visible un résultat d'un processus de conception architecturale au moyen d'une figuration peut consister en la traduction des formes et des couleurs de ce résultat tout en considérant des lumières et des points de vues susceptibles de susciter différentes impressions sur la rétine de l'œil de l'observateur. En modifiant un point de vue ou un éclairage, une personne peut alors voir différemment une solution architecturale figurée. Pour répondre à ce besoin, des logiciels de rendu ont été mis au point et produisent des images de synthèse qui arrivent à figurer différents objets physiques en permettant différentes mises en scène d'un étonnant réalisme (Foley *et al.*, 1990).

Mais la vision n'est pas uniquement physiologique et fait également intervenir des processus mentaux. Comme nous l'avons vu aux chapitres précédents, les personnes qui participent à un processus de conception sont des acteurs qui ont des finalités qu'ils essayent de réaliser à travers le projet d'architecture. Lorsque ces acteurs ont recours à un moyen de communication pendant le processus de conception c'est également pour comprendre et expliquer comment le projet qu'ils sont en train de considérer peut être réalisé. La perception visuelle est aussi téléologique.

8.1.2. La dimension téléologique

Tant en psychologie cognitive qu'en psychologie de l'environnement, la vision ou la perception visuelle a été comprise comme étant un processus impliquant, en plus de considérations physiologiques, des expériences et des connaissances propres à chaque personne. La perception visuelle peut être considérée, pendant une communication architecturale, comme un processus téléologique en ce sens qu'elle est mise à contribution par un acteur du processus de conception pour la réalisation de ses finalités dans un projet. En considérant la perception comme téléologique, c'est alors ce qui peut permettre d'atteindre des finalités voulues dans un projet qui peut caractériser la façon de percevoir la solution chez un acteur. En fonction de ses finalités, un acteur peut concentrer sa vision sur certaines caractéristiques physiques d'une solution architecturale et essayer de distinguer parmi ces caractéristiques celles qui vont lui permettre de réaliser ses actions. De plus, pour pouvoir envisager des transformations d'une solution architecturale pendant la définition d'actions, un acteur peut également avoir besoin de voir la façon dont ces caractéristiques sont ou peuvent être structurées.

- *Sélections*

La perception visuelle d'une personne consiste à prendre connaissance de ce qui est sensible à l'œil. Cependant, tout ce qui est sensible à l'œil n'est pas inconditionnellement requis pour la réalisation d'une action. En fonction de ses finalités pendant le processus de conception, un acteur peut ne considérer que les unités d'une solution architecturale qui sont en rapport avec ce pourquoi il envisage réaliser sa ou ses actions.

Par exemple, en percevant visuellement une solution architecturale une personne qui envisage aménager un espace peut n'avoir besoin de distinguer que ce qui est en relation avec l'usage de cet espace, autrement dit ses murs, portes, fenêtres, éclairages, mobiliers, etc. De même, un terrassier prévoyant préparer les fondations d'un édifice peut n'avoir besoin de prendre connaissance que de l'emplacement des fouilles nécessaires à la construction de cet édifice. Des finalités d'action peuvent ainsi amener un acteur à concentrer sa perception visuelle sur des parties particulières d'une solution architecturale ce qui peut alors impliquer une figuration de parties sélectionnées de cette solution.

- *Distinctions*

Tous les aspects d'une solution architecturale n'ont pas besoin d'être considérées de la même façon par les acteurs d'un processus de conception. Chaque acteur du processus de conception architecturale peut prendre en compte des caractéristiques différentes pour des parties de cette solution en rapport avec ses actions. Un acteur du processus de conception peut désigner et détailler à sa façon les parties d'une solution architecturale qui l'intéressent par rapport aux actions qu'il compte réaliser.

Il peut désigner une unité de cette solution en fonction de ses finalités dans un projet d'architecture. Par exemple, ce qui peut constituer une cloison ou un mur pour un peintre en bâtiment peut être désigné comme un élément porteur par un maçon ou un ingénieur. En désignant une unité d'une solution architecturale, un acteur établit une correspondance entre ce qu'il perçoit visuellement avec ce qu'il compte réaliser comme action par rapport à cette même solution. Ainsi, un acteur peut se constituer une représentation mentale de la solution qui peut lui convenir pour la définition d'actions à entreprendre.

La définition d'une action peut impliquer pour chaque acteur du processus de conception la perception de caractéristiques différentes d'une même sélection d'unités de la solution architecturale. Il s'agit d'un niveau de détail ou d'un degré de définition des unités de cette solution. Dans le cas d'un mur par exemple, un certain niveau de détail pourrait laisser voir la disposition de ses briques. À un autre niveau de détail, seule la morphologie générale de ce mur pourrait être perçue. Plus un niveau de détail est important

pour la communication des informations dont un acteur a besoin, plus les caractéristiques des unités considérées pour une solution peuvent être nombreuses.

Autrement dit, ce niveau de détail peut dépendre de l'action envisagée par un acteur. Si un ingénieur a pour intention d'établir le nombre de radiateurs nécessaires pour chauffer un local, il peut alors avoir besoin, pour ses calculs, de connaître la composition des murs qui enveloppent ce local. De même, si une personne s'intéresse uniquement à la volumétrie d'une solution architecturale alors elle peut ne pas avoir besoin de prêter attention à la disposition des murs à l'intérieur de cette solution.

Pour son action, soit parce qu'il envisage de peindre ou qu'il projette d'estimer le coût de travaux de peinture, un peintre en bâtiment peut avoir besoin de distinguer la surface ou la superficie d'un mur. Dans cet exemple, l'acteur peut avoir besoin d'établir le contour d'une unité ou une mesure de ce contour. Alors qu'un contour peut être exprimé par une figure géométrique, ses mesures peuvent être rendues avec des chiffres. De même, alors que deux acteurs peuvent s'intéresser à la distribution des espaces dans un édifice, l'un peut essayer de comprendre les relations visuelles pouvant se présenter entre les espaces et l'autre peut vouloir comprendre les relations fonctionnelles entre ces espaces. Le premier acteur peut alors avoir besoin de voir une expression tridimensionnelle de cette distribution et, le second, un organigramme ou un schéma traduisant le type d'activités ainsi que les liens entre les différents espaces de la solution architecturale considérée.

- *Structurations*

Pour définir des actions par rapport à une solution architecturale, un acteur peut également essayer de voir la façon dont les unités de cette solution sont articulées. De manière à se construire une représentation mentale structurée d'une solution architecturale, il peut avoir besoin de prendre connaissance de l'articulation des unités de cette solution. En disposant d'une définition des relations entre des unités, un acteur peut envisager une action par rapport à cette articulation d'unités.

Par exemple, avant l'aménagement d'un espace dans une maison à construire, une personne peut essayer de voir, en choisissant à cet effet des points de vue appropriés, quelle est l'étendue de cet espace futur dont elle peut disposer pour envisager ses actions. Il s'agit d'une opération dans un espace tridimensionnel pour laquelle cette personne peut essayer de voir quelles activités elle peut considérer dans cet espace et où elle peut y placer le mobilier de soutien à ces activités. Si la personne évalue l'espace perçu comme étant trop étroit pour certaines de ses activités elle peut alors soit envisager un agrandissement de cet espace en modifiant ou en déplaçant une cloison soit revenir sur certaines des activités qu'elle avait prévu au départ. La considération de ces alternatives suppose que la personne dispose d'une représentation mentale de la réalisation de ses

activités dans l'espace prévu à cette fin et de l'articulation des parties de la solution architecturale proposée.

En somme, lorsqu'un acteur essaye de voir une solution architecturale pendant le processus de conception, il a pour objectif d'atteindre des finalités dans le projet d'architecture. Autrement dit, pendant le processus de conception un acteur définit des actions en vue d'atteindre ses finalités dans un projet et pour cela met à contribution sa vision. La perception visuelle de l'acteur peut alors être considérée comme téléologique. Ainsi, la solution développée pendant le processus de conception peut être vue différemment par chaque acteur de ce processus. Cette différence de perception peut se traduire pour chaque acteur par un intérêt pour une sélection différente de parties d'une solution architecturale et par le besoin d'un niveau de détail distinct de ces parties. Elle peut également impliquer la compréhension d'une articulation différente des parties d'une solution architecturale. Il peut alors y avoir autant de façons de percevoir une solution architecturale qu'il y a d'acteurs aux finalités différentes dans un projet d'architecture. Le caractère téléologique de la perception visuelle peut donc avoir des implications sur la façon de définir la figuration d'une solution architecturale.

8.1.3. Modes de figuration et perception visuelle

Les acteurs du processus de conception mettent à contribution un mode de figuration pour développer une solution architecturale. Pendant une communication architecturale, ce mode de figuration est soumis à la perception visuelle d'acteurs qui essayent de comprendre et d'expliquer une solution figurée dans le but de réaliser ou d'approuver un projet d'architecture en fonction d'un usage futur. Nous avons vu que dans le cadre de la réalisation d'un tel projet la perception visuelle d'un acteur peut être téléologique. Par conséquent, pour rendre compte d'une solution pendant une communication architecturale, un mode de figuration peut devoir répondre aux besoins d'une perception visuelle téléologique d'acteurs pouvant se concentrer, cherchant à distinguer et à structurer chacun à sa façon les unités d'une solution architecturale.

En considérant que chaque acteur possède des connaissances et des expériences différentes et met à contribution sa perception visuelle de façon téléologique, la définition d'un mode de figuration peut alors impliquer qu'une solution architecturale doit être figurée différemment d'un acteur à un autre pendant un processus de conception.

Actuellement, les différents modes de figuration développés pour la communication en architecture sont en rapport avec le résultat d'un processus de conception achevé et non le caractère téléologique de la perception d'un acteur. Par exemple, en définissant les modes de figuration en plan, en coupe et en élévation, coordonnés et à une même échelle,

Raphaël avait pour intention de rendre compte avec exactitude de la forme d'une solution architecturale. Les maquettes considérées à la Renaissance avaient pour objectif de permettre à une personne d'apprécier les volumes ainsi que des détails techniques et décoratifs d'un édifice à venir. Autrement dit, les modes de figuration disponibles peuvent convenir à des personnes qui essayent de voir le résultat d'un processus de conception et ne cherchent pas à formuler une solution architecturale.

Pour que les modes de figuration disponibles puissent répondre aux besoins des acteurs qui formulent une solution architecturale, deux conditions complémentaires sont à envisager pour la figuration architecturale : (1) répondre à la perception téléologique de chaque acteur du processus de conception tout en considérant (2) une solution architecturale en développement.

Pour remplir ces deux conditions avec les modes de figuration disponibles, il est possible d'imaginer qu'il soit nécessaire de préparer autant de figurations qu'il y a d'acteurs et de transformations à apporter à une solution architecturale pendant un processus de conception. Pour cela, il est possible d'employer plusieurs modes de figuration en même temps et avec des contenus adaptés à la perception téléologique de chaque acteur. Ces modes de figuration pourraient être préparés pour chaque nouvelle transformation des caractéristiques visibles d'une solution architecturale. Un mode de figuration pourrait être préparé pour permettre de voir comment une solution architecturale est définie avant, pendant et après la réalisation d'actions relativement auxquelles des acteurs peuvent communiquer. Par exemple, des acteurs qui, pendant leur communication, essayent de prévoir l'installation d'un équipement sanitaire dans un espace figuré peuvent essayer de définir un emplacement pour cet équipement, voir comment il peut être installé et si le résultat de leurs actions pourra convenir à un usage ultérieurement.

La rencontre de ces deux conditions pour la figuration d'une solution architecturale implique, comme on peut l'imaginer, la préparation d'une diversité et d'un nombre important de modes de figuration. Avec les méthodes de figuration disponibles qui permettent de consigner les caractéristiques visibles d'une solution architecturale, la préparation de ces modes de figuration peut alors demander du temps et des efforts considérables. Par contre, s'il s'agit d'une définition de la façon d'obtenir ces caractéristiques qui est consignée, alors différentes figurations d'une solution architecturale peuvent être produites à partir de cette définition.

Pendant un processus de conception, les caractéristiques visibles d'une solution architecturale sont le résultat de la démarche d'acteurs. La référence commune aux contenus de modes de figuration pour la communication en architecture est une démarche, celle qui permet d'obtenir les caractéristiques du résultat figuré. Lorsque cette démarche est réalisée

de façons différentes alors elle permet d'arriver à des résultats différents. Autrement dit, une même démarche peut produire plusieurs résultats aux caractéristiques visibles différentes. Il est possible d'illustrer brièvement cette idée de la relation entre une démarche et un résultat en considérant la façon dont un mur peut être construit.

Un maçon peut construire deux murs d'apparences différentes, l'un plus long que l'autre, en ayant recours à une même démarche, comme lier avec du mortier plusieurs briques ensemble ou construire un coffrage puis y couler du béton. En fonction des caractéristiques, notamment visibles, que ce maçon désire obtenir pour son mur, il peut choisir le matériau et définir la démarche lui permettant de mettre en œuvre ce matériau. Avec un même matériau et la démarche permettant sa mise en œuvre, le maçon peut obtenir différentes formes pour un mur mais aussi construire plusieurs autres murs. Pendant sa démarche, un maçon contrôle encore les caractéristiques qu'il veut donner à son mur. Par contre, une fois qu'un mur est construit ces caractéristiques ne sont plus à un stade de définition et font désormais partie de ce mur. La modification des caractéristiques d'un mur déjà construit peut alors impliquer la considération d'une nouvelle démarche, comme creuser une ouverture ou ravaier une des faces de ce mur.

La préparation d'une figuration architecturale peut être rapprochée à la construction d'un mur. Si une méthode de figuration architecturale a pour objectif de décrire le résultat d'un processus alors chaque modification de ce résultat peut entraîner une nouvelle figuration correspondant à un nouveau résultat. Par contre, si une méthode de figuration architecturale consiste à décrire la démarche qui permet d'obtenir un résultat, alors toute modification considérée pour le résultat peut revenir à réviser cette démarche.

Dans ce qui suit, la modélisation d'actions est proposée comme moyen permettant la définition d'un modèle d'une démarche permettant à son tour de produire différentes figurations susceptibles de répondre au caractère téléologique de la perception visuelle d'acteurs d'un processus de conception.

8.2. Une modélisation d'actions pour la figuration

La modélisation est, d'après J.-L. Le Moigne (1992), une :

« Action d'élaboration et de construction intentionnelle, par composition de symboles, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée au sein du phénomène ; raisonnement visant notamment à anticiper les conséquences de ces projets d'actions possibles » (p. 5).

J.-L. Le Moigne (1992) définit la modélisation comme consistant à construire un modèle d'un phénomène perçu complexe. Un phénomène, comme un processus de

conception, peut être perçu comme étant complexe lorsque l'on considère que sa définition repose sur l'organisation de diverses actions interdépendantes et envisagées par des acteurs pouvant avoir chacun des finalités différentes dans un projet d'architecture. La complexité d'un phénomène tient au fait qu'il ne peut pas être ramené à un principe simple de fonctionnement. Un phénomène est perçu comme étant complexe parce qu'une personne y voit des dépendances de différentes sortes entre, tout à la fois, une organisation d'unités, l'environnement auquel il s'inscrit et le temps (Morin, 1977, p. 379). Une personne qualifie un phénomène de complexe parce qu'elle y perçoit des interdépendances, des interactions, des transformations dans le temps des unités de ce phénomène.

D'après la définition de la modélisation donnée par J.-L. Le Moigne (1992, p. 5), la construction d'un modèle d'un phénomène a pour but de permettre à un acteur d'intervenir au sein de ce phénomène. Une personne élabore un modèle du phénomène qu'elle perçoit avec l'intention d'anticiper ce que pourraient entraîner ses projets d'actions comme conséquences sur ce phénomène. La modélisation d'un phénomène perçu peut alors être fonction des finalités de la personne qui perçoit ce phénomène et veut en faire un modèle.

La modélisation envisagée ici a pour but de permettre la production de différentes figurations d'une solution architecturale susceptible de répondre aux besoins d'une perception visuelle téléologique des acteurs du processus de conception. Le phénomène à modéliser est un processus d'actions permettant de produire des caractéristiques visibles d'une solution architecturale.

Dans ce qui suit, nous allons tout d'abord examiner comment des acteurs peuvent organiser leurs différentes actions pendant un processus de conception pour obtenir les caractéristiques visibles qu'ils souhaitent pour une solution architecturale. La façon de définir ces caractéristiques visibles permettra ensuite de fixer deux objectifs de modélisation, à savoir (1) la modélisation d'une structure définissant des actions et (2) la modélisation d'une façon de définir des structures définissant des actions. En présentant ces objectifs, nous verrons qu'une structure définissant des actions est le produit d'une façon d'organiser des actions. La distinction entre structure et façon d'organiser des actions permettra par la suite de considérer les méthodes pouvant permettre d'atteindre ces objectifs. Pour mettre en pratique ces méthodes, une façon d'instrumenter la modélisation d'actions proposée est explorée. Cette instrumentation consistera à retenir un langage symbolique et un système géométrique.

8.2.1. Définition de caractéristiques visibles

Comme nous l'avons vu, au premier chapitre notamment, pendant le processus de conception, la démarche permettant d'obtenir une solution architecturale est basée sur

une organisation d'actions réalisées par différents acteurs. Chaque acteur de ce processus réalise certaines actions contribuant à la définition d'une solution architecturale. En fonction de leurs finalités dans un projet d'architecture, de leurs expériences et de leurs connaissances, les acteurs de ce processus de conception définissent les actions qui vont leur permettre d'obtenir les caractéristiques désirées pour cette solution, dont celles qui sont visibles.

- *Définition d'une action*

Une action est ce que fait une personne et par quoi elle réalise ses intentions. La réalisation d'une action implique des moyens d'action, comme des méthodes, des outils et un substrat. Pendant le processus de conception, lorsqu'il s'agit d'établir des caractéristiques visibles d'une solution architecturale, un acteur agit sur un substrat.

Le substrat d'une action peut être cognitif ou matériel. Au début du processus de conception, comme nous l'avons vu en psychologie cognitive, un acteur peut s'imaginer comment et ce sur quoi son action pourrait porter pour résoudre un problème à caractère spatial comme s'il s'agissait d'une action tangible. À un moment de ce processus de conception, le substrat devient matériel. Il passe d'une représentation mentale à un résultat physique sur un chantier de construction. Entre temps, il peut également être figuré sur un support comme le papier.

La présence physique d'un substrat sur un chantier est assurée par le caractère matériel des matériaux utilisés, comme la pierre ou le bois. Le substrat d'une action est donc volumique, autrement dit de forme tridimensionnelle et fait de matière. Il s'agit de matériaux auxquels est également associée une couleur. La forme, la matière et la couleur d'un substrat peuvent être figurées par un acteur tout au long du processus de conception et c'est le matériau qui rendra cette forme et cette couleur perceptibles au toucher ou à la vue d'une personne après la réalisation de l'œuvre. Pendant le processus de conception, forme tridimensionnelle, caractéristiques physiques et couleur sont des particularités d'une solution architecturale spécifique qui peuvent être traduites pour être perceptibles visuellement dans une figuration de manière à pouvoir envisager des actions permettant la définition de cette solution.

La définition de caractéristiques visibles d'une solution architecturale peut être dépendante de ce substrat. La considération de certains matériaux peut par exemple gêner la réalisation d'une action et, par ricochet, les traitements possibles de la forme pouvant être produite avec ces matériaux. Il est plus difficile de percer un trou dans le béton d'une colonne que dans le plâtre d'un mur. Cependant, les possibilités de traitement d'un matériau peuvent également conditionner le choix d'un acteur pour tel ou tel matériau. Pour réaliser ses intentions dans un projet d'architecture, un acteur peut aussi établir des caractéristiques

qu'il cherche à retrouver dans une solution architecturale et ensuite fixer le matériau qui conviendra pour matérialiser ces caractéristiques. La notion de contrainte d'un matériau peut donc faire partie de la réalisation d'une action et ainsi des définitions possibles des caractéristiques visibles d'une solution architecturale.

Sur un chantier de construction, pour définir des caractéristiques visibles, donc une forme et une couleur, un acteur peut également avoir recours à différentes méthodes de transformation d'un substrat. Il peut choisir une couleur pour le résultat de son action et retenir le matériau qui possède cette couleur ou encore décider de peindre le résultat escompté en ignorant la couleur initiale. Un acteur peut obtenir la forme d'un résultat en mettant à contribution des méthodes de géométrie et en se servant d'outils. Des outils tels un compas ou une règle servent à appliquer des méthodes de géométrie. Ces méthodes permettent de définir des propriétés pour une forme, tels des rapports entre des grandeurs ou des contours par exemple. Elles permettent également de réaliser des compositions de formes élémentaires déjà définies géométriquement. Un acteur peut réaliser une forme par assemblage de plusieurs autres formes comme dans le cas, par exemple, de composantes provenant de catalogues d'éléments préfabriqués.

Prise isolément donc, la définition d'une action par un acteur peut consister à considérer des méthodes de transformation de la forme et de la couleur d'un substrat en vue d'obtenir les caractéristiques d'une solution architecturale, dont celles qui sont visibles. Pour la forme, les méthodes de transformation peuvent être d'ordre géométrique. En ce qui concerne la couleur, par exemple un acteur peut l'associer à un substrat en le peignant. Cependant, la définition d'une action peut également être contrainte par des caractéristiques physiques du substrat de cette action.

- *Conjonction d'actions*

Pendant le processus de conception, un acteur inscrit une action par rapport à d'autres actions, les siennes comme celles d'autres acteurs de ce processus. Pour ce faire, il devra référer à un espace et au temps.

Les actions des acteurs du processus de conception peuvent être localisées dans un espace. Un espace, soit-il cognitif ou matériel, permet à des acteurs de situer chacune de leurs actions les unes par rapport aux autres. Un acteur peut imaginer ou concrétiser une action en situant son action dans un espace que d'autres acteurs également considèrent pour leurs actions. De ce fait, un espace constitue alors pour des acteurs un référentiel permettant de joindre des actions du point de vue de leur localisation.

La localisation spatiale d'une action peut être réalisée de différentes façons. La façon de localiser une action dans un espace peut dépendre des finalités d'action poursuivies

par chaque acteur. Par exemple, pour creuser des fouilles pour la réalisation de fondations d'une maison, un acteur a besoin de prendre un terrain pour référence. Par contre, pour construire une cloison entre deux poteaux, un maçon peut avoir besoin de connaître uniquement l'emplacement et les dimensions de ces poteaux.

Les unités d'une solution architecturale comme des poteaux, une cloison ou des fondations peuvent être localisées par rapport à un même référentiel que peut être un terrain ou encore l'enveloppe d'un édifice. Mais pour réaliser des actions, une référence spatiale peut également être définie en considérant ce qui peut servir à la réalisation de ces actions, c'est-à-dire les résultats d'autres actions. Une action peut être référencée dans un espace par rapport aux caractéristiques produites par la réalisation d'autres actions.

Le temps constitue une autre référence pour des actions. Une action peut être réalisée avant ou après une autre action. Elle peut également être réalisée en même temps que d'autres actions. Une action peut débuter alors qu'une autre est sur le point d'être achevée. La durée de la réalisation d'actions permet à un acteur de situer le début et la fin de ses actions par rapport à ceux d'autres actions. Les acteurs d'un processus de conception considèrent une définition du temps en relation avec l'obtention de résultats.

L'espace et le temps constituent donc des repères par rapport auxquels les acteurs d'un processus de conception peuvent considérer la réalisation de leurs actions. En définissant ses actions, un acteur peut tenter d'atteindre ses finalités dans un projet d'architecture en tenant compte non seulement du substrat pour ses actions et des méthodes qui lui permettront de le transformer mais également de l'espace et du temps définis en collaboration avec d'autres acteurs de ce processus. La définition de l'action d'un acteur s'inscrit alors dans une organisation d'actions à laquelle participent plusieurs acteurs d'un processus de conception. Cette organisation d'actions peut définir à la fois ce sur quoi l'action d'un acteur peut porter, et où et quand elle peut être considérée.

8.2.2. Objectifs et méthodes de modélisation

- *Objectifs de modélisation*

Deux objectifs peuvent être fixés pour l'élaboration d'un modèle définissant des actions. Ces objectifs sont la construction d'un modèle soit (1) d'une structure définissant des actions, soit (2) de la façon de produire cette structure définissant des actions.

La construction d'un modèle d'une structure définissant des actions suppose que les actions considérées et leurs relations sont fixées. Une structure d'actions est le résultat d'une organisation d'actions (Le Moigne, 1990, p. 76). En d'autres termes, une personne qui modélise une structure définissant des actions postule que la façon d'obtenir un résultat est déterminée et donc les résultats possibles, arrêtés.

Le temps et l'espace ainsi que les transformations qui caractérisent un processus de conception sont supposés être respectivement passé, connu et réalisées. Ainsi, une personne qui modélise une structure définissant des actions considère que les acteurs d'un processus de conception ont déjà organisé leurs actions dans le temps et dans un espace. Le travail de modélisation consiste alors, en fonction d'une intention, à traduire une structure définissant des actions qui va permettre d'obtenir un résultat. Dans le cas présent, cette intention peut consister à rendre intelligible le résultat escompté d'un processus de conception. Par exemple, il pourrait s'agir de rendre visible l'articulation du résultat d'une structure définissant des actions.

Par ailleurs, la construction d'un modèle de la façon de produire une structure définissant des actions suppose que les actions considérées et leurs relations peuvent varier et ne sont pas encore déterminées. Une organisation d'actions peut engendrer une ou plusieurs structures d'actions. Autrement dit, une personne qui modélise une façon de produire des structures définissant des actions s'appuie sur une perception globale de la façon d'obtenir des résultats. Les résultats possibles de cette modélisation d'actions peuvent être variables. Ces résultats pourront n'avoir en commun que la façon d'organiser des actions qui aura permis d'obtenir les structures définissant les actions les ayant produits.

Un processus de conception est supposé actif et la façon d'obtenir un résultat, encore indéterminée. Une personne qui modélise une façon de produire une structure définissant des actions considère que les acteurs d'un processus de conception peuvent définir différentes structures d'actions. La modélisation consiste alors à traduire la façon de définir une structure définissant des actions. Le modèle résultant peut alors être mis à contribution pour rendre intelligible la façon de structurer des actions productrices de résultats.

- *Méthodes de modélisation*

Pour atteindre les objectifs qui viennent d'être présentés, c'est-à-dire la modélisation d'une structure définissant des actions et celle de la façon de produire des structures définissant des actions, deux méthodes de modélisation parmi celles considérées comme classiques peuvent être envisagées. Il s'agit des méthodes analytique et systémique (Rosnay, 1975, p. 106-110 ; Le Moigne, 1992, p. 16-26).

Une méthode analytique repose sur une approche qui consiste à disjoindre les unités d'un phénomène perçu en multiples éléments indépendants. J. de Rosnay (1975) écrit que cette approche :

« [...] cherche à ramener un système à ses éléments constitutifs les plus simples ; afin de les étudier en détail et de comprendre les types d'interaction qui existent entre eux. Puis en modifiant « une variable à la fois », d'en déduire des lois générales permettant de prédire les propriétés du système dans des

conditions très différentes. Pour que cette prédiction soit possible, il faut que les lois d'additivité des propriétés élémentaires puissent jouer » (p. 107).

Pour modéliser un phénomène perçu selon une approche analytique, une personne s'attache à détailler chacune de ses unités séparément et à comprendre ce qui les lie. Une approche analytique s'appuie sur l'hypothèse qu'une unité constitutive d'un phénomène peut être détachée sans que cela n'affecte la définition même de cette unité ou du phénomène perçu. Les unités d'un phénomène sont considérées comme des éléments interagissant par quelques liens pouvant être indépendants des unités du phénomène.

Une approche analytique consiste donc à décomposer un phénomène perçu en éléments simples et indépendants, et à les rassembler ensuite. En d'autres termes, il s'agit de transformer des unités en entités, par définition détachées du phénomène à modéliser, et de reconnaître des liens qui existent, et non pas la manière dont ces liens entre ces unités sont maintenus au sein du phénomène perçu. Si la personne qui modélise un phénomène perçu arrive à dégager de son analyse certaines propriétés constantes pour les éléments et leurs liens alors elle peut les faire varier séparément dans un modèle pour anticiper un état de ce phénomène. L'état anticipé d'un phénomène perçu devient alors réversible par révision de la propriété qui a été modifiée.

En considérant des éléments et les définitions de leurs liens, une approche analytique permet d'opérer une simplification. Cette simplification est une réduction d'un phénomène perçu à un état de définition « laminé » où le temps et la transformation sont considérés comme n'ayant aucune influence ou très peu. Une approche analytique peut par conséquent convenir à la modélisation de phénomènes dont les liens entre ses unités sont linéaires et faibles dans le sens de leurs effets sur la définition de ces unités (Rosnay, 1975, p. 108). Autrement dit, une approche analytique s'accorde avec la modélisation de phénomènes dont les unités et leurs liens sont déterminables et demeurent stables comme pour des résultats de processus de conception achevés.

Une approche analytique convient à la modélisation d'un phénomène perçu comme étant compliqué mais non complexe. Un objet physique et la structure d'actions permettant de l'obtenir peuvent être compliqués. Par contre, l'organisation d'actions qui permet d'obtenir cette structure d'actions peut être considérée comme complexe. Un objet physique comme un édifice peut être constitué de nombreuses unités dont l'assemblage peut être difficile à comprendre mais dont la définition et les liens sont déterminés et identifiables. Par contre, lors d'une organisation d'actions faisant intervenir des acteurs aux connaissances et expériences multiples et ayant diverses finalités dans un projet, les unités d'un objet physique et leur assemblage sont encore en développement et donc indéterminés. Avant de produire un objet physique, une organisation d'actions peut définir plusieurs états

intermédiaires d'un résultat correspondants à la production de différentes structures d'actions. Si pour modéliser une façon de produire des structures définissant des actions seul un état du résultat est pris en compte alors il s'agit d'une simplification à l'outrance d'une façon d'organiser des actions. E. Morin (1977) écrit que :

« Le simple n'est qu'un moment arbitraire d'abstraction arraché aux complexités, un instrument efficace de manipulation laminant la complexité » (p. 378).

Par contre, une méthode systémique s'appuie sur une approche considérant une logique conjonctive. Au lieu de disjoindre les unités d'un phénomène perçu, l'approche systémique propose, d'après J.-L. Le Moigne (1992), de :

« [...] tenir pour inséparable le fonctionnement et la transformation d'un phénomène, des environnements actifs dans lesquels il s'exerce et des projets par rapport auxquels il est identifiable » (p. 40).

Une approche systémique est ainsi fondée sur quatre concepts : (1) le fonctionnement et (2) la transformation d'un phénomène perçu ainsi que (3) l'environnement actif de ce phénomène et (4) les projets qui l'identifient. Ces quatre concepts sont dynamiques et considérés interdépendants dans le temps et l'espace. Pour un projet, un phénomène perçu est considéré pouvoir se transformer et transformer l'environnement dans lequel il est perçu. La transformation implique une durée ainsi qu'un produit, et le fonctionnement, un espace. Une approche systémique permet de considérer qu'un phénomène perçu agit dans un environnement actif susceptible de se transformer et de le transformer. La définition des actions de ce phénomène sont prises pour téléologiques et servent à assurer un devenir au phénomène perçu.

Une approche systémique convient à la modélisation d'un phénomène perçu comme étant complexe (Le Moigne, 1990). E. Morin (1977, p. 377) écrit que la « complexité s'impose d'abord comme impossibilité de simplifier » et propose, pour approcher cette complexité, un principe de pensée reposant sur une boucle qui « se génère en même temps qu'elle génère » (p. 381). Cette boucle est considérée rétroactive et récursive et peut être rapprochée d'un processus de représentation mentale chez une personne qui perçoit un phénomène complexe (Morin, 1977, p. 381-382). En encourageant la concentration de la personne qui modélise sur des interactions entre des unités d'un phénomène perçu, une approche systémique favorise une modélisation qui s'attache à comprendre et à traduire les rétroactions ainsi que la récursivité qui peuvent être à l'œuvre au sein de ce phénomène.

Selon l'approche systémique, la modélisation d'un phénomène perçu consiste à construire un modèle du fonctionnement de ce phénomène. Pour une organisation d'actions, un modèle définissant des actions peut alors consister à définir plusieurs structures

définissant des actions où chacune est susceptible de produire un résultat différent. Un objet physique par exemple peut être le produit d'une structure définissant des actions compliquée mais déterminée et engendrée par le modèle systémique d'une façon de produire des structures définissant des actions. Ce modèle pourrait définir les actions et les liens à disposer entre ces actions pour obtenir une structure définissant des actions qui permet d'atteindre l'objectif d'un projet comme la production d'un objet.

Même si l'approche systémique et l'approche analytique sont basées sur deux logiques différentes, respectivement conjonctive et disjonctive/simplificatrice, ces deux approches « sont plus complémentaires qu'opposées. Mais pourtant irréductibles l'une à l'autre », écrit J. de Rosnay (1975, p. 107). En cherchant à déterminer ce qui caractérise un phénomène par l'étude de ses unités et la façon dont elles sont liées les unes aux autres, une approche analytique offre à une approche systémique une manière de fixer un projet pour une modélisation de ce phénomène. Elle permet de comprendre des états intermédiaires d'un phénomène perçu comme actif sans toutefois pouvoir rendre compte de la transformation d'un état à un autre de ce phénomène. Une modélisation d'un phénomène réalisée selon une approche systémique, parce qu'elle est concentrée sur des interactions au sein de ce phénomène et sur leurs effets, arrive à permettre la construction d'un modèle de ce phénomène qui inclut le temps et la transformation.

Chacune des deux méthodes, analytique et systémique, permet d'atteindre les deux objectifs fixés pour la modélisation d'actions. La méthode analytique permet la construction d'un modèle d'une structure définissant des actions et, la méthode systémique, la construction d'un modèle d'une façon de produire des structures définissant des actions. Mais pour ce faire la modélisation a besoin d'être instrumentée.

Dans ce qui suit, une instrumentation d'une modélisation d'actions est considérée. L'objectif est d'identifier parmi les instruments et les techniques disponibles ceux qui permettent la construction, selon les méthodes analytique et systémique, de modèles définissant des actions susceptibles de rendre visibles des résultats d'actions.

8.2.3. Une instrumentation de la modélisation

Trois dispositions instrumentales peuvent être considérées pour la modélisation d'actions. Il s'agit de pouvoir, à la fois, consigner des définitions d'actions ainsi que de relations, rendre visible des résultats de ces actions et organiser des actions consignées.

En premier, pour la consignation de définitions d'actions et de leurs relations, la démarche historique (entreprise en troisième partie) a permis de voir que la façon de réaliser des actions pouvait être traduite non seulement en paroles et par le geste mais

également par écrit comme dans le cas de la rédaction de devis descriptifs. En effet, comme nous l'avons vu, les grecs de l'antiquité pouvaient avoir recours à des *syngraphai* pour décrire la façon de réaliser un projet d'architecture. Ensuite, pour rendre visible les résultats d'actions, la géométrie propose plusieurs méthodes. Elle est la science ayant pour objectif de fournir les moyens de traduire les formes perceptibles visuellement. Enfin, pour organiser des actions, il y a aujourd'hui les ordinateurs et leur capacité à pouvoir effectuer une somme importante d'opérations sur des données qui lui sont fournies. Ces ordinateurs peuvent également produire des sorties graphiques comme les images de synthèse, par exemple. Aussi, à condition de pouvoir les harmoniser ensemble, écriture, géométrie et ordinateur peuvent être considérés pour la modélisation d'actions. Cette harmonisation peut être envisagée dans un environnement informatique.

Sur un ordinateur, l'écriture de définitions d'actions peut être réalisée au moyen d'un langage symbolique. Ce langage peut comporter un vocabulaire géométrique. Dans ce qui suit, il s'agit d'identifier un langage symbolique et un système géométrique susceptibles de permettre la réalisation d'une modélisation d'actions.

- *Un langage symbolique*

Un langage symbolique est un moyen d'expression de la pensée mettant en œuvre des symboles. Pour les fins d'une modélisation d'actions, un langage symbolique doit permettre d'exprimer et la façon de réaliser une action et la manière dont des actions ont un effet les unes sur les autres. De plus, comme un tel langage est destiné à être utilisé à même un ordinateur, celui-ci doit également être informatique.

En informatique, un langage symbolique est appelé langage de programmation. Il s'agit d'un code permettant de donner des instructions à un ordinateur. Depuis l'invention en 1947 par M.V. Wilkes du premier code alphanumérique¹ permettant de transmettre des instructions à une machine, de nombreux langages ont été mis au point (Birrien, 1990, p. 51). Parmi ces langages, plusieurs ont été orientés vers les problèmes et sont appelés langages évolués². Ils permettent de concevoir des logiciels et d'assurer une interface entre une personne et la machine. C'est parmi ces langages qu'il est possible de trouver un langage symbolique susceptible de convenir à la modélisation d'actions.

Au sein de la catégorie des langages dits évolués il est possible de distinguer, en fonction des objectifs pour lesquels ils ont été développés, trois grandes familles de langages qui sont : les langages (1) impératifs, (2) orientés objets et (3) fonctionnels. Pour résumer,

¹ Le concept du langage assembleur.

² Par exemple, le langage BASIC (*Beginner's All Purpose Symbolic Instruction Code*) a été développé pour faciliter la programmation des problèmes mathématiques posés par les étudiants à partir de terminaux.

les langages impératifs¹ permettent de transmettre « une liste d'instructions à une machine qui doit les exécuter dans un ordre bien défini [...] » (Glaser *et al.*, 1987, p. 4). Les langages orientés objets² visent la manipulation d'objets informatiques ainsi que leurs caractéristiques. Enfin, les langages fonctionnels ont été mis au point pour permettre à un ordinateur de traiter des méthodes pour la résolution de problèmes.

Ce sont les langages fonctionnels qui sont le mieux adaptés à la description de processus (Abelson *et al.*, 1989). Ils s'agit de langages développés à la fin des années cinquante et dont le langage LISP³ est l'ancêtre. H. Abelson *et al.* (1989) écrivent que le langage LISP « a été inventé [...] comme un formalisme pour raisonner sur l'utilisation de certains types d'expressions logiques, appelées *équations récursives*, qui forment un modèle de calcul » (p. 2). Autrement dit, les langages fonctionnels ont été conçus pour permettre le raisonnement sur des modèles (mathématiques) pouvant avoir une propriété récursive.

La propriété récursive d'un modèle se traduit par le fait que le modèle peut faire appel à sa propre définition pendant qu'il produit un résultat. En d'autres termes, la récursivité permet à un modèle de reconsidérer son résultat jusqu'à ce qu'il ait trouvé un équilibre entre un état initial et un résultat final. E. Morin (1977) définit un processus récursif comme : « *tout processus dont les états ou effets finaux produisent les états initiaux ou les causes initiales* » (p. 186) comme dans le cas d'une organisation active, c'est-à-dire une organisation qui s'auto-organise. Cette récursivité permet alors de considérer une organisation dans sa complexité, identifiable d'après J.-L. Le Moigne (1990) « par l'imbrication présumée intelligible des multiples actions qu'elle assure, transitives et récursives, au fil du temps » (p. 76). En ce sens donc, un langage fonctionnel peut convenir à la modélisation d'une façon de produire des structures définissant des actions.

Ce qui distingue fondamentalement les langages fonctionnels des autres langages de programmation c'est la priorité accordée à un mode de pensée et la récursivité fait partie de ce mode de pensée. En effet, avec les langages fonctionnels, un programme informatique est réalisé sans avoir à considérer des affectations de mémoire comme cela est courant en programmation informatique. Une personne qui décrit une action est amenée à réfléchir sur comment cette action est réalisable plutôt qu'aux instructions qui vont permettre à un ordinateur de traduire un résultat pour cette action.

Le dialecte Scheme[©], descendant du langage LISP, est un langage fonctionnel qui offre également « la possibilité pour certaines fonctions de retourner comme valeurs des

¹ Les langages Pascal, C ou Fortran sont des langages impératifs.

² Les langages C++ et Java sont des langages orientés objet.

³ LISP (pour LISP Processing) a été développé au Massachusetts Institute of Technology (MIT) par John McCarthy.

fonctions » (Perlis, 1989, p. xv). Une *fonction*, en programmation fonctionnelle, est la définition écrite donnée à une action. Chaque *fonction*, lorsqu'elle est évaluée par un ordinateur retourne un résultat. Dans le langage Scheme^o, ce résultat peut représenter soit un état soit une nouvelle action permettant d'obtenir un autre état ou une nouvelle action. Cette indifférenciation quant à la nature des résultats pouvant être produits par une *fonction* fait que la description d'une action peut instruire une autre action soit en lui fournissant des substrats, comme des objets produits, soit en lui indiquant une nouvelle façon de se produire, ce qui peut être avantageux dans le cas où les conséquences de certains phénomènes ne sont pas prévisibles au moment de la description de ces actions.

Cette priorité accordée à un mode de pensée a d'ailleurs motivé H. Abelson et ses collaborateurs (1989, p. xviii) à choisir Scheme^o pour l'enseignement de l'informatique au MIT. Les auteurs expliquent que ce langage offre un cadre de description aux étudiants pour travailler en termes de « Comment faire pour » plutôt qu'en termes de « Ceci est ». Contrairement à l'approche déclarative communément considérée en mathématiques, Scheme^o permet de s'attacher à l'étude de la façon dont une connaissance peut être mise à contribution d'un point de vue opérationnel et pour certaines finalités (Abelson *et al.*, 1989, p. xviii). Le choix de Scheme^o pour l'enseignement informatique au MIT a également été encouragé par le peu et par la simplicité du formalisme (syntaxe et sémantique) des *fonctions* permettant l'écriture de programmes informatiques. Les programmes écrits en langage Scheme^o sont faciles à comprendre et leur analyse permet de voir comment l'auteur s'y est pris pour arriver à ses fins.

Ainsi, parmi les langages de programmation disponibles, le choix d'un langage symbolique pour la modélisation d'actions peut s'arrêter au langage fonctionnel Scheme^o. Le langage Scheme^o offre au moins trois qualités pouvant être recherchées pour la traduction de définitions d'actions : il permet à la fois (1) d'exprimer la façon dont une action peut être réalisée et les liens qu'elle peut entretenir avec d'autres actions, (2) d'intégrer le concept de récursivité, et enfin (3) de définir une action de façon à pouvoir redéfinir une autre action.

- *Un système géométrique*

Un système géométrique est un ensemble organisé d'équations mathématiques permettant de définir et de transformer une forme géométrique. Il est généralement articulé autour de deux principaux groupes de concepts mathématiques ; les concepts permettant de traduire en équations des primitives géométriques comme une droite ou une sphère et les concepts servant à opérer des transformations sur ces primitives tels leur assemblage ou leur transformation ponctuelle. La différence fondamentale entre un système géométrique et un autre réside dans les concepts mathématiques considérés pour définir

des primitives géométriques et leurs opérateurs. Ces concepts fixent les possibilités et les limites de définition et de transformation d'une forme géométrique.

À partir de la façon dont une action pendant le processus de conception architecturale peut produire une forme visible, il est possible de définir des critères pour les primitives d'un système géométrique et leurs opérateurs. Tout d'abord, comme le substrat d'une action peut être volumique, une primitive d'un système géométrique peut devoir être solide, c'est-à-dire à la fois tridimensionnelle et où il est également possible de distinguer un intérieur, une frontière et un extérieur. De plus, pour permettre à une action de considérer la transformation d'une primitive géométrique, il est aussi souhaitable de disposer d'une primitive susceptible de connaître des définitions intermédiaires entre deux états, initial et final. Enfin, pour pouvoir définir des formes géométriques composées, les opérateurs de ce système auraient également avantage à être d'ordre logique de façon à permettre la considération d'un raisonnement sur la définition de ces formes. Autrement dit, un système géométrique pour la modélisation d'actions peut nécessiter une définition solide et altérable de primitives géométriques et d'opérateurs logiques pour leurs compositions.

B. de Cambray (1992) a essayé d'établir un « état de l'art » des caractéristiques des systèmes géométriques disponibles pour la traduction de la forme d'objets tridimensionnels. Elle a étudié différents systèmes géométriques utilisés par les applications informatiques dans plusieurs domaines, comme la mécanique, l'architecture ou la médecine, et a constaté que parmi tous ces systèmes, les principaux sont le système CSG (*Constructive Solid Geometry*) et le système B-Rep (*Boundary Representation*). Alors que le CSG est considéré volumique, le B-Rep est surfacique.

Comme son nom l'indique, un système CSG permet de construire un objet. L'utilisation de ce système suppose une connaissance préalable d'une articulation géométrique de la forme de l'objet considéré. Pour construire la forme d'un objet, une personne peut choisir parmi une série de primitives géométriques¹ élémentaires de la géométrie euclidienne et les assembler au moyen d'opérateurs booléens dérivés de la théorie des ensembles, comme l'union, l'intersection ou la différence. Les formes résultantes de ces constructions sont organisées en arbre où les nœuds de l'arbre correspondent à des opérateurs et où le bout des ramifications comportent les primitives géométriques considérées. Avec ce système, plus il y a de formes élémentaires et plus les opérateurs de construction permettent d'obtenir des formes variées. Et plus les opérations nécessaires pour obtenir un résultat sont nombreuses et plus la ramification de l'arbre CSG peut être profonde.

¹ Il s'agit de surfaces implicites, c'est-à-dire définies par une équation mathématique.

B. de Cambray (1992) écrit que le « problème en CSG est de trouver une décomposition de l'objet en formes élémentaires » (p. 6). Pour se rapprocher le plus possible de la définition de la forme d'un objet, il est nécessaire de faire coïncider les primitives géométriques disponibles sous un système CSG avec celles reconnues dans cet objet. Si la variété des primitives géométriques disponibles est restreinte alors l'arbre CSG peut devenir très profond dans le cas d'objets complexes. Moins il y a de primitives géométriquement riches et plus il est nécessaire de recourir à ces primitives pour en définir de nouvelles pouvant correspondre aux objectifs de représentation que l'on se fixe.

Par exemple, en supposant qu'un système CSG ne disposerait pas de la définition d'un parallélépipède droit alors une personne pourrait être amenée à construire cette forme géométrique particulière en ayant recours à plusieurs cubes différents. Le résultat est que le parallélépipède défini n'en n'est pas un au niveau mathématique et la transformation de cette forme peut alors s'avérer difficile. Ce n'est plus une équation mathématique unique qui est transformée mais plusieurs équations de cubes réunies en un arbre qui sont manipulées. La transformation d'un cube de ce parallélépipède n'implique pas que les autres cubes vont nécessairement suivre. De plus, comme chaque personne peut s'y prendre différemment pour construire un même parallélépipède droit, l'arbre CSG résultant peut par conséquent être variable pour une forme résultante visiblement identique. En fonction de la complexité de l'objet à représenter et des primitives géométriques disponibles sous un système CSG, la transformation d'une forme peut donc être difficile à considérer sous ce système.

Comme c'est à partir d'une série de primitives élémentaires (sphère, cube, cône, etc.) déjà définies qu'il est possible de construire une représentation d'un objet, le système CSG ne se prête donc pas à considérer une transformation de la forme d'un objet d'un état initial à un état final, tel que cela peut être nécessaire pour la modélisation d'actions. Si les primitives géométriques de base d'un système CSG sont définies de façon rigide, c'est-à-dire en impliquant une spécification précise de dimensions particulières pour chaque type de primitive considérée, la seule manière qu'il y a de transformer par exemple la forme d'un cylindre en celle d'une sphère consiste alors à procéder par remplacement de primitives. Un cylindre doit être remplacé par une sphère car une sphère peut être définie par un rayon uniquement alors qu'un cylindre nécessite en plus la détermination d'une hauteur. Les états intermédiaires entre une sphère et un cylindre ne peuvent pas être pris en compte. De la façon donc que les primitives géométriques sont définies dans un système CSG, ce système convient alors plus à une représentation d'un résultat connu d'actions qu'à un résultat intermédiaire d'actions en cours de définition.

Le système B-Rep n'est certes pas volumique mais permet de représenter des formes géométriques tridimensionnelles plus librement qu'avec un système CSG. Avec ce système, la définition de la forme d'un objet est réalisée à partir de ses frontières, c'est-à-dire ses sommets, ses arêtes et ses surfaces. B. de Cambray (1992, p. 11) qualifie cette définition de verbeuse car elle définit un objet géométrique avec trop de spécifications qui se répètent. Un système B-Rep repose sur les principes de la topologie combinatoire et utilise des primitives géométriques¹ de la géométrie euclidienne. La topologie combinatoire est une théorie mathématique basée sur des concepts comme la connexité de figures pouvant mettre à contribution par exemple la théorie des graphes (voir Gellert *et al.*, 1986, p. 739-745 et p. 749-754). Avec un système B-Rep, un même objet peut avoir plusieurs représentations différentes en fonction de la façon dont les frontières ont été déclarées. Il est alors difficile de retrouver, pour une transformation logique, une forme géométrique élémentaire d'un objet de forme complexe, c'est-à-dire issue d'une multitude d'opérations géométriques. Le caractère surfacique du système B-Rep rend également difficiles les opérations sur les volumes des objets, comme la soustraction ou l'addition, par exemple.

De façon à rendre les systèmes CSG et B-Rep plus adaptés aux besoins de la représentation tridimensionnelle d'objets pour différentes applications, d'autres systèmes géométriques leurs ont été associés. Le résultat de ces associations sont des systèmes géométriques hybrides. Par exemple, les primitives géométriques d'un système CSG peuvent être complétées par des primitives d'un système B-Rep ou un système CSG peut être jumelé à un système B-Rep. D'autres systèmes géométriques peuvent également être considérés avec les systèmes B-Rep et CSG (voir de Cambray, 1992). En faisant supporter plusieurs systèmes géométriques par ces systèmes hybrides, l'objectif est de réunir les qualités de chaque système géométrique considéré pour une possibilité de représentation d'objets plus étendue et répondant de la meilleure façon possible aux besoins des applications pour lesquels ils sont définis. Cependant, au lot des qualités de ces systèmes peut également être adjoint celui des inconvénients de chaque système considéré et des difficultés de conversion impliqués par leur association. Cette situation fait dire à J.-F. Rotgé et C. Martin (1992) que les logiciels de CAO disponibles « souffrent d'un certain nombre de problèmes endémiques qui prennent naissance pour la plupart au niveau du modéleur volumique » (p.1), c'est-à-dire le système géométrique considéré par ces logiciels.

¹ Il s'agit de surfaces paramétriques, c'est-à-dire, des surfaces pouvant être définies par la spécification de paramètres mathématiques permettant d'obtenir des portions de surfaces. Exemple : une portion de la surface d'une sphère (voir Gellert *et al.*, 1986, p. 614-622).

J.-F. Rotgé (1996a, 1996b et 1996c) propose un nouveau système géométrique appelé SGDL¹ et qui repose sur des concepts mathématiques originaux. L'auteur considère une seule primitive géométrique projective accompagnée d'opérateurs logiques et arithmétiques. J.-F. Rotgé (1996a) écrit que l'idée de base est que « complex solids can be represented as compositions of the primitive by means of arithmetic and logical operators » (p. 1).

La primitive géométrique proposée est volumique et est définie en géométrie projective. Il s'agit d'une quadrique projective générale regroupant toutes les primitives de la famille des quadriques en géométrie euclidienne et dont l'équation algébrique peut être élevée en degrés pour définir d'autres primitives comme celles de la famille des cubiques. Cette élévation en degré permet alors d'élargir les primitives géométriques susceptibles de convenir à la définition d'une forme.

Le système SGDL^o rend possible sur une forme des opérations arithmétiques telles l'addition, la soustraction ou la multiplication ; il fournit des opérateurs de la logique ternaire mise au point par S. Kleene. À la primitive unique sont associées des valeurs entières pouvant être assimilées à des densités de l'espace (0 pour l'extérieur, 1 pour la frontière et 2 pour l'intérieur).

Avec le système SGDL^o, des primitives géométriques telles une sphère, un cylindre ou un cône sont considérées comme des cas particuliers de la primitive unique. En agissant par exemple sur un des six points qui définissent la primitive, la quadrique peut passer de la forme d'un cône à celle d'un cylindre². Les opérateurs arithmétiques permettent ensuite d'assembler plusieurs définitions de cette primitive tout en offrant un contrôle sur les régions de l'espace qu'elles délimitent. Au moyen de filtres logiques comme $>$, $<$, $=$, \wedge , etc. des densités de l'espace peuvent être filtrées ce qui permet alors de ne retenir d'un assemblage de volumes que le volume ayant des densités répondant à certaines conditions que l'on se serait fixé.

Par rapport aux systèmes géométriques disponibles, le système SGDL^o est le seul qui a les qualités d'être volumique, d'être basé sur une primitive unique et d'offrir des opérateurs permettant de considérer des raisonnements arithmétiques. Il intègre le système

¹ De l'expression anglaise *Solid Geometry Design Logic*. L'acronyme SGDL fait référence aux initiales du Sieur Girard Desargues Lyonnais, auteur de la géométrie projective que nous avons présenté en partie III.

² Il s'agit d'envoyer le point sommet du cône à l'infini. La notion d'infini est prise en charge par une quatrième coordonnée t ajoutée aux trois coordonnées classiques (x, y, z) permettant de spécifier un point dans un espace cartésien. Ainsi, un point est spécifié par les coordonnées $(x, y, z, 1)$ et lorsqu'il est mis à l'infini sa quatrième coordonnée prend pour valeur 0. Un point à l'infini devient alors un vecteur indiquant une direction.

CSG comme cas particulier parce qu'il rassemble sous une même définition la plupart des primitives géométriques définies séparément sous CSG et étend les opérateurs booléens ou ensemblistes du CSG sous un formalisme ternaire et arithmétique.

Pour la modélisation d'actions, le système SGDL^o constitue un outil géométrique permettant de définir une forme de façon logique, volumique et précise tout en offrant l'avantage de considérer des transformations géométriques. Sa mise en place informatique est réalisée sur la base du lambda calcul à l'origine des langages symboliques fonctionnels. Le système SGDL^o complète le langage Scheme^o par des *fonctions* géométriques. Les caractéristiques géométriques et informatiques du système SGDL^o font que parmi les systèmes géométriques disponibles, ce système est celui qui convient le mieux pour la modélisation d'actions.

8.3. Mise à l'épreuve de la modélisation d'actions

La proposition de modéliser des actions pour figurer une solution architecturale de façon à pouvoir satisfaire différentes perceptions téléologiques des acteurs d'un processus de conception peut être mise à l'épreuve. J.-P. Deslauriers (1991) écrit qu'une « bonne proposition [de recherche] fonctionne » (p. 99). Il s'agit de définir un devis de recherche permettant de soumettre la modélisation d'actions à l'épreuve des faits, de manière à établir sa validité. Pour cela, des objectifs pour une modélisation d'actions dans un contexte expérimental peuvent être fixés (Contandriopoulos *et al.*, 1989, p. 21).

8.3.1. Objectifs de validation

J.-P. Deslauriers (1991) écrit que la validité des résultats d'une recherche signifie que « *la méthode de recherche utilisée a été capable de répondre à la question de recherche posée [...]* » (p. 99). La validité de la recherche dépend ainsi de la réponse qu'une méthode peut apporter à une question de recherche posée. Il s'agit alors de considérer la validation de la proposition de modéliser des actions pour la figuration architecturale. À cet effet, cette proposition peut obtenir deux types de validités : une validité interne et une validité externe (Campbell et Stanley, 1963).

Une validité interne suppose qu'il est possible d'établir une relation de cause à effet entre des variables à l'étude. Autrement dit, il s'agit d'arriver, dans le cadre d'un devis de recherche, à montrer qu'une modélisation d'actions permet d'obtenir des figurations de résultats d'actions. Plus précisément, l'établissement du devis pour cette expérimentation consiste à rendre compte qu'à partir d'une modélisation (1) d'une structure définissant des actions et (2) d'une façon de produire des structures définissant des actions, il est possible de répondre à une perception physiologique et téléologique mais de façons

différentes. Un modèle d'une structure définissant des actions doit être capable de produire différentes figurations d'un même résultat d'un processus de conception en fonction d'une intention de figuration connue à l'avance. Un modèle d'une façon de produire des structures définissant des actions doit permettre l'établissement de structures définissant des actions pouvant répondre à des intentions de figuration non déterminées à l'avance. Il s'agit de la production de figurations de résultats différents à partir d'un même modèle définissant des actions.

Une validité externe « est dépendante des caractéristiques qui permettent de généraliser, d'étendre les résultats obtenus à [...] d'autres contextes [...et...] repose essentiellement sur le caractère plus ou moins général du modèle théorique sur lequel s'appuie la recherche » (Contandriopoulos *et al.*, 1989, p. 28). Cette validité peut être obtenue si la proposition de modéliser des actions pour la figuration d'un résultat n'est pas dépendante du processus d'actions qui pourrait caractériser le processus de conception architecturale. Autrement dit, une validité externe peut être recherchée là où une figuration peut être nécessaire à des acteurs de processus caractérisés par d'autres types de démarches et de résultats. Il s'agit de vérifier si la modélisation d'actions, telle que proposée pour la figuration architecturale, peut être mise à contribution pendant un processus produisant un résultat qui n'est pas une solution architecturale. Pour cela, le déplacement dans un référentiel « Temps-Espace, Forme » qui permet de reconnaître, d'après J.-L. Le Moigne (1990, p. 47), un résultat d'un exercice pourrait être différent de celui auquel réfère les acteurs d'un processus de conception architecturale. La référence au « Temps-Espace » pourrait ne plus être en rapport avec la réalisation d'un projet d'architecture et la « Forme » peut être, contrairement à une solution architecturale, relative à un produit non physique.

Un contexte expérimental basé sur des exemples choisis permet de considérer les validités interne et externe de la proposition de modéliser des actions pour la figuration d'un résultat d'un processus d'actions.

8.3.2. Les trois exemples choisis

Trois exemples ont été choisis pour mettre à l'épreuve et valider la proposition de modéliser des actions pour la figuration de résultats de processus d'actions. Deux de ces exemples ont été choisis pour une validation interne de la proposition et, le troisième, pour une validation externe. Comme il s'agit de modélisations d'actions pour la figuration de résultats, la validation de la proposition pourra se faire de façon visuelle. On pourra voir dans des images si leur contenu correspond aux résultats escomptés pendant la modélisation d'actions.

Une validation interne peut être considérée par rapport à ce qui permet de reconnaître un résultat d'un processus d'actions, c'est-à-dire un déplacement dans un référentiel « Temps-Espace, Forme » (Le Moigne, 1990, p. 47). Il est possible de choisir tout d'abord un exemple permettant de vérifier si un modèle définissant des actions permet d'obtenir une « Forme » visible et variable pour son résultat. Cette validation peut être envisagée par rapport à la modélisation d'une structure définissant des actions qui a produit un résultat. Pour ce faire, un exemple montrant qu'une structure définissant des actions permet de traduire visuellement des liens entre des actions peut être pertinent.

L'exemple choisi pour mettre à l'épreuve une modélisation d'une structure définissant des actions a été une lampe à bras réglables. Il s'agit de la lampe Tizio dont le stylisme a été réalisé par Richard Sapper en 1973 et qui fait partie d'une collection d'objets représentant les créations du XX^e siècle au Musée d'Art Moderne de New York. Avec cet exemple, la mise à l'épreuve de la modélisation d'actions a consisté à rendre compte des caractéristiques visibles et de l'articulation des bras de cette lampe, le résultat peu compliqué d'un processus de conception.

Ensuite, un deuxième exemple a été choisi pour valider une modélisation d'actions par rapport à un référentiel « Temps-Espace ». Cette validation a été envisagée en considérant la modélisation d'une façon de produire des structures définissant des actions. Il s'agit pour un modèle définissant des actions de produire des structures définissant des actions variables susceptibles de traduire visuellement des caractéristiques d'un résultat en développement dans un espace et dans le temps.

L'exemple choisi pour mettre à l'épreuve une modélisation d'une façon de produire des structures définissant des actions est une église gothique du XVI^e siècle pour laquelle il a été possible d'obtenir de l'information. Il s'agit de l'église Saint-Eustache à Paris dont la construction a pris plus d'un siècle et a été prise en charge par différents responsables de chantier. À chaque phase de l'édification de l'église correspondent des travaux de construction réalisés en des lieux différents. Les travaux de construction de l'église ont été répartis dans l'espace et le temps. La compréhension de la réalisation du projet de l'église demande une recherche historique dont les résultats peuvent être traduits en modélisant une façon de produire des structures définissant des actions. Avec cet exemple, la mise à l'épreuve de la modélisation d'actions consiste à rendre compte de caractéristiques visibles de résultats produits par différents acteurs en des lieux et à des moments distincts.

La validation externe de la proposition de modéliser des actions pour la figuration d'un résultat a été considérée dans un contexte autre que celui de la réalisation d'un projet d'architecture. Cet autre contexte est celui d'une ville et de son règlement d'urbanisme. Il s'agissait de prendre pour référence un espace urbain et d'y organiser des actions permettant

de traduire visuellement des articles d'un règlement d'urbanisme et de l'information se rapportant à l'usage de cet espace.

Le contexte choisi pour obtenir une validation externe pour la modélisation d'actions a été celui de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal. Cet arrondissement a été retenu non seulement pour la disponibilité d'une information relative au cadre bâti qui s'y trouve mais aussi pour la diversité des articles qu'il permet de considérer. Dans cet arrondissement situé au centre de la ville de Montréal, se trouvent réunis des parcs publics et des édifices à bureaux pour lesquels un nouveau projet de règlement d'urbanisme vient d'être envisagé (Ville de Montréal, 1992). Compte tenu de la grande superficie de l'arrondissement Ville-Marie, la partie circonscrite par les rues Sainte-Catherine au Nord, De la Gauchetière au Sud, Drummond à l'Ouest et Mansfield à l'Est a été choisie pour cette validation.

Par rapport à cette partie de l'arrondissement Ville-Marie, la mise à l'épreuve consiste à considérer la production par un modèle définissant des actions de résultats visibles traduisant l'application d'articles du règlement d'urbanisme montréalais. Il s'agit d'articles susceptibles d'être définis de façon géométrique. De plus, pour souligner les capacités de production de structures définissant des actions par la modélisation d'actions, la mise à l'épreuve a également consisté à montrer des possibilités de répartition d'informations par cette modélisation. Ces informations peuvent être relatives à des usages connus pour des espaces de cette partie de l'arrondissement par exemple.

Les épreuves pour la validation de la proposition de modéliser des actions pour la figuration d'un résultat sont présentées au prochain chapitre.

9.1. Modélisation d'une structure définissant des actions—La lampe Tizio

Au chapitre précédent, un objectif a été fixé pour la figuration de la lampe Tizio. Cet objectif visait à modéliser une structure définissant des actions permettant de traduire les caractéristiques visibles de cette lampe et l'articulation de ses bras. Pour ce faire, seule la lampe nous est donnée à voir, autrement dit le résultat d'un processus de conception uniquement. La modélisation de cette structure définissant des actions dépend alors de notre compréhension de cette lampe et des objectifs fixés pour le résultat de cette modélisation.

Ci-dessous, une description rendant compte de notre compréhension de la lampe est tout d'abord présentée. Basée sur cette compréhension, une stratégie de modélisation



Figure 21 : Trois lampes Tizio sous trois positions différentes

d'actions permettant d'atteindre l'objectif visé est ensuite décrite. Les résultats présentés en dernier sont obtenus en mettant en application cette stratégie.

9.1.1. Description de la lampe

La lampe Tizio présentée en figure 21 est faite de différentes pièces. En fonction de la distribution de ces pièces et de leur articulation, trois parties peuvent être distinguées dans la lampe, un pied, deux bras et un diffuseur de lumière.

À la base de la lampe, le pied est composé d'un socle et de deux barres verticales. Le socle de forme cylindrique est muni de fentes d'aération et renferme un transformateur électrique. Par sa fonction, ce transformateur permet d'alimenter en énergie l'ampoule à halogène du diffuseur de lumière et, par son poids, il assure une stabilité à la lampe. À ce socle sont jointes de part et d'autre d'un diamètre deux barres métalliques de forme aplatie et arrondie sur les bords. Ces barres sont fixes et orientées dans le sens de leur longueur à la verticale. Elles sont jointes à leur extrémité supérieure par une tige qui sert de pivot et d'appui à un bras de l'articulation de la lampe. Un examen rapproché de cette tige permet de distinguer un axe métallique, des rondelles et des pièces en matière plastique rouge en forme de cône.

L'articulation de la lampe comprend deux bras. Ces bras sont articulés autour d'une tige semblable à celle fixée au pied de la lampe. Ils sont de largeur et de longueur différentes et formés avec des barres ayant la même forme en section que les barres verticales attachées au socle. La largeur des bras dépend de l'écartement de leurs deux barres. En partant des barres attachées au socle vers le diffuseur de lumière, cet écartement diminue à chaque emboîtement de deux barres avec deux autres et la longueur des bras, quant à elle, augmente.

À une extrémité de chaque bras de la lampe se trouve une pièce au profil en forme d'arc de cercle servant de contrepoids à l'articulation. Chaque contrepoids est lié aux deux barres d'un bras par une pièce en matière plastique. Au nombre de deux, ces contrepoids sont de dimensions différentes qui dépendent du poids qu'il y a à équilibrer, de la longueur des bras auxquels ils sont attachés et de la position des tiges qui servent de pivot à l'articulation. À partir des extrémités où se trouvent les contrepoids, la position de ces tiges est au tiers de la longueur de chaque bras. Le bras le plus proche du socle a pour autre extrémité la tige sur laquelle repose le second bras qui lui a pour autre extrémité le diffuseur de lumière renfermant une ampoule à halogène. La figure 22 présente le diffuseur de lumière et un détail des barres formant les bras de la lampe. En figure 21 sont reproduites trois lampes Tizio avec des positions différentes de leurs bras.

Cette description de la lampe Tizio permet de distinguer au moins deux caractéristiques pour cet objet. Tout d'abord, les différentes pièces de la lampe peuvent

être groupées par rapport à la définition de leur forme. Il est possible de distinguer huit différents types de pièces : un socle, six barres, trois tiges, six rondelles, six pièces en forme de cône, deux contrepoids, deux pièces de jointure et un diffuseur de lumière. Pour chaque type de pièce cité, les dimensions peuvent être différentes mais la définition de la forme géométrique reste semblable. Par exemple, dans le cas des barres des bras de la lampe seule leur longueur varie.

La seconde caractéristique qui peut être distinguée de cette description de la lampe Tizio est relative à la façon dont les pièces sont liées entre elles. Les liaisons des pièces ont été comprises comme étant de nature soit dimensionnelle, soit topologique. Par exemple, au niveau dimensionnel, la longueur d'une tige servant à l'articulation de la lampe a été décrite comme dépendante de l'écartement des barres des bras qu'elle permet de maintenir ensemble. Par ailleurs, au niveau topologique, la position de cette tige par rapport à un bras de l'articulation a été mise en relation avec la longueur de ce bras.



Figure 22 : Diffuseur et détail d'un bras de la lampe Tizio

Dans ce qui suit, une stratégie de modélisation d'actions basée sur cette compréhension de la lampe Tizio est présentée.

9.1.2. Stratégie de modélisation

Une figuration de la lampe Tizio peut être obtenue en disposant de définitions d'actions permettant à la fois d'obtenir des caractéristiques visibles des pièces qui la composent et de spécifier des liens entre ces pièces. Ces définitions peuvent être traduites en un langage symbolique que l'ordinateur pourra ensuite interpréter pour produire des images de cette lampe. En langage Scheme^o, ces définitions peuvent être traduites sous la forme de *fonctions*¹ auxquelles peuvent être associés des arguments. Les arguments d'une *fonction* sont les données dont peut avoir besoin une définition pour produire un résultat.

- *Des définitions traduites en fonctions*

Chaque pièce de la lampe Tizio possède des caractéristiques visibles présentes dans sa forme. Les différentes formes d'un type de pièce de la lampe proviennent d'une même définition géométrique où certaines caractéristiques sont variables. Ces formes peuvent être d'une ou plusieurs couleurs. En langage Scheme^o, les définitions géométriques peuvent être traduites sous une expression de *fonctions*, auxquelles définitions peuvent également être assignées des couleurs. Cette assignation de couleurs peut se faire par une *fonction* qui combine des couleurs élémentaires et les associe à des définitions de formes géométriques.

La définition de la forme d'un type de pièce peut être produite par des *fonctions* faisant appel à des équations mathématiques. Une équation mathématique d'une forme est l'expression algébrique de sa géométrie. Une même équation mathématique avec paramètres permet de définir plusieurs formes géométriques ayant des propriétés communes. Par exemple, en géométrie euclidienne, pour des valeurs différentes du paramètre r (rayon du cercle) de l'équation $x^2 + y^2 = r^2$ il est possible d'obtenir des cercles de grandeurs différentes situés à une origine o . Cette équation mathématique n'est pas le cercle mais traduit une façon de l'obtenir par rapport à un système de coordonnées bidimensionnel. Pour obtenir avec cette équation un cercle de rayon r , il est nécessaire de fixer des valeurs pour les coordonnées x ou y de chaque point de ce cercle dont le centre est situé à l'intersection d'un repère d'axes.

Avec le système géométrique SGDL^o retenu pour la définition de formes, une *fonction* nécessitant la spécification de six points² dans l'espace permet de définir

¹ Pour le détail de la programmation en Scheme^o et de la définition d'une fonction dans ce langage, voir H. Abelson *et al.* (1989).

² Voir annexe I pour l'initialisation des points de la quadrique du système SGDL^o.

l'ensemble des formes géométriques de la famille des quadriques (sphère, ellipsoïde, hyperboloïde, etc.). Ces six points correspondent aux paramètres d'une équation mathématique unique. Autrement dit, avec ce système SGDL^o la définition d'une forme géométrique peut se faire au travers de manipulations d'une même série de points. Ensuite, pour obtenir des formes géométriques composées, des opérateurs volumiques (arithmétiques et logiques), comme une addition ou une soustraction par exemple, des prédicats permettant de filtrer des densités attribuées à des régions de l'espace et des *fonctions* pour la transformation ponctuelle peuvent être considérés.

Le système SGDL^o peut être mis à contribution pour la définition des formes de chaque type de pièce de la lampe Tizio en considérant un repère à trois axes ayant une orientation en x, y et z. À l'origine et par rapport à l'orientation de ce repère, chaque type de pièce peut être défini séparément. Autrement dit, la position de chacun des six points des quadriques entrant dans la définition d'un type de pièce peut être référencée à une origine à même la pièce. Le positionnement de ces points peut être décrit au moyen de *fonctions* du langage Scheme^o.

En ce langage, une *fonction* peut être écrite pour composer et définir des primitives géométriques comme les quadriques. Pour désigner une définition, un nom peut également être affecté à une *fonction*. Chaque type de pièce de la lampe Tizio peut ainsi être défini dans sa forme par une *fonction* portant le nom de son résultat. Ci-dessous, en [1], l'exemple de la traduction en Scheme^o de la définition géométrique d'une rondelle de la lampe Tizio au moyen du système SGDL^o est présenté. Cet exemple est complété en [2], par la *fonction* définissant un cylindre orienté selon l'axe des z à laquelle fait référence la définition de la rondelle.

```
(define (rondelle r1 l1 r2 l2 r3)
  (predicat '(= 2)
    (soustraction
      (addition
        (cylindre_z r1 l1)
        (place
          (list
            (mat_translation 0 0 (- (/ (+ l1 l2) 2))))
            (cylindre_z r2 l2))
          (place
            (list
              (mat_translation 0 0 (/ (+ l1 l2) 2)))
              (cylindre_z r2 l2)))
            (cylindre_z r3 (+ l1 (* l2 2)))
          )))
  )))
```

[1]

```
(define (cylindre_z r h)
  (predicat '(= 2)
    (soustraction
      (quadrique
        (list
          (list (- r) 0 0 1)
          (list r 0 0 1)
          (list 0 1 0 0)
          (list 0 0 1 0)
          (list 0 r 0 1)
          (list 0 0 1 0)))
        (quadrique
          (list
            (list 0 0 (- (/ h 2)) 1)
            (list 0 0 (/ h 2) 1)
            (list 0 1 0 0)
            (list 1 0 0 0)
            (list 0 1 0 0)
            (list 1 0 0 0)))
          )))
  )))
```

[2]

Les deux *fonctions* présentées en [1] et en [2] sont accompagnées d'arguments. Ces arguments permettent de considérer des variables pour les définitions des pièces de la lampe. La définition du cylindre, en [2] par exemple, a pour arguments deux variables, son rayon (r) et sa hauteur (h). Ces variables peuvent être distribuées par les *fonctions* qui font appel à cette définition, comme dans le cas de la *fonction* en [1] où des valeurs différentes (r_1, r_2, r_3 et l_1, l_2) sont affectées en arguments à la *fonction* qui définit le cylindre. Cependant, pour la *fonction* définissant une rondelle, ces variables sont fixées ailleurs, c'est-à-dire par d'autres *fonctions* décrivant la façon de lier ensemble les différentes définitions de pièces de la lampe.

- *Une structure de définitions*

La lampe Tizio peut être définie par structuration des définitions de ses pièces. Il s'agit de donner une définition de la lampe en décrivant la manière dont ses différentes pièces y sont disposées et liées. Pour ce faire, il est possible d'envisager deux opérations de structuration visant à définir, pour l'une, les différentes parties reconnues pour la lampe, c'est-à-dire le pied, les deux bras et le diffuseur de lumière, et pour l'autre, la lampe dans ses parties ainsi obtenues en vue de rendre compte du mouvement de ses bras.

En langage Scheme^o, la structure de définitions peut également être traduite sous la forme de *fonctions*. Des *fonctions* peuvent être écrites pour traduire les définitions des structures de la lampe et de ses parties. L'écriture de ces *fonctions* consiste à décrire la façon de disposer dans un espace chaque définition de partie ou de pièce et de déterminer pour chacune de ces définitions les variables qui sont en argument des *fonctions* qui les traduisent.

La traduction de dispositions dans l'espace de définitions de formes, les unes par rapport aux autres, peut être réalisée au moyen de matrices de transformations ponctuelles. Par exemple, pour ramener une définition de forme de l'origine d'un repère d'axes à un autre point dans l'espace et suivant une certaine orientation, il peut être nécessaire de recourir à des translations ou des rotations de cette définition. Ces transformations ponctuelles peuvent être traduites algébriquement sous forme de matrices ou de produits matriciels et, en langage Scheme^o, par une *fonction*. Cette *fonction* peut alors être intégrée à la définition de la lampe ou une de ses parties lorsqu'il s'agit de définir des structures de parties ou de pièces. De plus, elle peut également avoir pour arguments des variables pouvant être fixées par d'autres définitions. Ces variables permettent alors de considérer des positions différentes des pièces ou parties de la lampe dans l'espace.

La valeur des arguments de chaque *fonction* particulière peut être établie par les *fonctions* générales qui font appel à cette *fonction* particulière. Selon l'objectif visé pour la structuration des définitions de la lampe Tizio, la façon de déterminer un argument

```

(define
  (TIZIO
    diam hb dtige ep          ; diamètre du socle, hauteur de la base, etc.
    rotb roth rott           ; angles de rotation des bras bas et haut et du diffuseur
    cb cs cp cpa ct         ; couleurs des différentes pièces
  )

  (let*
    ((lb1 (+ dtige hb))
     (lb2 (* 2.5 dtige))
     (lb3 (* 3.5 dtige))
     (lag1 (/ dtige 10))
     (lag2 (* 1.5 (/ lag1 2)))
     (lag3 (* 1.2 (/ lag1 2)))
     (ecb1 (/ (- diam ep) 2))
     (ecb2 (* 0.85 ecb1))
     (ecb3 (* 0.83 ecb2)))
    (assembler
      (PIED diam hb lag1 lb1 ep ecb1 cb cs)
      (placer
        (bouger
          (tourner_sur_z rotb)
          (déplacer 0 (- lb1 (/ lag1 2)) 0))
        (assembler
          (TIGE (* 2 ecb1))
          (BRAS_BAS lb2 lag2 ep ecb2 cb cp cpa)
          (placer
            (bouger
              (tourner_sur_z roth)
              (déplacer (- (- lb2 (/ lag3 2))) 0 0))
            (associer
              (lumiere 3.0 '(-30 0 0 1))
              (DIFFUSEUR
                (- (* 2 ecb3) (* 2 ep)) ct cs)))
          ))))
    (placer
      (bouger
        (tourner_sur_z roth)
        (déplacer (- (- lb2 (/ lb2 3.5)) (/ lag2 2))) 0 0))
      (assembler
        (TIGE (* 2 ecb2))
        (BRAS_HAUT lb3 lag3 ep ecb3 cb cp cpa)
        (placer
          (bouger
            (tourner_sur_z roth)
            (déplacer (- (- lb2 (/ lag3 2))) 0 0))
          (associer
            (lumiere 3.0 '(-30 0 0 1))
            (DIFFUSEUR
              (- (* 2 ecb3) (* 2 ep)) ct cs)))
          ))))
    ))))
  )

```

[suite....↗]

[3]

variable d'une *fonction* par une autre peut être différente. Si l'objectif pour la structuration des définitions de la lampe est de pouvoir varier les dimensions de son pied, la position de ses bras et les couleurs de ses parties alors les valeurs de ces dimensions, des paramètres de positionnement et de ces couleurs peuvent provenir à chaque définition de partie ou de pièce du plus haut niveau de la structure de la lampe. La *fonction* décrivant la structure de la lampe peut alors prendre pour arguments ces dimensions, paramètres de positionnement et couleurs puis ensuite les transmettre aux différentes définitions où ces valeurs peuvent être nécessaires pour fixer les variables qui en sont dépendantes.

À titre d'exemple¹, en [3], la *fonction* nommée TIZIO qui structure les définitions des parties de la lampe est présentée. Les six expressions en caractères gras du corps de la *fonction* correspondent aux *fonctions* de définition des parties de la lampe. En figure 23 nous avons schématisé la structure de la *fonction* TIZIO.

9.1.3. Résultats

Le traitement par ordinateur des *fonctions* écrites pour définir la façon de produire les caractéristiques visibles de la lampe Tizio permet d'obtenir différentes images de cette

¹ De manière à faciliter la lecture de la *fonction*, nous avons préféré présenter un pseudo-code au lieu du code Scheme[®] original. Pour un exemple du code original, voir les *fonctions* présentées en [1] et [2] dans cette section de chapitre.

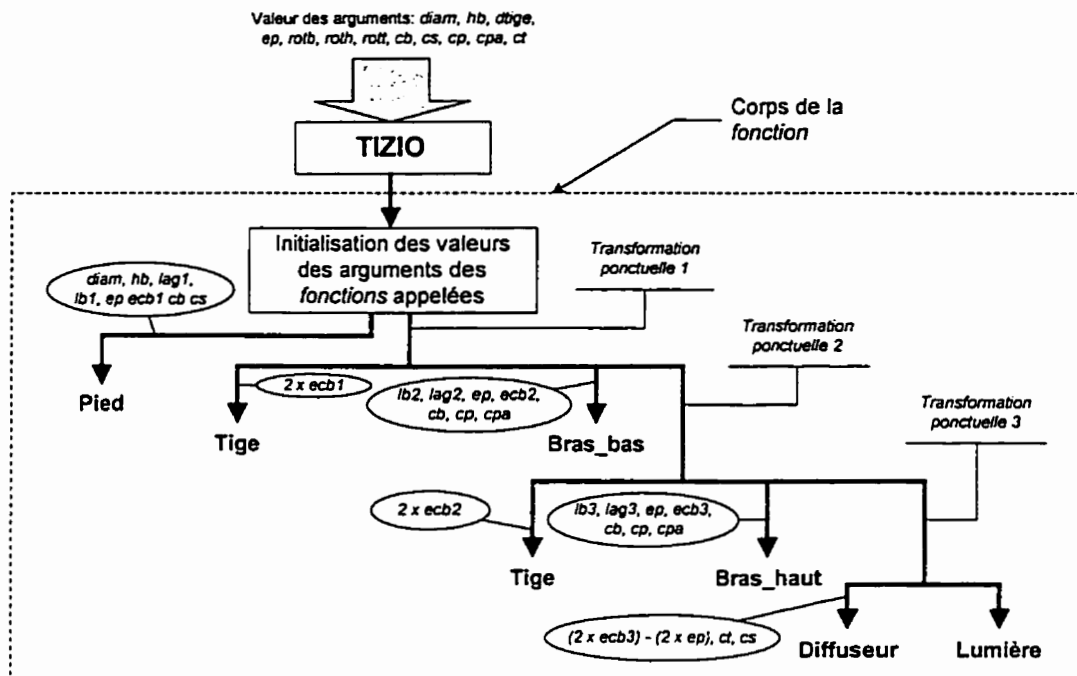


Figure 23 : Structure de la fonction TIZIO

lampe. En effet, en faisant évaluer les *fonctions* écrites par l'interpréteur du langage Scheme^o et le système SGDL^o, des images de la lampe peuvent être générées.

Cinq images de cette lampe, réparties entre les figures 24 à 26, sont présentées ci-dessous. Tout d'abord, à partir des *fonctions* écrites pour la définition de la lampe, les images relatives à chacune des parties peuvent être générée séparément. Par exemple, en fixant les valeurs des arguments des *fonctions* de définition du pied et d'un bras de la lampe, il est possible de produire les images présentées en figure 24.

Ensuite, avec trois séries de valeurs différentes pour les arguments de la *fonction* TIZIO, les images suivantes ont pu être obtenues. En figure 25 par exemple, deux images présentent la lampe, avec une certaine position pour ses bras, une fois en jaune et une autre fois en rouge. La couleur de certaines pièces de la lampe a pu être modifiée parce que sa valeur a été considérée variable et a été mise en argument de la *fonction* TIZIO.

De la même façon enfin, en figures 26, l'image présente la lampe avec une position différente pour ses bras. Par rapport aux lampes de la figure 25, les bras de celle-ci ont été dirigés vers le haut et l'ampoule attachée au diffuseur de lumière a suivi leur mouvement. De plus, à l'exception des tiges servant de pivot à l'articulation des bras, la couleur des pièces de la lampe a également changé pour devenir noire.

Comme le montrent les résultats en image présentés dans les trois dernières figures, l'objectif qui visait à modéliser une structure définissant des actions permettant de produire

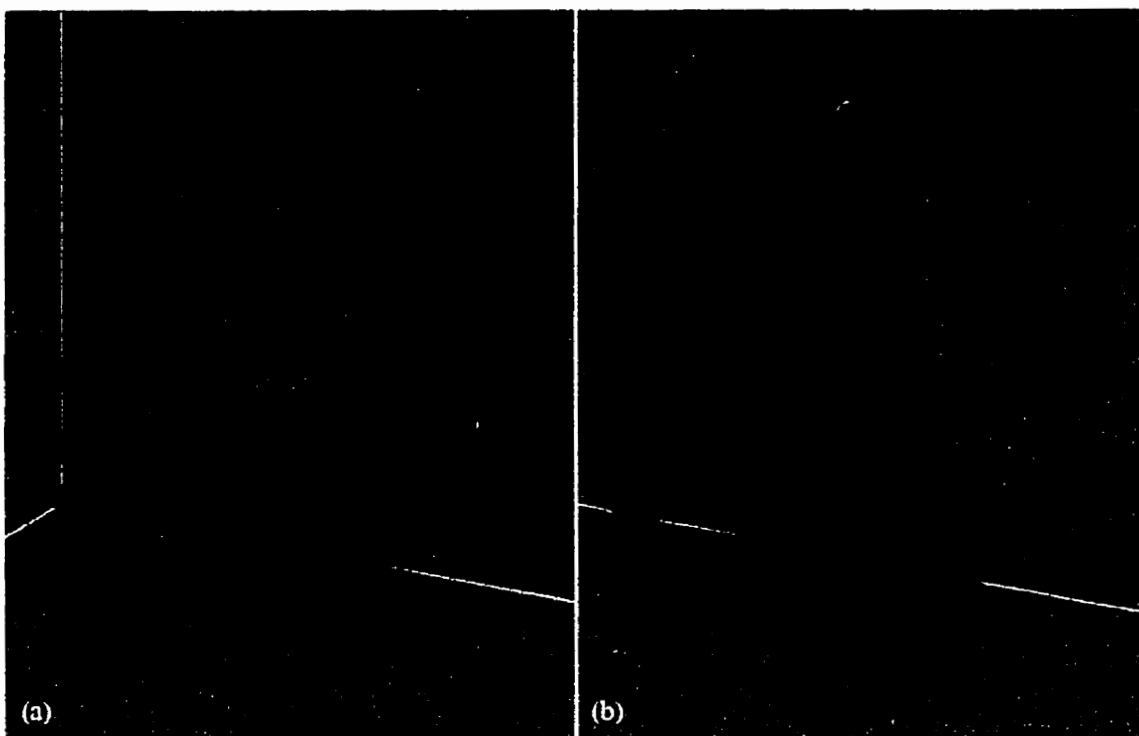


Figure 24 : Détail du bras (a) et détail du socle (b) de la lampe Tizio

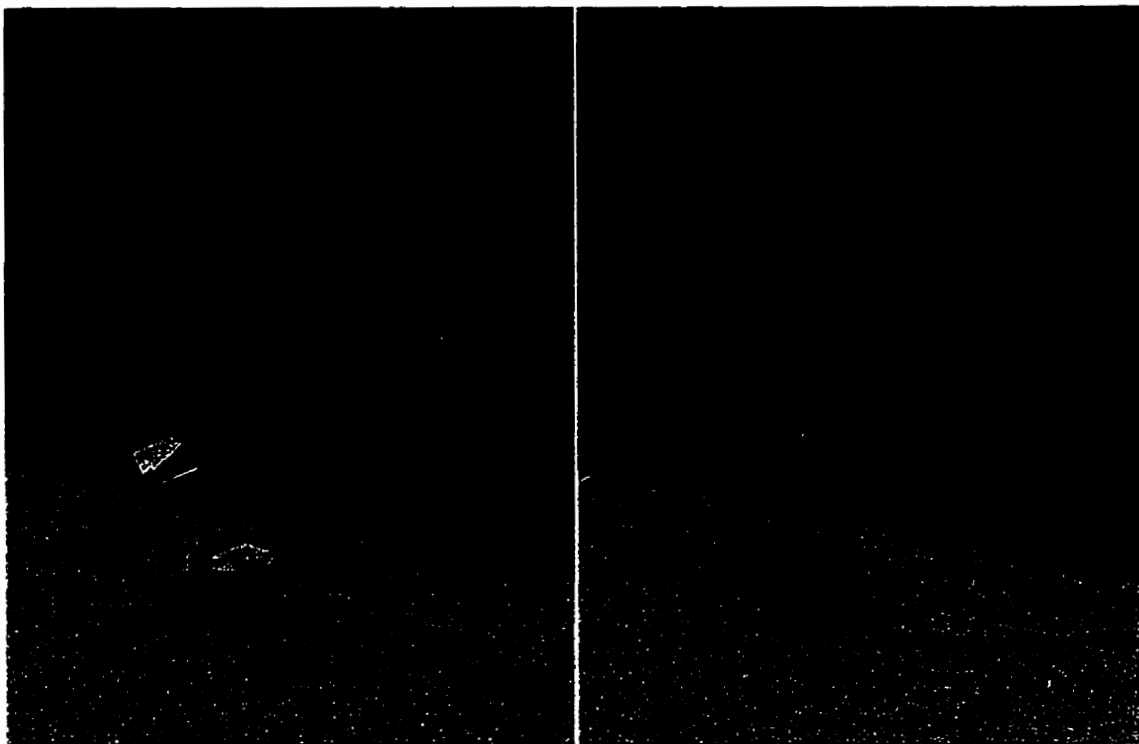


Figure 25 : La lampe Tizio avec des couleurs différentes pour ses parties

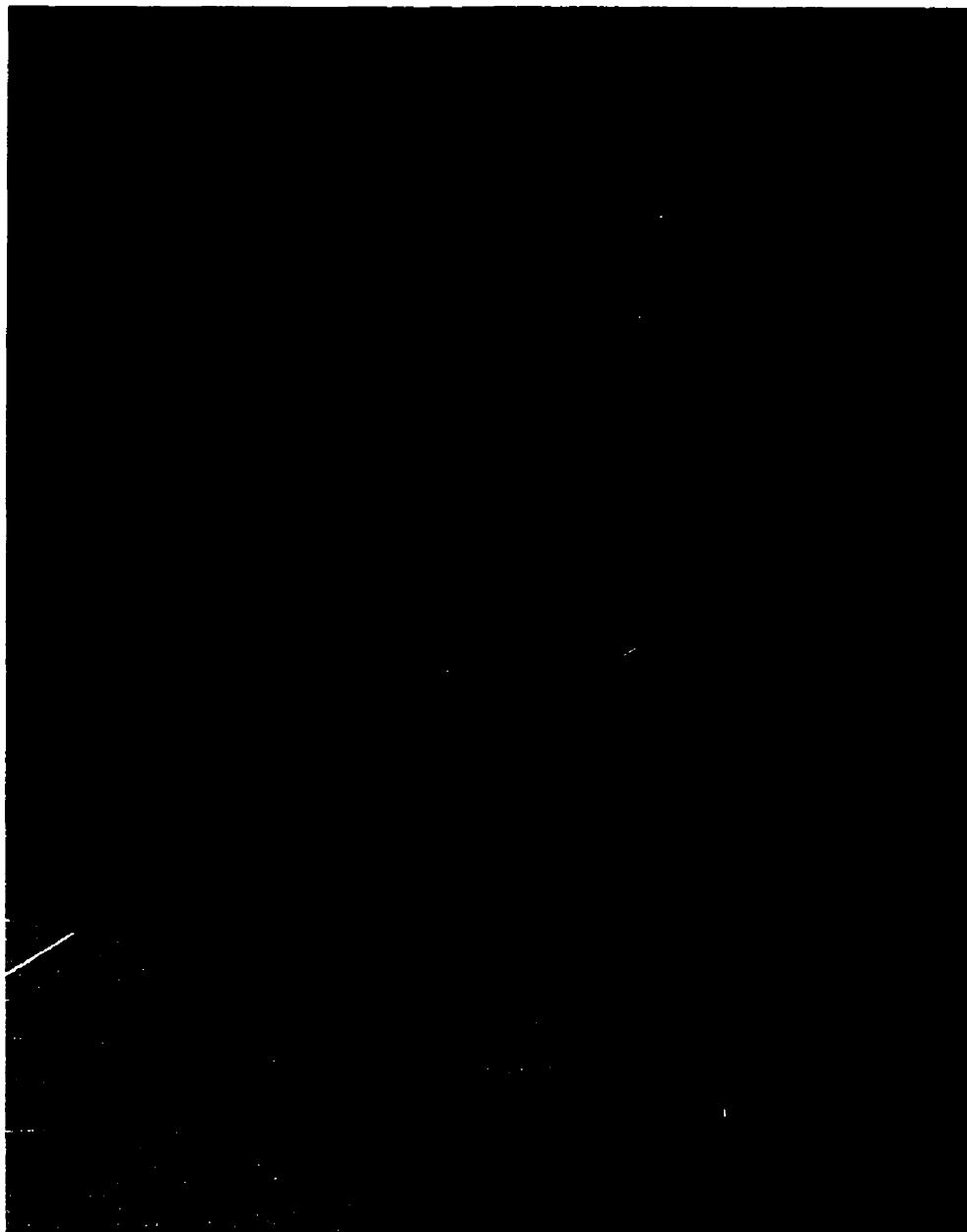


Figure 26 : La lampe Tizio avec les bras orientés vers le haut et la lumière ayant suivi la position de ces bras

les caractéristiques visibles de la lampe Tizio et le mouvement de ses bras a pu être atteint. À partir d'une traduction en *fonctions* du langage Scheme⁹ de définitions de pièces et de parties de la lampe, il a été possible non seulement de rendre compte des caractéristiques visibles de la lampe mais également d'accéder à leur définition en considérant certaines variables. Ces variables et la décomposition de la lampe sont issues d'une compréhension de la lampe qui a été décrite.

9.2. Modélisation d'une façon de produire des structures définissant des actions—La construction de l'église Saint-Eustache à Paris

En retenant l'église Saint-Eustache à Paris comme exemple (voir photos en figures 27 et 28), l'objectif était de modéliser une façon de produire différentes structures définissant des actions. Avec l'exemple de la lampe Tizio, nous avons pu voir qu'une structure définissant des actions pouvait être modélisée et qu'il était possible de rendre compte des caractéristiques visibles de son résultat. Dans cette section du chapitre, le but est de définir une façon d'obtenir différentes structures définissant des actions de manière à pouvoir rendre compte des caractéristiques visibles de différents résultats possibles. Par la façon qu'elle a pu être construite dans l'espace et dans le temps, l'église Saint-Eustache à Paris se prête à l'illustration d'une modélisation de la façon de produire des structures définissant des actions. En considérant plusieurs structures définissant des actions, il est possible d'envisager différentes hypothèses quant à la façon dont cette église aurait pu être édifiée.



Figure 27 : Vue extérieure de l'église Saint-Eustache à Paris



Figure 28 : Vue intérieure de l'église Saint-Eustache à Paris

Pour disposer d'une compréhension minimale de la façon dont les actions auraient pu être organisées pour réaliser cet édifice, une étude de documents historiques relatifs à l'église et sa construction a d'abord été entreprise. Cette étude permet de voir quelques régularités quant aux lieux, moments et actions qui auraient pu être considérés par les constructeurs de l'église. Ensuite, une stratégie de modélisation d'actions basée sur cette compréhension a été élaborée. Cette stratégie de modélisation consiste à traduire en un langage symbolique une façon de produire différentes structures définissant des actions. La mise en pratique de cette stratégie permet d'obtenir des résultats qui sont illustrés par des images présentées plus loin.

9.2.1. L'église et sa construction

L'église Saint-Eustache à Paris est présentée en annexe II. Sa construction a duré plus d'un siècle et elle est relativement peu documentée. Faute de ressources financières, les travaux de construction de l'église ont dû être interrompus à plusieurs reprises. Pour

essayer de reconstituer la façon dont les travaux ont été réalisés durant cette longue période, les historiens s'en remettent pour la plupart à quatre types de sources documentaires : (1) les dates parfois inscrites sur certaines pierres de l'église, (2) les registres de comptabilité de l'église, (3) les dates se rapportant à la consécration, la décoration ou encore la concession de chapelles ainsi que d'autres parties de l'église, et enfin, (4) les descriptions et récits de quelques auteurs de cette période.

Dans le texte qui suit, un compte rendu sommaire présente le résultat de l'étude comparée d'écrits, parfois contradictoires, de différents historiens ayant documenté la construction de cette église. En figure 29, les dates de construction des différentes parties de cette église découlant de cette étude sont mentionnées sur une projection en plan de cet édifice. Cette figure permet de voir où et quand des actions ont été posées par les constructeurs de l'église. Le plan qui sert de fond à cette figure témoigne du résultat de ces actions mais également de toutes les autres actions qui ont permis la réalisation du projet de l'église.

La première pierre de l'église Saint-Eustache à Paris a été posée en août 1532 alors qu'une ancienne église occupait encore le centre de ce qui allait devenir plus tard son chœur (Dumoulin et Ourtadel, 1936). De 1540 à 1589 pour l'abbé Kœnig (1878) et de 1532 à 1589 pour l'architecte V. Calliat (1850), les anciens documents écrits ne révèlent rien « qui puisse se rapporter à la construction si ce n'est qu'en 1537 les ouvriers furent payés sur le produit d'aumônes » (Calliat, 1850, p.18). Seules des dates inscrites sur des piles de l'église permettent de documenter un peu plus cette période. Ainsi, l'abbé Kœnig (1878) note l'année 1537 sur la grosse pile de gauche de la nef et conclut que quatre grandes piles de celle-ci devaient déjà être construites à cette date. L'auteur emploie les qualificatifs de « grosse et grandes » piles d'une nef qu'il décrit s'étendre le long de l'axe Ouest/Est de l'église ce qui laisse penser qu'il s'agit des quatre piles de la croisée du transept. V. Calliat (1850), quant à lui, remarque sur les trois premières piles de la nef, à droite en entrant dans l'église, l'inscription de 1578. De plus, il déduit à partir d'un passage d'un registre de la paroisse qu'en 1589 le chantier devait être en pleine activité.

Cette activité du chantier de construction, en 1589, est confirmée par A. Boinet (1910, pp. 176-177) ainsi que M. Dumoulin et G. Ourtadel (1936) qui remarquent cependant, en se basant sur d'autres inscriptions encore, que d'autres travaux antérieurs à cette année avaient également été réalisés. D'après ces auteurs, les travaux semblent avoir commencés par le transept et les quatre premières chapelles du bas-côté Nord du chœur qui portent des dates allant de 1537 à 1545. A. Boinet (1910) indique, sans les nommer, qu'en 1536, Gui, évêque de Mégaré, avait consacré quatre autels et cinq autres en 1549. Une première interruption des travaux aurait eu lieu de 1550 à 1570 et les travaux

auraient alors été repris par la nef suivie de ses chapelles au Sud et de son bas côté Nord accompagné de ses chapelles (Dumoulin et Ourtadel, 1936; Boinet, 1910). Deux piles au Sud et les trois premières du bas-côté correspondant portent l'inscription de 1578.

Un nouvel arrêt des travaux est survenu vers la fin du XVI^{ème} siècle et s'est prolongé jusqu'au début du siècle suivant. Ces travaux semblent avoir été repris par les anciennes tours de la façade Ouest commencées en 1615 mais de nouveau interrompus en 1617 (Dumoulin et Ourtadel, 1936). D'après V. Calliat (1850, p.18) et l'abbé Kœnig (1878), les travaux n'auraient été repris qu'en 1624 par le chœur. Mais des inscriptions figurant sur les voûtes des bas-côtés de la nef et leurs chapelles (les 5 au Sud et les 5 au Nord) indiquent des dates allant de 1618 à 1622, ce qui montre que des travaux avaient eu lieu avant 1624 (Dumoulin et Ourtadel, 1936).

À partir de 1624, les travaux de construction ont été accélérés. En 1624, la construction du chœur s'était poursuivie par le bas côté Nord alors que la vieille église était déjà rasée (Dumoulin et Ourtadel, 1936; Kœnig, 1878). De 1627 à 1629, les piles séparant les deux bas-côtés, les chapelles voisines ainsi que les murs jusqu'à hauteur des voûtes du chœur et de l'abside étaient élevés (Dumoulin et Ourtadel, 1936). En 1630, les voûtes ont été posées et le verrier montait les vitraux (Dumoulin et Ourtadel, 1936). En 1632, la grande voûte de la nef était posée et une année plus tard le chœur de l'église a été parachevé (Boinet, 1910; Calliat, 1850; Kœnig, 1878). De 1633 à 1634, les voûtes du transept furent installées. (Dumoulin et Ourtadel, 1936). De 1635 à 1637, les voûtes de la nef ainsi que ses arcs-boutants furent élevées. (Dumoulin et Ourtadel, 1936; Kœnig, 1878; Boinet, 1910).

Au moment de la consécration de la nouvelle église, le 26 avril 1637, la construction n'était pas encore tout à fait terminée. De 1638 à 1640, le mur du fond, la chapelle centrale et le portail Nord ont été complétés (Dumoulin et Ourtadel, 1936). Ce n'est qu'en 1642, après que tous les travaux de sculpture et de décoration intérieure avaient été exécutés, que la construction de l'église pouvait être considérée comme achevée (Kœnig, 1878). Mais seulement quelque temps plus tard de nouveaux travaux durent être entrepris pour démolir et rebâtir la façade principale.

De nouveaux aménagements des deux premières chapelles à l'entrée de l'église ont provoqué des tassements entraînant une déstabilisation de la structure de la façade qui dû alors être démolie par crainte d'effondrement. Cette démolition avait nécessité la destruction de la première travée de la nef, incluant ses deux bas-côtés et les deux chapelles correspondantes (Dumoulin et Ourtadel, 1936; Kœnig, 1878). Le 22 mai 1754, le duc de Chartres avait posé la première pierre de l'actuelle façade dont la construction avait débuté le 30 juillet 1756. Les plans de la nouvelle façade avaient été dessinés par J. Hardouin-

Mansard de Jouy qui avait suivi les travaux de construction jusqu'au premier étage où ils furent interrompus (Dumoulin et Ourtadel, 1936). P.-L. Moreau-Desproux avait repris les travaux de 1772 à 1778 en modifiant les plans initiaux et en laissant à son tour la façade inachevée (Dumoulin et Ourtadel, 1936; Kœnig 1878; Calliat, 1850).

Par la suite, l'église Saint-Eustache n'a cessé de connaître des travaux de construction. Par exemple, de 1801 à 1804, la chapelle centrale a dû être reconstruite (Dumoulin et Ourtadel, 1936). En 1844, un incendie avait détruit l'orgue de l'église et détérioré les trois premières travées de la nef, ce qui a nécessité une restauration entreprise entre les années 1846 et 1854 (Dumoulin et Ourtadel, 1936).

Finalement, la conception de l'église Saint-Eustache à Paris a impliqué une organisation d'actions par différents groupes d'acteurs ayant agi à des moments et en des lieux différents. Chaque groupe d'acteurs a, pendant la réalisation du projet de l'église, défini une structure définissant des actions qui a permis d'obtenir un certain résultat pouvant être référencé dans le temps et l'espace. Mises en commun, ces structures définissant des actions ont permis, par leurs résultats respectifs, d'obtenir l'église toute entière.

La mise en commun de ces structures a été réalisée par référence à leurs résultats respectifs. Une structure définissant des actions pouvait être référencée par rapport au résultat d'une autre structure définissant des actions, comme par exemple dans le cas d'une série de piles en attente d'un recouvrement de voûtes. En organisant leurs actions, les acteurs de chaque période de la réalisation du projet ont pris pour référence spatiale non pas un système de repère général commun, établi pour toute l'église, mais un repère changeant, c'est-à-dire en fonction de là où les actions allaient être considérées.

Dans ce qui suit, il s'agit de modéliser une façon de produire différentes structures définissant des actions à partir desquelles il est possible de rendre compte de caractéristiques visibles de l'église Saint-Eustache à Paris à différents stades de son développement.

9.2.2. Stratégie de modélisation

La modélisation de la façon de produire des structures définissant des actions peut être envisagée en disposant d'une méthode pour traduire en un modèle des actions et leurs liaisons. Dans le cadre de l'exemple de l'église Saint-Eustache à Paris, l'objectif pour la modélisation est de pouvoir traduire visuellement le résultat de différentes façons d'organiser des actions. Il s'agit de rendre compte des caractéristiques visibles des résultats d'actions organisées de façons différentes mais à partir d'un même modèle définissant des actions.

Avec l'exemple de la lampe Tizio, il a été possible de voir que des actions pouvaient être traduites sous la forme de *fonctions* d'un langage symbolique, Scheme^o, et d'obtenir ainsi, après des évaluations informatiques de ces *fonctions*, des images de leurs résultats. Si l'on considère qu'une organisation qui produit des structures définissant des actions constitue également une activité alors, de la même façon, il est possible d'envisager la traduction de la façon de structurer des actions sous la forme de *fonctions* en langage Scheme^o. Pour construire une structure définissant des actions, une *fonction* peut alors avoir (i) à fournir des données aux arguments des *fonctions* définissant des actions, (ii) à considérer une association de ces définitions, (iii) à établir entre ces définitions des liaisons d'ordre spatial et (iv) à compléter, s'il y a lieu, ces définitions par certaines propriétés comme par exemple une couleur ou un déplacement.

Dans ce qui suit, une homogénéisation des arguments des *fonctions* traduisant des définitions d'actions productrices de formes est tout d'abord envisagée. Il s'agit, tout en maintenant la possibilité d'obtenir des résultats variables, de donner aux arguments de ces *fonctions* une expression semblable de manière à permettre la détermination de leurs valeurs par des *fonctions* organisatrices. Par la suite, une façon d'associer et de définir des liaisons entre les définitions d'actions dans un espace tridimensionnel est présentée. L'association permettra d'indiquer aux *fonctions* organisatrices quelle action est liée à quelle autre et la définition de leur liaison permettra de les réunir dans un espace tridimensionnel. Comme l'étude de la réalisation de l'église Saint-Eustache a permis de le constater, les références spatiales pour une structure définissant des actions peuvent être non pas uniques, comparativement au repère d'axes de la lampe Tizio, mais relatives à d'autres structures définissant des actions. Il s'agit donc de considérer un repérage spatial relatif de définitions, où il est tenu compte des liaisons déclarées entre ces définitions. En dernier lieu, la production de structures définissant des actions par des *fonctions* spécifiques est introduite. La définition de ces *fonctions* dépend de la manière dont les actions et leurs liaisons sont traduites en langage Scheme^o. La méthode considérée pour définir ces *fonctions* permet d'enrichir des structures définissant des actions par des définitions d'actions complémentaires.

- *Des arguments homogénéisés*

Une action qui permet d'obtenir une forme visible est réalisée dans un espace tridimensionnel. Dans cet espace, chaque action produisant des formes visibles peut être identifiée par rapport à un lieu localisable et susceptible d'être délimité par un volume englobant. En termes géométriques, une action peut produire un résultat en un volume v orienté dans trois directions dx , dy et dz et situé en un point o de l'espace. À cet effet, n'importe quelle définition de volume peut convenir.

Pour homogénéiser les arguments des *fonctions* définissant des actions, il est possible de considérer un hexaèdre. En tant que polyèdre convexe régulier, un hexaèdre permet de faire coïncider ses surfaces avec la plupart des surfaces résultant d'actions qui produisent des formes comportant des surfaces planes, comme un mur ou un plancher par exemple. Avec un hexaèdre, il est possible de resserrer le plus possible la caractérisation de lieux d'actions qui produisent des formes polyédriques comme dans le cas d'un bâtiment.

Les arguments de *fonctions* définissant des actions productrices de formes peuvent alors être cinq points permettant de définir un hexaèdre de référence. Les deux premiers points fixent les dimensions et les trois derniers orientent cet hexaèdre. Le premier point, le centre de la base de l'hexaèdre, localise le lieu d'une action et le second point, un de ses sommets à l'opposé de sa base, détermine les grandeurs de ses arêtes. Les trois autres points constituent des vecteurs et indiquent les directions en x, en y et en z des faces de l'hexaèdre. En langage Scheme^o, ces arguments peuvent alors être exprimés par les variables $p1$, pa , dx , dy et dz respectivement centre, sommet et points à l'infini des lignes d'arêtes de l'hexaèdre de référence.

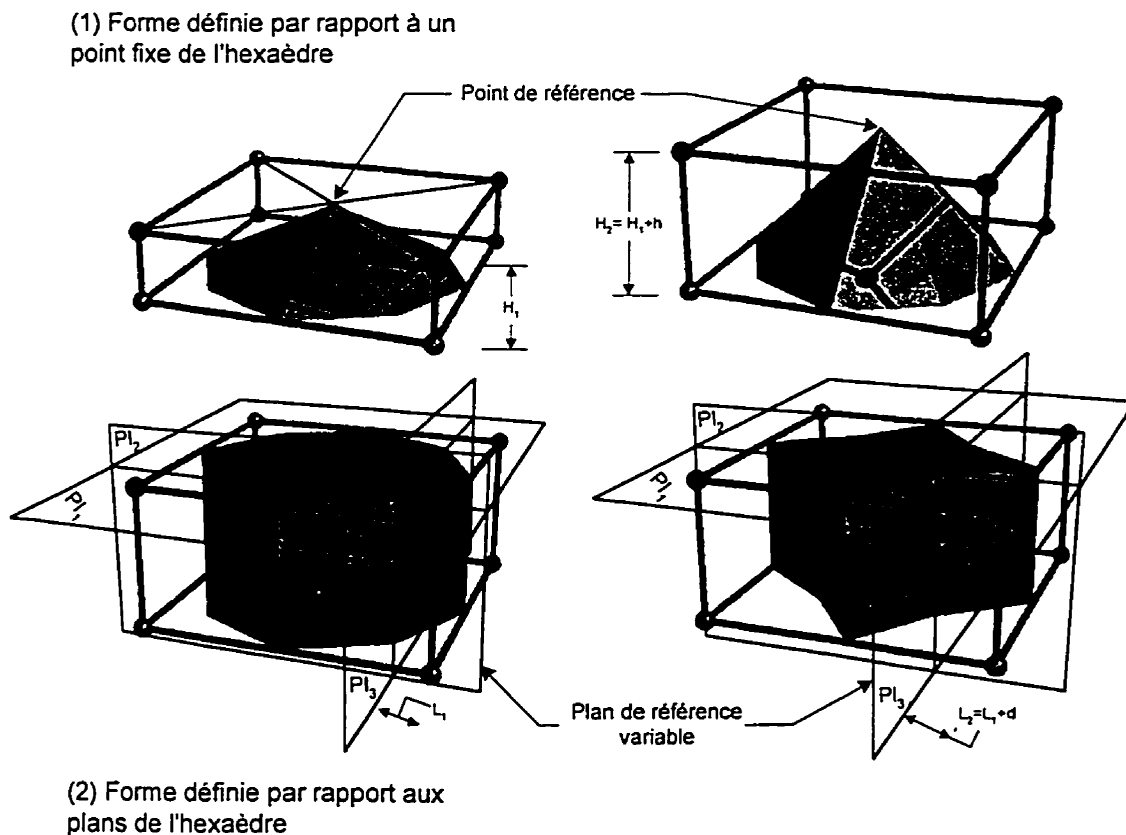


Figure 30 : Définition de formes par rapport à un hexaèdre de référence

Une fois un hexaèdre précisé par ces points, ses caractéristiques géométriques comme ses sommets, ses arêtes ou les plans de ses surfaces deviennent disponibles pour la production de formes. À titre d'exemple, en figure 30, deux façons de définir une forme par rapport à un hexaèdre sont présentées. En (1), les sommets d'un prisme ont été entièrement liés à ceux d'un hexaèdre de telle manière que lorsque la hauteur de cet hexaèdre est augmentée celle du prisme suit. En (2) par contre, seulement la moitié des sommets d'une forme géométrique sont complètement déterminés par les caractéristiques de l'hexaèdre. Pour l'autre moitié, un jeu de plans permet de spécifier des sommets de manière à contrôler la concavité et la convexité de cette forme. Ce contrôle est notamment possible parce qu'en traduisant la définition de cette forme en langage Scheme^o, le rapport entre les plans dans la direction verticale a été mis en variable.

Mais, pour des formes plus complexes, l'écriture d'une *fonction* peut aussi faire appel à d'autres *fonctions* disposant de leur propre hexaèdre de référence. La figure 31 présente quatre étapes permettant la définition d'une forme faisant appel à d'autres références hexaédriques. Il s'agit de la définition d'un solide polyédrique aux bords arrondis. L'établissement de liaisons entre plusieurs définitions est exposé ci-après.

- *Établissement de liaisons*

La production de structures définissant des actions peut impliquer une reconnaissance et une traduction spatiale des liens entre ces actions. Autrement dit, pour obtenir une

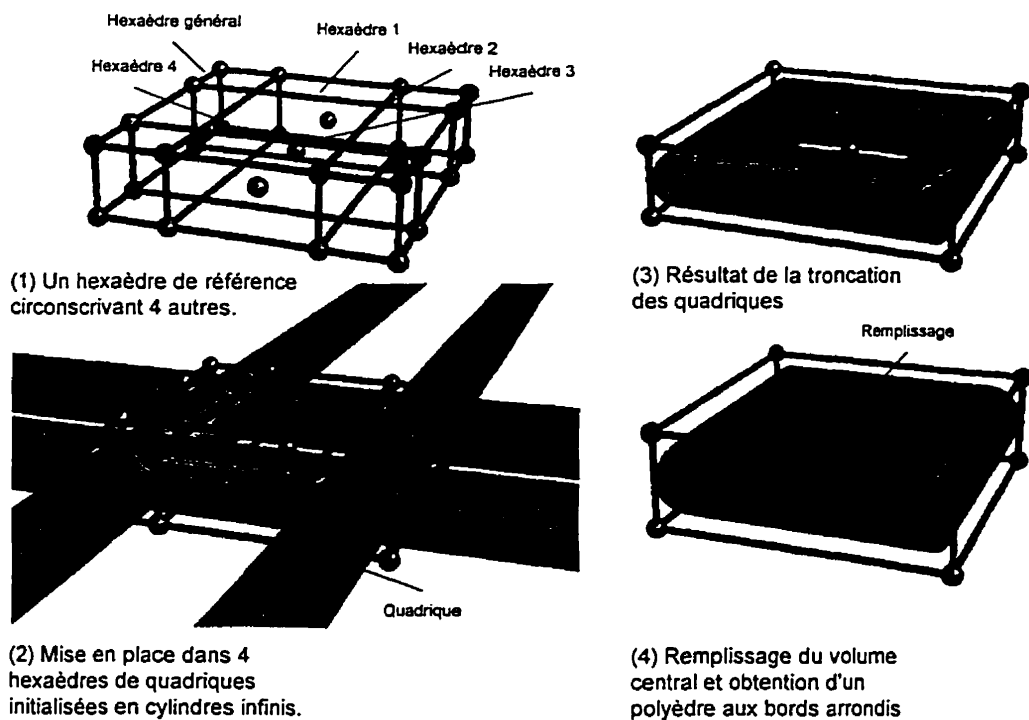


Figure 31 : Définition d'une forme par rapport à plusieurs hexaèdres de référence

structure définissant des actions, il peut être nécessaire de disposer d'une expression des liens entre les actions ainsi que d'une définition de la façon dont ces liens peuvent être réalisés. Il s'agit pour la production de structures définissant des actions de disposer d'informations relatives à quelle action est liée à quelle autre et comment ces actions sont liées.

En langage fonctionnel, une expression de liens entre des actions peut être traduite sous la forme d'une liste. Par exemple, pour l'église Saint-Eustache à Paris, les liens entre les actions peuvent être compris à la façon d'une arborescence. Il est possible de voir la construction de l'église, comme nous l'avons vu précédemment, à la manière de travaux réalisés en des lieux physiques différents mais où chaque résultat de ces travaux contribue à la définition de l'église toute entière. Des travaux de construction ont eu lieu au niveau du chœur puis de la nef, ensuite du fronton, etc. pour finalement donner comme résultat l'église. De même, pour réaliser la nef, des travaux ont porté sur des piles, des voûtes, des arcs, etc. Ces travaux étaient ordonnés dans le temps et l'espace. En traduisant les liens entre les définitions de ces travaux par une arborescence, chaque nœud de l'arborescence peut alors correspondre à une définition, et les arcs de cette arborescence ainsi que l'ordre d'inscription des définitions à l'arbre correspondra alors aux liens entre ces définitions.

Cette arborescence peut être traduite en langage fonctionnel sous la forme d'une liste de listes. Chaque liste est ordonnée et peut correspondre à une ramification de l'arbre. Au moyen de *fonctions* spécifiques d'un langage fonctionnel, cette liste peut alors être manipulée pour accommoder différents traitements comme par exemple le retranchement d'un ou plusieurs éléments de la liste ou encore l'inversion de l'ordre de ces éléments.

L'arborescence des liens compris entre les actions pour la construction de l'église peut être traduite comme suit en langage Scheme^o :

```
(EUstache (EU_fronton EU__nef EU_transept EU_choeur EU_abside EU_chapelle)) [4]
```

Cette liste en [4] est une mise à plat d'une liste de listes. Une mise à plat d'une liste de listes consiste à désigner les listes d'une liste par un nom et à les développer à même des listes séparées. Ainsi, l'élément *EU_fronton* de la sous liste en [4] désigne une liste développée ailleurs comme suit :

```
(EU_fronton (FR_niv01 FR_niv02 FR_niv03 FR_niv04 FR_niv05)) [5]
```

La liste en [4], comme celle en [5], est composée d'un élément et d'une liste. Dans le cas de la liste en [4], l'élément désigne l'église et la liste, ses différentes parties. L'élément *EUstache* est compris comme étant défini par les éléments ordonnés de la sous liste à six éléments. De la même façon, les éléments de la sous liste peuvent également référer à des listes comme en [5] et ainsi de suite jusqu'à atteindre une liste qui ne contient qu'un

élément unique référant alors à la définition d'une action productrice d'une forme élémentaire, comme celle d'un mur ou d'une pièce de voûte par exemple.

Les liens exprimés entre des actions peuvent être traduits dans l'espace à travers une mise en relation des hexaèdres de référence de chaque définition d'action. Comme il s'agit de liens à caractère spatial, cette mise en relation peut consister en des rapports dimensionnels entre des hexaèdres de référence. Un hexaèdre de définition peut maintenir certains rapports dimensionnels avec l'hexaèdre auquel il peut référer et avec ceux qui sont référés à lui. Ces rapports dimensionnels servent à dimensionner et à positionner des hexaèdres les uns par rapport aux autres. Lorsque ce rapport est d'ordre métrique, c'est-à-dire relatif à l'emploi de la mesure pour la spécification de dimensions et de la position de chaque hexaèdre, il peut être exprimé au moyen de mesures relatives et donc de calculs.

Une mesure relative est spécifiée par un rapport de grandeurs. Une dimension AB d'un hexaèdre est une grandeur métrique exprimant la distance entre deux points A et B. Ainsi, une mesure relative d'un hexaèdre ayant une dimension AB et qui est lié à un hexaèdre ayant une dimension CD peut être exprimée par le rapport des dimensions AB/CD. Cette façon d'exprimer la mesure relative peut être envisagée pour toutes les dimensions d'un hexaèdre et permet, par exemple, de faire suivre les dimensions de deux ou plusieurs hexaèdres lorsque la dimension de l'un des hexaèdres est modifiée. Cependant, cette mesure ne permet pas de considérer la position relative des hexaèdres. Lorsque deux hexaèdres sont mis en rapport par leurs dimensions uniquement, le déplacement de l'un n'engage pas nécessairement le changement de position de l'autre.

Pour lier les positions de deux hexaèdres dans un espace, il est possible de considérer des écarts dimensionnels entre ces hexaèdres. En considérant les trois directions d'un espace tridimensionnel, six écarts permettent de situer un hexaèdre par rapport à son hexaèdre d'affiliation. Pour chaque direction dx, dy ou dz, chaque hexaèdre peut avoir deux écarts possibles de part et d'autre de la direction considérée. En rapportant ces écarts aux trois grandeurs respectives de l'hexaèdre d'affiliation, six mesures relatives permettent alors de spécifier un hexaèdre.

La figure 32 illustre les grandeurs qui permettent de déterminer les six mesures relatives pour deux hexaèdres dans un espace tridimensionnel. Ces mesures relatives peuvent être exprimées comme suit :

- pour la direction x : $rx+ = ex+/Ltx$ et $rx- = ex-/Ltx$
- pour la direction y : $ry+ = ey+/Lty$ et $ry- = ey-/Lty$
- pour la direction z : $rz+ = ez+/Ltz$ et $rz- = ez-/Ltz$

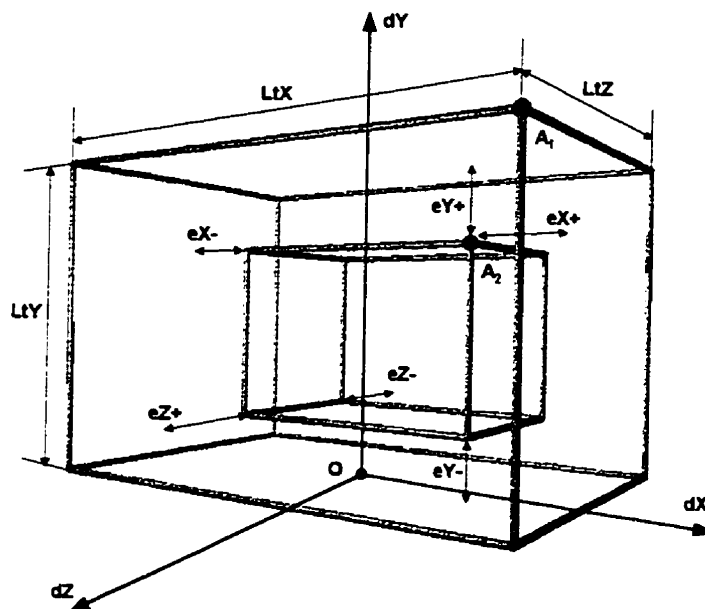


Figure 32 : Mise en relation de deux hexaèdres dans un espace tridimensionnel

- *Une organisation de définitions*

La production d'une structure définissant des actions peut être assurée par une *fonction* du langage fonctionnel. Cette *fonction* peut prendre en compte les liaisons entre les définitions d'actions qui ont été exprimées et traduites en *fonctions* du langage Scheme^o pour former différentes structures définissant des actions. Chacune de ces structures pourra alors engendrer des résultats d'actions pouvant comporter des caractéristiques visibles différentes.

Une façon de faire produire par une *fonction* des structures définissant des actions peut consister à lui faire écrire des lignes de code informatique semblable à celui qui a permis de définir la structure de la lampe Tizio. Il s'agit de considérer cette *fonction* comme un générateur de code informatique exprimant des *fonctions* en langage Scheme^o.

Pour produire une structure définissant des actions, le générateur de code peut se référer à la liste traduisant des liens entre les actions. En parcourant une liste traduisant une arborescence telle que celle considérée plus haut et en s'arrêtant à chaque nœud de cette arborescence possédant une ramification, le générateur peut définir des liaisons entre les définitions situées au bout des arcs de ces nœuds. En figure 33 est illustré le principe de la production par ce générateur d'une structure définissant des actions.

Dans le cas de l'église Saint-Eustache à Paris, pendant l'écriture de *fonctions*, le générateur de code peut se référer à des répertoires informatiques où ont été stockées différentes *fonctions* de définition. Par exemple, un répertoire peut être dédié aux *fonctions* qui modifient des liens entre des actions, un autre peut rassembler les *fonctions* qui traduisent des mesures relatives entre ces *fonctions*, un autre encore peut réunir les *fonctions*

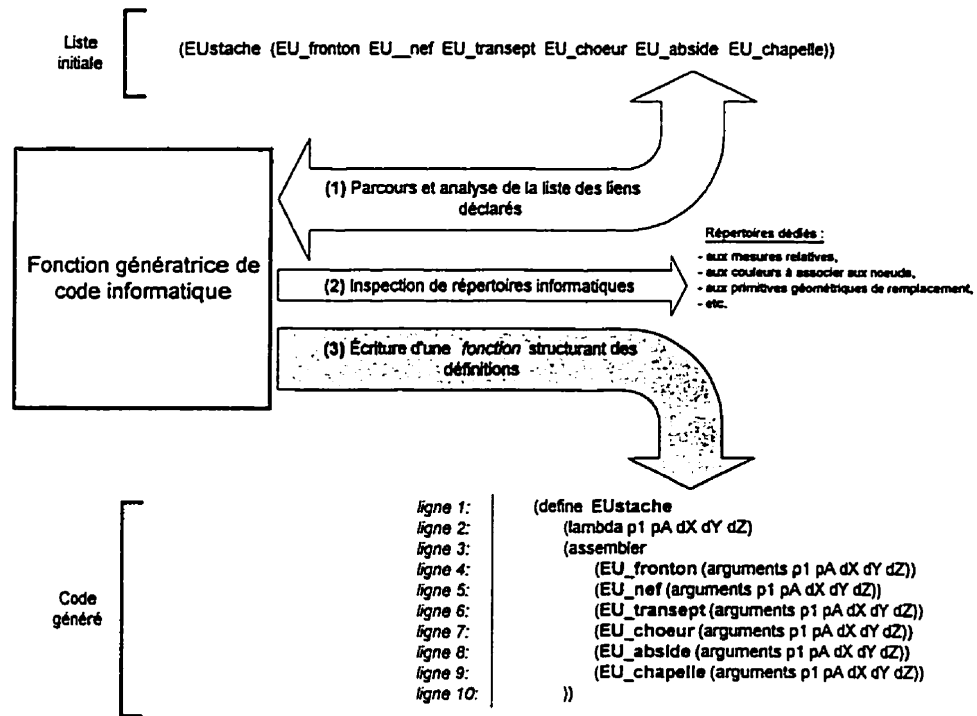


Figure 33 : Principe d'écriture d'une *fonction* par le générateur de code informatique

qui associent des couleurs à la réalisation de ces actions. Le nombre de ces répertoires dépend du type de définitions que l'on envisage de faire prendre en compte par le générateur de code.

En parcourant l'arborescence initiale traduisant les liens entre des *fonctions* de définition et en se référant au contenu de ces répertoires informatiques, le générateur de code peut alors modifier ces liens et insérer les définitions trouvées correspondantes à ces liens. Ainsi, de façon à fixer les valeurs des arguments des *fonctions* à lier, il peut récupérer la *fonction* définissant les mesures relatives entre ces *fonctions* et répartir ses résultats entre ces *fonctions*. De la même façon, le générateur de code peut également compléter la définition de liens entre des *fonctions* par des caractéristiques comme des couleurs si elles sont disponibles dans le répertoire consacré à la définition des couleurs.

Dans le cas de l'église Saint-Eustache à Paris, le traitement de ces liens et de ces caractéristiques est réalisé en prenant pour référence l'expression alphanumérique retenue pour désigner les *fonctions* de définition. En parcourant l'arborescence déclarée, à chaque nœud rencontré, le générateur de code utilise l'expression alphanumérique désignant ce nœud pour fouiller les répertoires où sont disponibles les définitions des liens entre les *fonctions*. Si une définition correspondant à cette expression alphanumérique est rencontrée alors le générateur de code récupère cette définition pour l'écriture de ses *fonctions*. Par défaut, il ne peut prendre en considération que ce dont il dispose déjà comme définitions,

c'est-à-dire la liste initiale liant les *fonctions* entre elles et les définitions des mesures relatives entre ces *fonctions*.

Des structures définissant des actions différentes peuvent être obtenues en modifiant les définitions contenues dans les répertoires spécialisés. Dans un répertoire spécialisé par exemple, une *fonction* de définition peut être substituée par une nouvelle *fonction* et le générateur récupère alors cette nouvelle *fonction* pour la production d'une structure définissant des actions. À une définition peut ainsi être associée une nouvelle couleur, une nouvelle structure définissant des actions ou même une définition de forme nulle, c'est-à-dire ne possédant qu'une définition théorique ne pouvant être traduite visuellement, l'équivalent géométrique du zéro arithmétique. La *fonction* génératrice de code produit une structure définissant des actions en fonction de ce qui lui a été rendu disponible dans l'environnement informatique qui lui a été désigné comme référence.

Le fonctionnement de cette *fonction* peut être vu en examinant la façon dont ont été obtenus les résultats présentés ci-dessous.

9.2.3. Résultats

Des *fonctions* en langage Scheme^o permettant d'obtenir les caractéristiques visibles du fronton et de la nef de l'église Saint-Eustache à Paris ont été écrites selon la stratégie de modélisation qui vient d'être exposée. Ainsi, une arborescence de l'église présentée en annexe III a été transposée sous la forme de listes et les définitions des actions aux extrémités des branches de cette arborescence ont été exprimées en *fonctions*. L'évaluation par l'interpréteur Scheme^o et le système SGDL^o des structures définissant des actions produites par le générateur de code, également écrit en langage Scheme^o, a permis d'obtenir différentes images de modèles de l'église. Ces images sont présentées en figures 34 à 36, pages 291 à 293.

La figure 34 présente cinq images produites chacune à partir d'une structure définissant des actions différente. Ainsi, en [1], une structure définissant des actions a permis d'obtenir uniquement les piles des bas-côtés de la nef. De la même façon ont pu être produites les caractéristiques visibles des contreforts de la nef, en [2], et celles des piles ainsi que des contreforts du choeur, en [3]. En [2], chaque rangée de contreforts est encadrée par son hexaèdre de référence et, en [3], ce sont par contre les hexaèdres de référence des parties mitoyennes au choeur, c'est-à-dire le transept et l'abside de l'église, qui sont visualisés. Ces hexaèdres donnent un aperçu de la façon dont les actions sont structurées. En [4] ensuite, le fronton de l'église est présenté et enfin, en [5], sont mises à la suite de ce fronton les rangées de piles de la nef également encadrées d'hexaèdres de référence.

Pour obtenir ces cinq images, trois types de modifications ont du être apportées au niveau des répertoires spécialisés auxquels se réfère la *fonction* productrice de structures définissant des actions. Ainsi, selon le cas, il s'agissait soit (1) de transformer l'arbre décrivant les liens entre les définitions d'actions, soit (2) d'adjoindre des hexaèdres de référence à certains nœuds de cet arbre ou bien encore (3) de remplacer des nœuds par l'hexaèdre qui leur est associé.

La production des cinq images en figure 34 a nécessité une sélection de nœuds de l'arborescence décrivant les liens entre des actions. Cette sélection est réalisée en n'activant dans la liste où est transcrite cette arborescence que les actions correspondantes à cette sélection. Pour ce faire, dans le répertoire consacré aux *fonctions* définissant des liens, il s'agit d'indiquer à la *fonction* génératrice de structures définissant des actions la position dans cette liste de chaque définition à considérer. À partir de cette liste, cette *fonction* peut alors définir une nouvelle liste de liens entre les actions permettant d'obtenir les résultats escomptés.

Par exemple, pour indiquer à la *fonction* génératrice de ne considérer que le fronton et la nef de l'église, une sous liste indiquant des positions peut ainsi être ajoutée en fin de l'expression [4] que nous avons vu plus haut :

```
(EUstache (EU_fronton EU__nef EU_transept EU_choeur EU_abside EU_chapelle) (0 1))
```

Cette liste est réduite comme suit par la *fonction* génératrice :

```
(EUstache (EU_fronton EU__nef))
```

La *fonction* génératrice peut alors poursuivre la définition d'une structure définissant des actions sur la base de cette nouvelle liste.

Ensuite, pour que cette *fonction* puisse adjoindre à un nœud de l'arborescence résultante l'hexaèdre de référence correspondant, comme en [2] ou en [5] de la figure 34, il est nécessaire de lui désigner ce nœud. La fonction peut trouver cette indication dans un autre répertoire spécialisé. Celui-ci est consulté par cette fonction pendant son parcours de l'arborescence indiquant les liens entre les actions. À chaque fois que la fonction rencontre un élément de la liste traduisant l'arborescence, elle vérifie si cet élément n'a pas été associé à une action dans ce répertoire. Dans celui-ci, une expression qui adjoint, par exemple, au nœud correspondant au chœur de l'église son hexaèdre de référence peut être sous la forme suivante :

```
(EU_choeur HEXaèdre) [6]
```

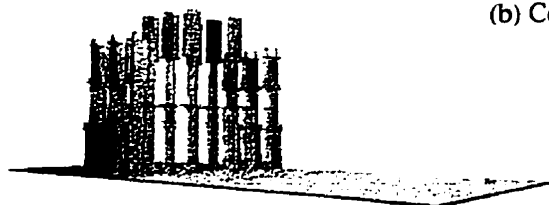
La façon de traiter une expression trouvée dans un répertoire spécialisé a été indiquée à la *fonction* génératrice au moment de sa définition. En rencontrant l'expression en [6],



(a) Piles des bas-côtés de la nef



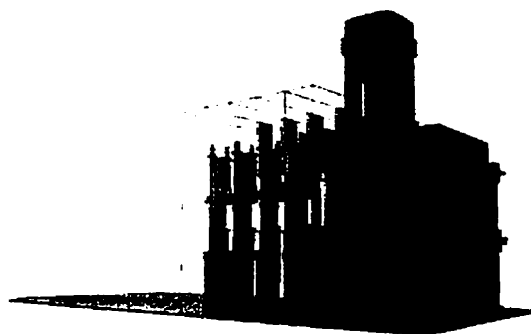
(b) Contreforts de la nef et leur hexaèdre de référence



(c) Piles et contreforts de la nef



(d) Fronton sans les parties plus anciennes de l'église



(e) Piles et contreforts de la nef avec le fronton

Figure 34 : Cinq états différents de la structure porteuse de l'église Saint-Eustache à Paris

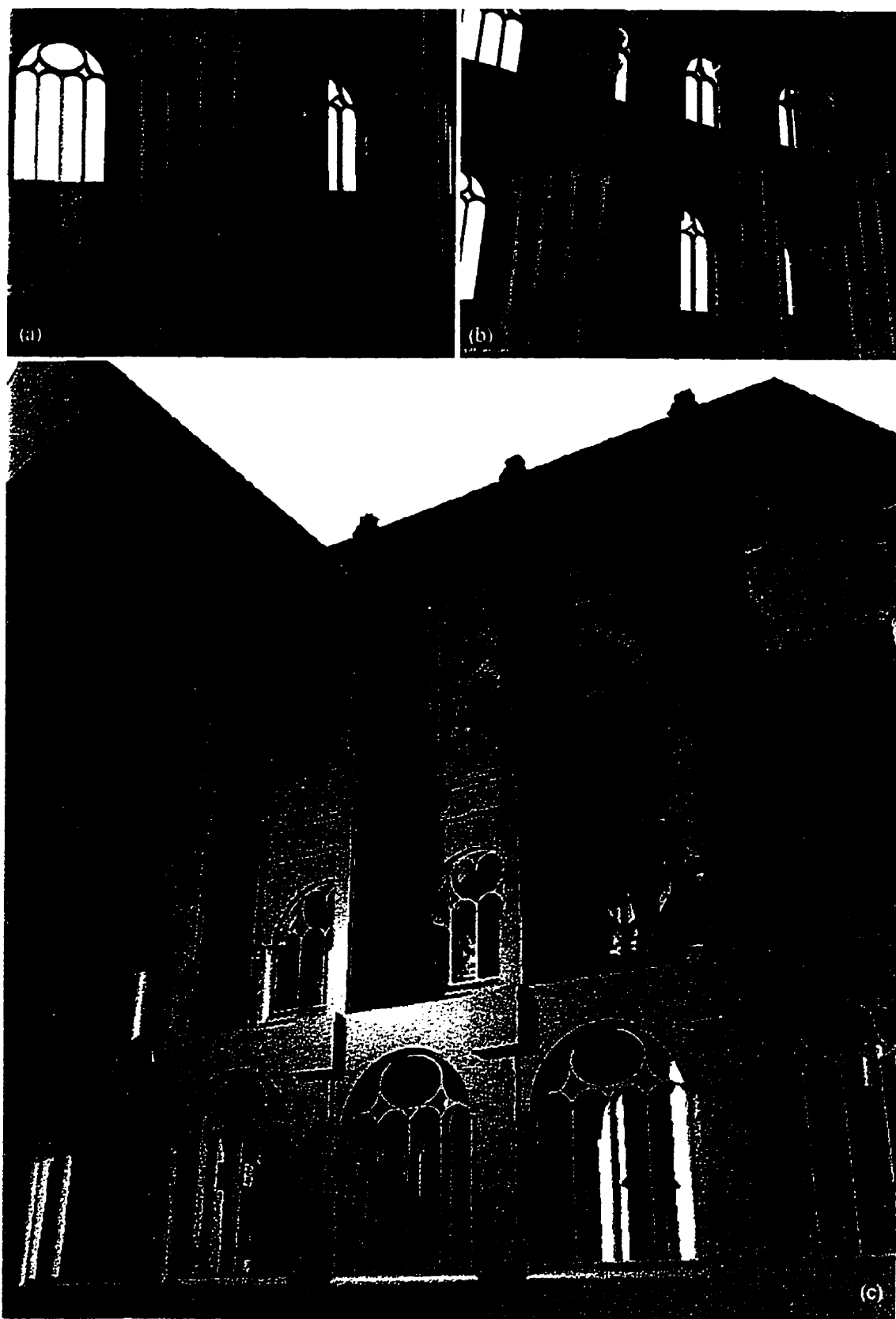


Figure 35 : Vues intérieures (a et b) et extérieure (c) d'un bas-côté de la nef de l'église Saint-Eustache à Paris

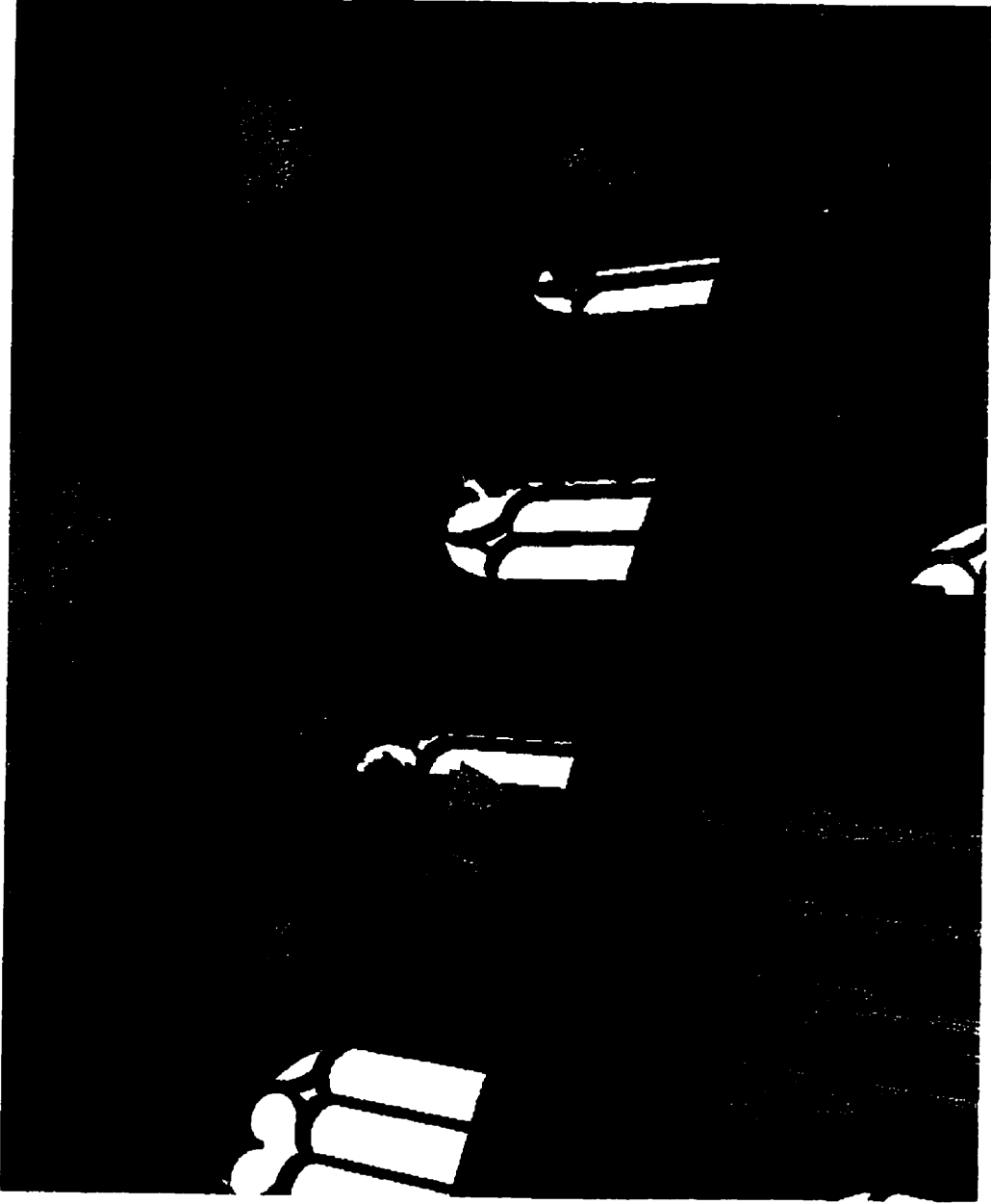


Figure 36 : Vue vers le haut à l'intérieur d'un bas-côté de la nef de l'église Saint-Eustache à Paris

qui est une liste à deux éléments, cette fonction récupère le second élément de la liste pour l'ajouter au premier pendant la génération du code informatique. Elle génère une *fonction* portant le nom du premier élément de la liste et qui réunit, avec des valeurs identiques pour les arguments, les *fonctions* EU_choeur et HEXaedre.

Ainsi, de la même façon, mais au lieu d'ajouter un hexaèdre de référence elle remplace le nœud de l'arborescence par cet hexaèdre, la *fonction* génératrice permet aussi d'obtenir l'image en [3] de la figure 34. Dans ce cas, le répertoire spécialisé est réservé à indiquer les remplacements d'actions que la *fonction* va réaliser en produisant les différentes structures définissant des actions.

Au bas de la figure 35, une vue extérieure de l'église présente deux niveaux de détail différents pour deux parties de l'église, le transept et la nef flanquée d'un de ses bas-côtés. Un niveau de détail inférieur a pu être obtenu pour les caractéristiques visibles du transept en fournissant à la *fonction* génératrice, dans le répertoire approprié, des définitions d'actions produisant des formes simplifiées. Les deux images en haut de la figure 35 et l'image en figure 36 présentent différentes vues intérieures de l'église, à des niveaux de détail supérieurs.

Les résultats obtenus, c'est-à-dire les images des figures 34 à 36, montrent donc que la modélisation de la façon de produire des structures définissant des actions permet d'obtenir différentes figurations de l'église Saint-Eustache à Paris. À la différence des résultats obtenus pour la lampe Tizio, cette manière de considérer la construction d'un modèle définissant des actions permet de produire des figurations d'un objet en transformation. Elle permet de générer différents modèles de structures définissant des actions. Chacun de ces modèles définit un état différent pour un objet. En définissant une *fonction* génératrice de code il a donc été possible d'atteindre l'objectif qui visait à définir le modèle d'une façon de produire des structures définissant des actions permettant de figurer un résultat variable dans le temps et dans l'espace.

9.3. Modélisation d'actions dans un contexte urbain—L'arrondissement Ville-Marie à Montréal

L'objectif visé par la modélisation d'actions dans un contexte urbain est d'étendre la validité de la proposition théorique faite au chapitre précédent. Il s'agit de vérifier si la façon de rendre compte de caractéristiques visibles à partir de modèles définissant des actions peut être indépendante d'un contexte d'action ayant pour objectif la production d'objets physiques. Pour l'objectif visé, la modélisation d'actions dans le contexte de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal a été choisi. Au lieu d'objets physiques ce sont

des règlements d'urbanisme et des informations considérés au niveau d'une ville qui sont à rendre visibles à partir de structures définissant des actions.

Dans le texte qui suit, les données disponibles pouvant servir à la vérification de la proposition théorique avancée dans un contexte urbain sont tout d'abord décrites. Ensuite, une façon de considérer une modélisation d'actions tenant compte de ces données est envisagée en fonction des principes de génération de code définis précédemment. Les résultats obtenus après une mise en opération du générateur de code pour la production de structures définissant des actions dans le contexte de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal sont présentés en dernier.

9.3.1. Données relatives au contexte urbain

Deux types de données disponibles au niveau des services de l'urbanisme de la ville de Montréal peuvent être considérés pour la modélisation d'actions dans le contexte de l'arrondissement Ville-Marie. Il s'agit de données graphiques décrivant la géométrie du terrain et du patrimoine bâti de l'arrondissement ainsi que de données alphanumériques pouvant se rapporter à des activités qui s'y produisent ou à la réglementation d'urbanisme qui y est en vigueur. Parmi ces données, certaines peuvent être enregistrées sur support informatique comme dans le cas d'informations relatives aux relevés physiques ou aux permis municipaux. Pour d'autres données, comme la réglementation d'urbanisme, elles sont disponibles sous forme manuscrite.

- *Terrain et patrimoine bâti*

Des données relatives au terrain et au patrimoine bâti de l'arrondissement Ville-Marie ont été consignées par la ville de Montréal dans des fichiers informatiques. Ces fichiers informatiques¹ comportent des informations graphiques qui sont le résultat de différents relevés effectués dans l'arrondissement. Ils comportent une information se rapportant :

- à la délimitation géométrique des rues ;
- à la délimitation géométrique des bâtiments construits ;
- à la délimitation des parties aménagés des parcs ;
- aux points géodésiques du sol ;
- aux points géodésiques des toits de bâtiments.

Ces fichiers n'incluent pas la délimitation des lots et posent un certain nombre de problèmes.

¹ Il s'agit de fichiers informatiques ayant pour extension .DWG ou .DXF, des formats graphiques établis par la compagnie du logiciel AutoCAD®, Autodesk.

Chaque fichier contient une information géométrique en deux dimensions. La troisième dimension doit être déduite à partir d'une information alphanumérique insérée en différents endroits de la représentation bidimensionnelle. Il s'agit de points géodésiques obtenus par photogrammétrie et indiqués par des textes insérés en des points ayant des coordonnées en x et y . Le texte spécifie la valeur de la coordonnée en z d'un point géodésique. L'obtention des trois coordonnées d'un point géodésique consiste alors à récupérer les coordonnées d'un point d'insertion de texte et à leur adjoindre la coordonnée mentionnée par ce texte. Toutefois, certains de ces points sont parfois manquants et plusieurs toitures d'édifices peuvent disposer de points géodésiques imprécis ou difficiles à interpréter. Ainsi, une toiture plane peut être indiquée par des points géodésiques pouvant varier en hauteur de façon prononcée (2 à 3 mètres) et la géométrie des toitures en pente ne peut être déduite à partir de ces points uniquement.

Les délimitations horizontales contenues dans ces fichiers informatiques ont été réalisées avec des primitives géométriques, des lignes ou des compositions de lignes et d'arcs¹. Le plus souvent ces primitives ne sont pas jointes pour former un polygone fermé, c'est-à-dire où les coordonnées du point de départ du polygone coïncident avec ceux du point d'arrivée. De plus, alors que visuellement ils donnent cette impression, les raccords entre ces primitives ne sont pas géométriquement tangents.

Avant de pouvoir se prêter à une définition géométrique du patrimoine bâti de l'arrondissement Ville-Marie, cette information contenue dans les fichiers informatiques de la municipalité peut donc nécessiter des contrôles et des corrections manuelles ainsi qu'une interprétation accompagnée de l'addition de données.

- *Le règlement d'urbanisme*

Outre le terrain et les édifices, parmi les informations disponibles au niveau d'une municipalité, certaines peuvent être traduites visuellement. Pour les fins de la modélisation d'actions, des informations relatives à un règlement d'urbanisme ont été choisies.

Un règlement d'urbanisme comporte de nombreux articles. Parmi les articles s'appliquant à l'arrondissement Ville-Marie, plusieurs peuvent être traduits géométriquement. De par leur caractère géométrique, quatre de ces articles sont considérés pour la modélisation d'actions. Il s'agit des articles portant sur le recul sur rue, la hauteur limite totale, les hauteurs sur rue minimale et maximale de bâtiments et l'ensoleillement d'un parc public (Ville de Montréal, 1992).

¹ Il n'y a pas de cohérence dans le choix des primitives géométriques choisies pour former une figure. Un polygone peut être formé avec les primitives "LINE", "POLYLINE" ou les deux à la fois du logiciel de dessin AutoCAD®.

Un recul sur rue est la distance minimale entre les façades de bâtiments et la rue. Les hauteurs maximale et minimale sur rue permettent de donner l'impression visuelle, à partir de la rue, que les bâtiments sont de même gabarit. Une hauteur limite totale fixe la hauteur autorisée pour un bâtiment pour sa partie en retrait de la rue. Cette hauteur limite permet d'atteindre des densités d'occupation au sol élevées pour les bâtiments tout en permettant de considérer des corridors visuels d'intérêt, tels des vues sur le fleuve Saint-Laurent ou le mont Royal. L'aspect environnemental est également pris en compte par un article qui protège les lieux publics, tels les parcs, des ombres portées par des bâtiments avoisinants. Il s'agit d'un article du règlement d'urbanisme introduit pour contrôler les hauteurs de bâtiments pouvant porter ombre sur ces lieux à certaines heures critiques de l'année. Ainsi, une demande de permis pour la construction d'un bâtiment pouvant porter ombre sur plus de la moitié de la superficie d'un lieu public durant la journée du 21 septembre, entre 8h et 17h, peut être refusée.

Le règlement d'urbanisme prévoit également une affectation du sol pour quatre types d'usages, l'habitation, le commerce, l'industrie et les équipements collectifs. Il prescrit pour chaque usage une densité de construction. La façon dont le règlement est préparé vise le contrôle, pour l'usage commercial par exemple, non seulement de la nature des commerces et leur superficie mais aussi leur localisation à l'intérieur même des bâtiments. En fonction de l'usage considéré, le règlement prévoit le traitement d'un certain type d'information qui peut parfois être visualisé en trois dimensions. Par exemple, la localisation d'un certain type d'activités dans un immeuble à plusieurs étages pourrait être visualisée en affectant une couleur aux volumes des étages où ont lieu ces activités.

La mise en pratique d'un règlement d'urbanisme peut être facilitée par un modèle tridimensionnel. Ainsi, ce modèle pourrait permettre à des personnes voulant réaliser un projet d'architecture de visualiser de façon synthétique les articles du règlement qui s'appliquent au terrain sur lequel elles envisagent construire. Le modèle pourrait traduire géométriquement plusieurs articles d'un règlement d'urbanisme qui s'appliquent en un même lieu de l'arrondissement. Non seulement il pourrait exprimer un article d'un règlement mais aussi permettre d'apprécier ce que la mise en commun de plusieurs articles signifie géométriquement pour le projet d'architecture considéré.

Mais un modèle tridimensionnel peut aussi aider à la conception d'un règlement d'urbanisme. Il peut permettre aux concepteurs des articles d'un règlement de vérifier visuellement et l'application d'un article et les conséquences de la mise en pratique de plusieurs articles à la fois. Il peut faciliter la définition d'une silhouette pour les territoires d'intervention des urbanistes et aider à prévenir d'éventuels conflits entre différents articles

de ce règlement. La répartition d'activités au sein d'une ville peut également être évaluée de visu.

Dans ce qui suit, il s'agit de constituer un modèle d'une partie de l'arrondissement Ville-Marie en récupérant les données relatives au terrain et au patrimoine bâti des fichiers informatiques disponibles à la ville de Montréal. La façon selon laquelle ce modèle va être construit permettra de considérer les aspects d'un règlement d'urbanisme qui viennent d'être présentés.

9.3.2. Stratégie de modélisation

Pour traduire visuellement les quatre articles du règlement d'urbanisme choisis et pour affecter de l'information à un modèle tridimensionnel d'une partie de l'arrondissement Ville-Marie, les principes d'une modélisation d'actions ont été considérés. Il s'agit de traduire la définition de l'application de ces articles et de cette affectation d'informations en *fonctions* du langage Scheme^o et de disposer d'une expression des liens entre des objets, tels les terrains et les bâtiments qui définissent la partie de l'arrondissement Ville-Marie. Tout d'abord pour ce faire, les données relatives aux objets disponibles dans un fichier informatique de la ville de Montréal peuvent être récupérées.

- *Récupération de données*

La récupération des données du fichier informatique de la ville de Montréal consiste à traduire et à organiser les primitives géométriques contenues dans ce fichier de façon à disposer d'une représentation d'objets tridimensionnels pouvant servir à la définition d'actions impliquées par le règlement d'urbanisme.

L'organisation des données contenues dans le fichier informatique peut nécessiter trois opérations. Pour la première opération, il s'agit de récupérer des points et des figures pour reconstituer respectivement le volume du terrain et la forme des édifices qui s'y trouvent, et disposer des limites de rues, d'îlots ou d'édifices. Cette opération peut être réalisée de façon automatique au moyen de procédures informatiques spécialement écrites¹ à cet effet. En cas de manque ou de défaut de certaines données disponibles, elle peut être complétée et corrigée par des données provenant d'autres sources que celle de la ville de Montréal. Ce complément de données est notamment nécessaire pour la délimitation des lots cadastraux de chaque îlot.

La deuxième opération effectuée en parallèle à la première consiste à regrouper les données de ce fichier informatique en plusieurs fichiers indépendants. Il s'agit tout d'abord

¹ Comme les données ont été saisies au moyen du logiciel AutoCAD^o, ces données peuvent être traitées par des programmes écrits en langage AutoLISP^o.

de récupérer les données circonscrites par chaque figure géométrique délimitant un bâtiment, un lot, un îlot ou une rue. En définissant un hexaèdre pouvant contenir chacune de ces figures, ces données peuvent alors être relativisées par rapport à cet hexaèdre et son origine. Ensuite de la même façon, la délimitation de chaque îlot pourra être inscrite et référée à un hexaèdre différent. Le résultat de cette seconde opération est une série de fichiers de données géométriques référées dans chaque fichier à un hexaèdre particulier.

Enfin, la troisième opération consiste à relativiser chaque hexaèdre par rapport à d'autres hexaèdres. Autrement dit, il s'agit de hiérarchiser le découpage précédent en fichiers à la façon dont est comprise la répartition des rues, îlots, lots et bâtiments dans le règlement d'urbanisme. Ainsi, en définissant un hexaèdre englobant tout le territoire de l'arrondissement Ville-Marie considéré, tous les hexaèdres servant de référence aux îlots et rues de ce territoire peuvent lui être référés. De la même façon ensuite, l'hexaèdre de chaque îlot pourra servir de référence aux hexaèdres circonscrivant les lots de cet îlot, et celui de chaque lot pourra servir de référence aux hexaèdres englobant le bâtiment et le terrain qui lui sont associés.

À l'issue de cette récupération du contenu du fichier informatique de la ville, les données sont réparties non seulement en différents fichiers séparés portant chacun un nom particulier mais sont également hiérarchisées à la façon dont elles sont entendues dans le règlement d'urbanisme. Les données graphiques récupérées sont désormais disponibles en trois dimensions et distinguées au niveau tant de leur représentativité que de leur liens. Les îlots, les lots, les bâtiments et leurs terrains sont discernables.

- *Écriture de fonctions*

Les quatre articles du règlement d'urbanisme retenus peuvent être traduits dans un langage symbolique. Il s'agit de définir des *fonctions* en langage Scheme^o qui produisent comme résultat une manifestation visuelle de l'application de chacun des quatre articles retenus. Pour être visibles, ces résultats peuvent être à caractère géométrique. Autrement dit, les *fonctions* à écrire pour traduire chaque article retenu vont exprimer des définitions géométriques.

L'article relatif au recul sur rue d'un bâtiment se définit par rapport aux limites d'un lot cadastral. Les limites d'un lot cadastral sont exprimées par une forme géométrique qui, dans le cas de l'arrondissement Ville-Marie, est un polygone. Un recul sur rue peut alors être exprimé par une distance relative à un ou plusieurs des côtés de ce polygone. Vers l'intérieur du polygone, l'application d'un article relatif au recul sur rue d'un bâtiment définit alors un second polygone dont les côtés sont parallèles aux côtés du polygone initial, à une distance fixée par l'article pouvant être différente pour chaque côté du lot et chaque lot de l'arrondissement. La *fonction* en langage Scheme^o qu'il s'agit d'écrire peut

alors consister à traduire la définition d'un volume vertical à base polygonale dont les surfaces sont à une certaine distance d'un autre polygone de référence, celui délimitant le lot. Pour que cette *fonction* puisse être considérée pour tous les lots de l'arrondissement, les variables qu'elle aura à considérer seront d'une part les sommets du polygone délimitant un lot et d'autre part les distances des reculs sur rue susceptibles d'accompagner chaque côté d'un lot.

Les articles portant sur les hauteurs minimale, maximale et totale autorisées pour un bâtiment dans l'arrondissement Ville-Marie ont pour référence le terrain du lot de ce bâtiment. À chaque altitude d'un point géodésique du terrain correspondent trois points fixant les hauteurs minimale et maximale de la partie basse d'un bâtiment ainsi que l'altitude totale de la partie centrale de ce bâtiment. En langage Scheme^o, une même *fonction* peut être écrite pour traduire les hauteurs autorisées pour un bâtiment. Il s'agit pour cette *fonction* de reproduire la surface du terrain d'un lot à différentes hauteurs. Les variables pour cette *fonction* sont les points géodésiques et la délimitation d'un terrain ainsi que les hauteurs fixées par chaque article pour chaque lot de l'arrondissement.

L'article relatif aux heures d'ensoleillement consiste à considérer la surface d'un lieu public par rapport à la position du soleil. Pour connaître la partie d'un bâtiment qui porte ombre sur un lieu public à certaines heures de l'année, il est possible « d'extruder » la surface de ce lieu en direction du soleil. Le résultat de l'action d'extruder est un volume qui peut alors rencontrer le volume d'un bâtiment portant ombre et avoisinant le lieu public. L'intersection de ces deux volumes indique la partie du bâtiment portant ombre sur le lieu public. Pour qu'une *fonction* en langage Scheme^o puisse traduire la façon d'extruder une surface de n'importe quel lieu public de l'arrondissement Ville-Marie et quelle que soit l'heure de l'année, deux variables sont par conséquent nécessaires : un polygone délimitant la surface et des coordonnées du soleil.

Une *fonction* susceptible de traduire une affectation d'usage à un lot ou un bâtiment peut également être écrite sur la base de variables à déterminer. Dans ce cas d'affectation, les variables peuvent être l'usage et son lieu. Le lieu d'un usage peut être délimité dans l'espace par une forme géométrique, un volume ou une surface, et pour distinguer un certain type d'usage d'autres usages dans d'autres lieux, une couleur par exemple peut être associée à cette forme. Il s'agit d'une interprétation d'une affectation d'usage pour des fins visuelles qui revient à réaliser une opération géométrique. Dans ce cas, cette opération peut être traduite en langage Scheme^o en disposant donc de la couleur et de la définition géométrique de l'espace considéré.

- *Organisation de définitions*

Les définitions des quatre articles du règlement d'urbanisme et de l'affectation d'un usage qui viennent d'être présentées, traduites en *fonctions* du langage Scheme^o, peuvent ensuite être organisées par la *fonction* génératrice de code que nous avons définie pour la modélisation de l'église Saint-Eustache à Paris. Cette *fonction* génératrice peut établir des structures définissant des actions qui vont produire les caractéristiques visibles témoignant de l'application d'articles ou de l'affectation d'informations à un ou plusieurs bâtiments, lots ou îlots de la zone de l'arrondissement Ville-Marie considérée.

Pour ce faire, la *fonction* génératrice est référée à deux types d'informations : (1) une arborescence permettant de déclarer les liens compris entre les bâtiments, lots et îlots de la zone et (2) des répertoires spécialisés où peuvent être indiquées les actions à réaliser par rapport à chaque nœud de cette arborescence.

La définition de l'arborescence consiste à traduire sous la forme d'une liste du langage fonctionnel, une hiérarchisation des fichiers informatiques produits au moment de la récupération des données de la municipalité. Ainsi, par exemple, les données relatives à chaque lot de la zone sont référées dans une liste de la façon suivante :

(lot_1 (bâtiment_A terrain_A))

Les expressions *bâtiment_A* et *terrain_A* correspondent aux noms des fichiers où se trouvent les données permettant de définir géométriquement le bâtiment et le terrain du *lot_1*. Ensuite, la liste ci-après permet d'établir, de la même façon, les relations entre les lots d'un îlot :

(îlot_1 (lot_1 lot_2 lot_3 etc.))

La hiérarchisation est poursuivie pour toutes les composantes qui se trouvent dans la zone de l'arrondissement Ville-Marie considérée. Le résultat finale est une liste de listes, mise à plat, dans laquelle chaque sous-liste ou élément d'une sous-liste est associé à un hexaèdre de référence. La *fonction* génératrice de code peut alors parcourir cette liste et produire une structure définissant des actions à laquelle elle associe les fichiers comportant les données récupérées de la municipalité. Des *fonctions* écrites pour interpréter ces données permettent ensuite, au moment de l'évaluation de cette structure par l'interpréteur Scheme^o, de produire des définitions géométriques que le système SGDL^o peut à son tour évaluer et traduire en images.

Pour indiquer les actions à réaliser par rapport aux nœuds de l'arborescence définie, les mêmes répertoires spécialisés qui ont servi à produire les structures définissant les actions ayant permis la figuration de l'église Saint-Eustache à Paris peuvent être mis à contribution. Comme pour associer un hexaèdre de référence à un noeud de l'arborescence,

il est également possible d'associer à ce nœud, dans un répertoire spécialisé, les définitions des articles de la réglementation d'urbanisme ou d'une affectation d'usage. En parcourant la liste des liens déclarés, la *fonction* génératrice de code vérifie pour chaque élément de cette liste si dans le répertoire spécialisé une définition est adjointe à cet élément. Si une définition est trouvée, cette *fonction* la récupère donc et, pendant la production d'une structure définissant des actions, l'attache à la définition de cet élément. Autrement dit, si, par exemple, un article relatif à un recul sur rue est associé à un lot, la *fonction* génératrice ajoute la définition de cet article à celles du terrain et du bâtiment de ce lot. Comme l'article s'applique par rapport au lot, elle transmet à cette définition les paramètres de l'hexaèdre de référence de ce lot ($p1 \ pA \ dx \ dy \ dz$). En évaluant la structure définissant les actions produite, la figuration obtenue présente alors pour ce lot trois volumes, celui du terrain, celui du bâtiment et celui de l'article.

9.3.3. Résultats

Les figures 37 à 45, en pages 303 à 307, présentent les résultats de l'évaluation de différentes structures définissant des actions produites pour la zone de l'arrondissement Ville-Marie considérée. Ces figures montrent en images dix façons différentes de structurer des actions traduites en langage Scheme^o pour cette zone. Ces images ont toutes été obtenues à partir de la même *fonction* génératrice de code.

Celles des figures 37 et 38 sont le résultat de l'évaluation de deux structures définissant des actions différentes ayant été obtenues en traitant la liste transcrivant les liens compris entre les composantes de la zone considérée. En figure 37, seuls les terrains ont été associés aux lots et un hexaèdre de référence a été adjoint à un lot. En figure 38 par contre, seuls les six îlots du centre de la zone considérée ont été retenus. Pour distinguer dans ces figures les lots de chaque îlot de cette zone, une couleur différente a également été associée aux terrains de cette zone. Ces figures montrent donc qu'un modèle d'une façon de produire des structures définissant des actions permet la figuration d'une sélection de composantes d'une zone urbaine tout en permettant la modification de certaines de leurs caractéristiques visibles.

Pour un îlot central de la zone considérée, les figures 39 à 42 illustrent l'application de chacun des quatre articles du règlement d'urbanisme dont la définition a été traduite en *fonctions* du langage Scheme^o. En figure 39, l'article portant sur le recul sur rue est visualisé avec deux volumes de couleurs distinctes. Pour chaque lot, il est considéré avec des valeurs différentes pour les distances de ce recul. Cette distance a été spécifiée comme une variable de la *fonction* traduisant la façon d'appliquer cet article à un lot. En évaluant cette *fonction*, les parties visibles obtenues pour les bâtiments sur les lots correspondent

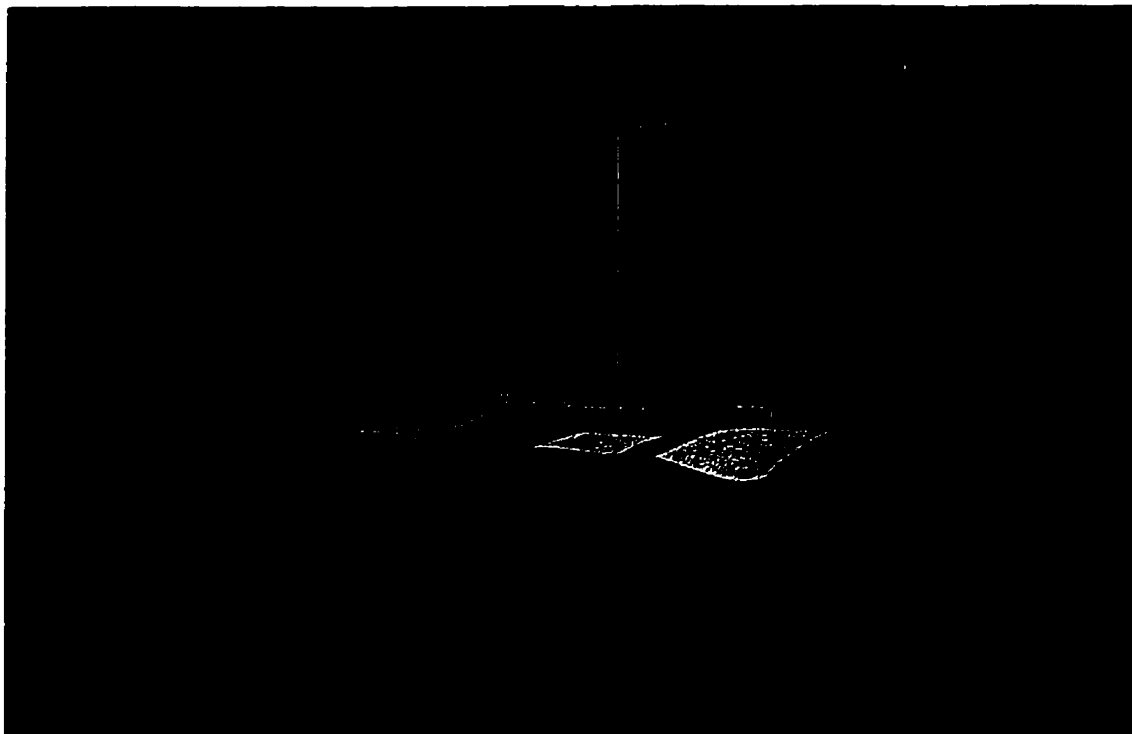


Figure 37 : Terrains en volume de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal comprenant un lot encadré de son hexaèdre de référence

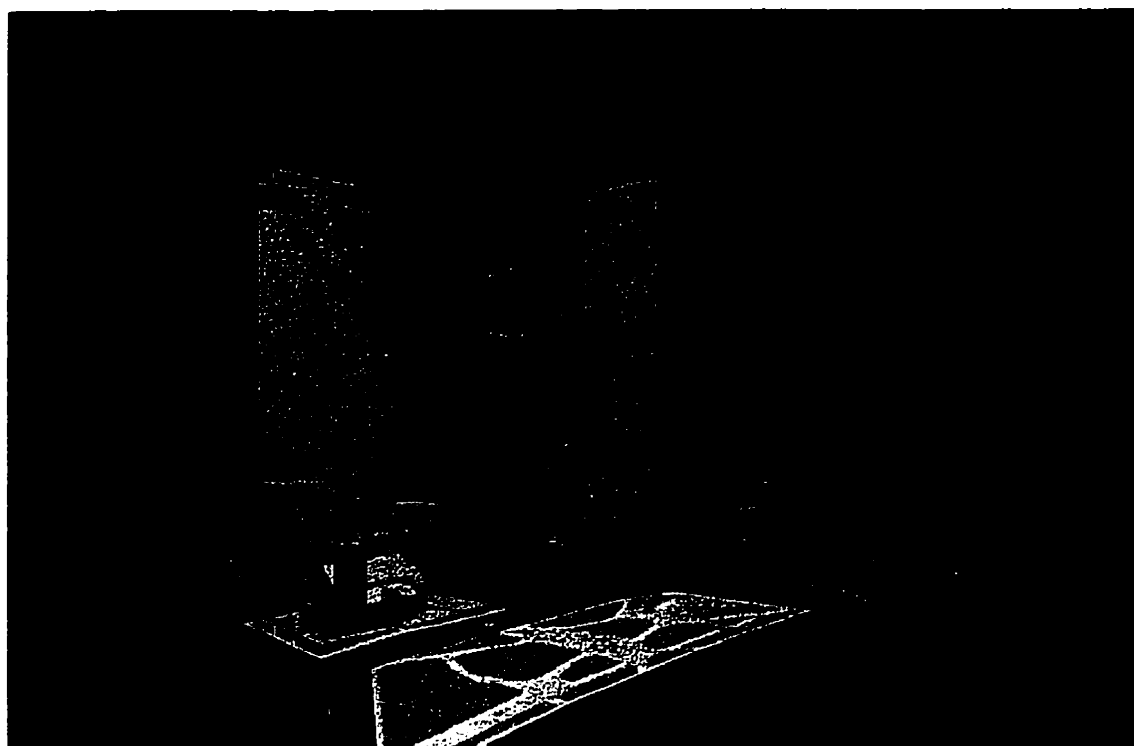


Figure 38 : Six îlots de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal comprenant leurs terrains et leurs bâtiments ou espaces verts

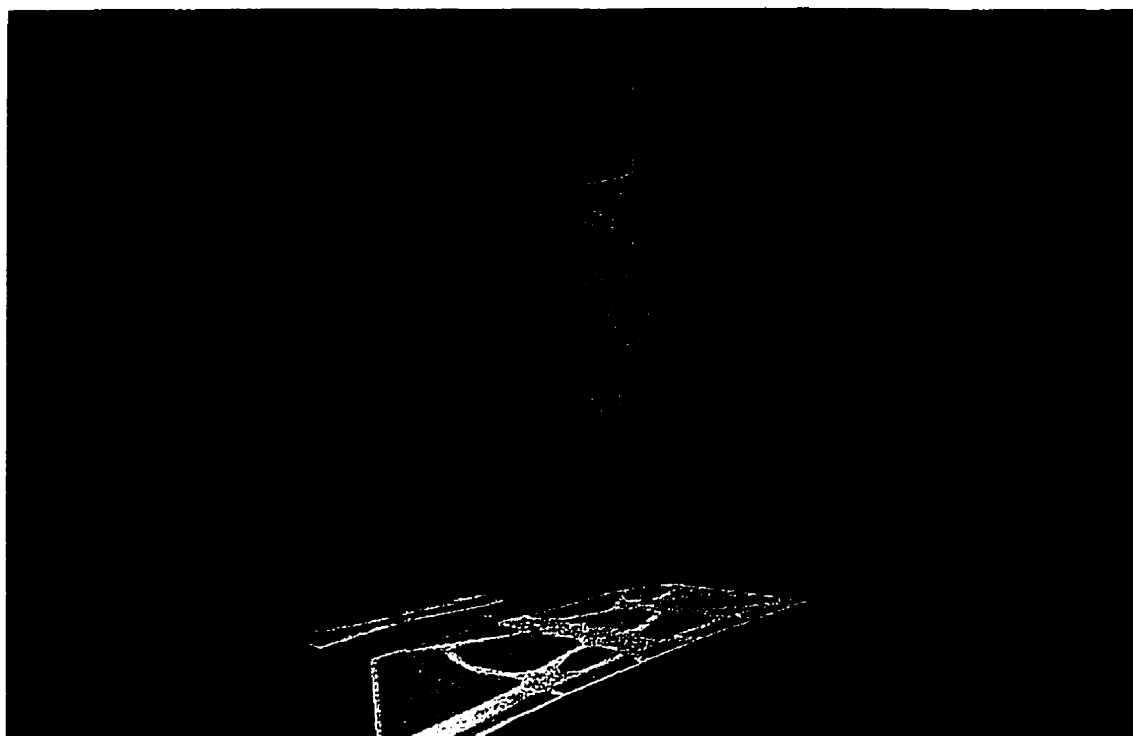


Figure 39 : Visualisation de l'article du règlement d'urbanisme portant sur le recul sur rue

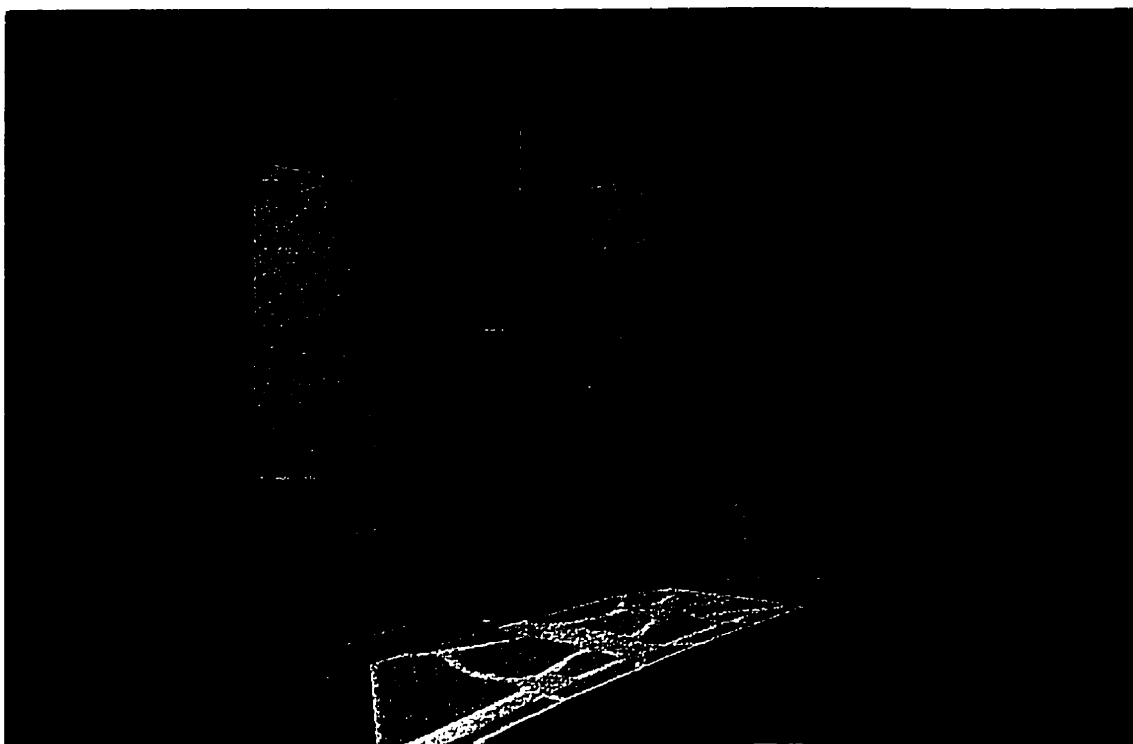


Figure 40 : Visualisation de l'article du règlement d'urbanisme portant sur la hauteur limite totale

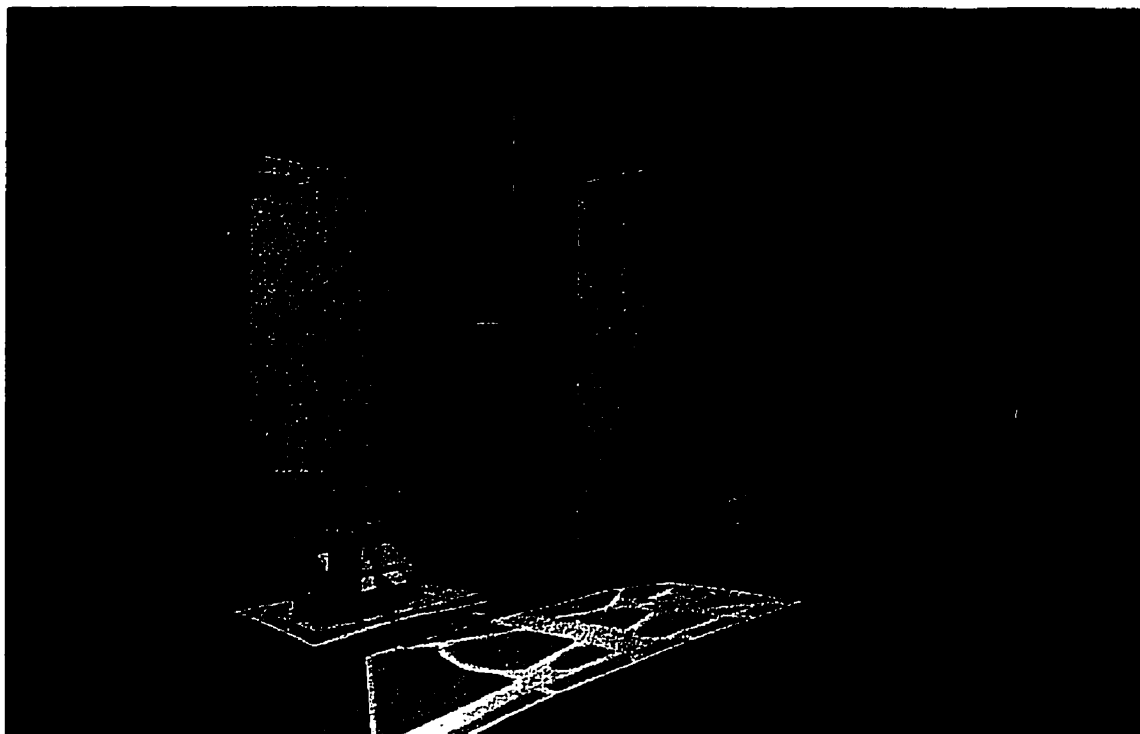


Figure 41 : Visualisation de l'article du règlement d'urbanisme portant sur les hauteurs maximale et minimale sur rue

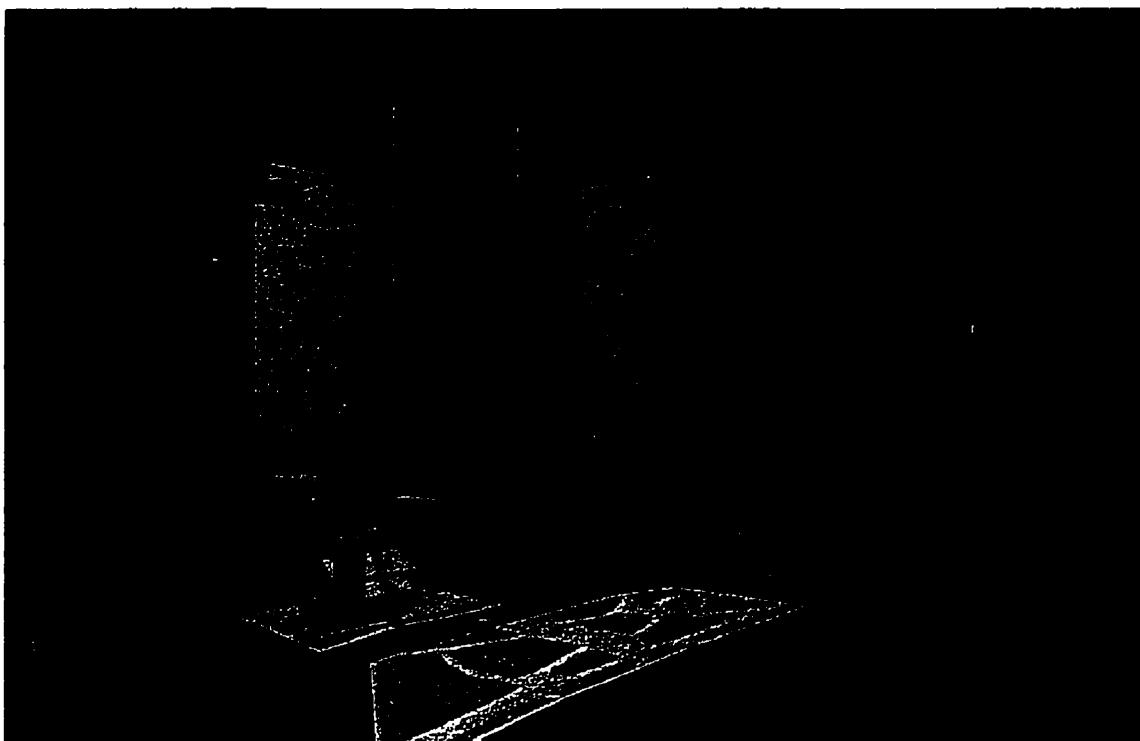


Figure 42 : Visualisation de l'article du règlement d'urbanisme portant sur l'ensoleillement d'un parc public

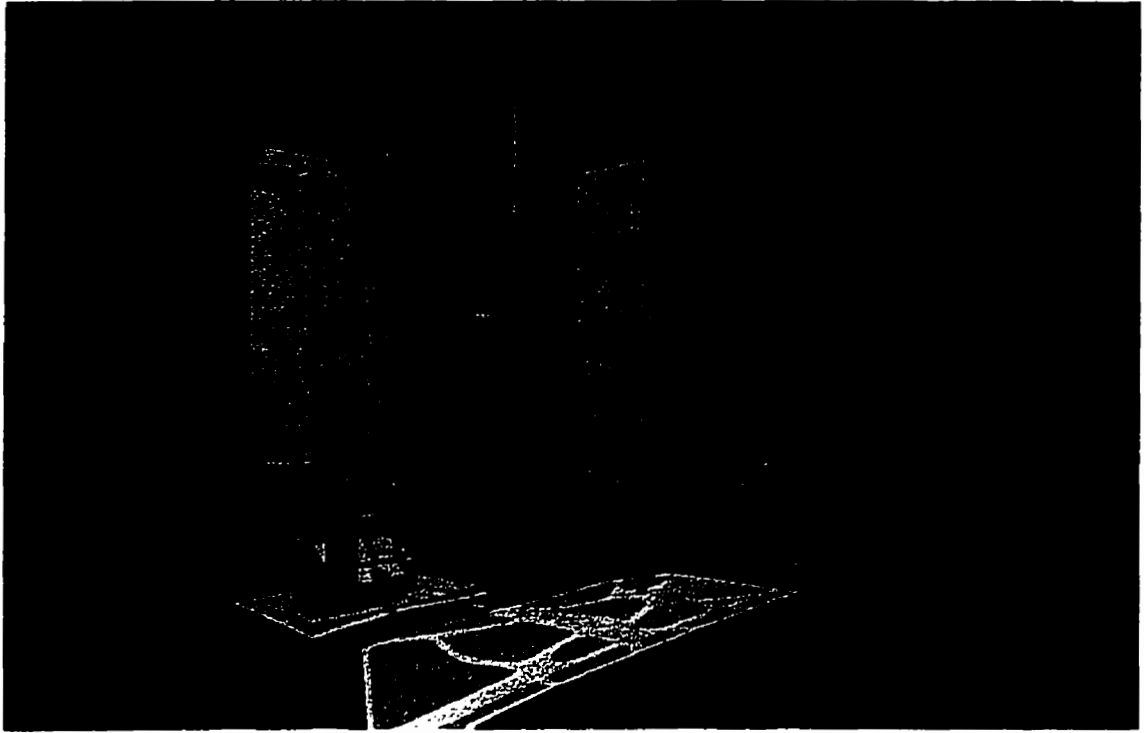


Figure 43 : Visualisation de quatre articles du règlement d'urbanisme portant sur le (1) recul sur rue, les hauteurs limites (2) maximale, minimale et (3) totale ainsi que l'ensoleillement d'un parc public

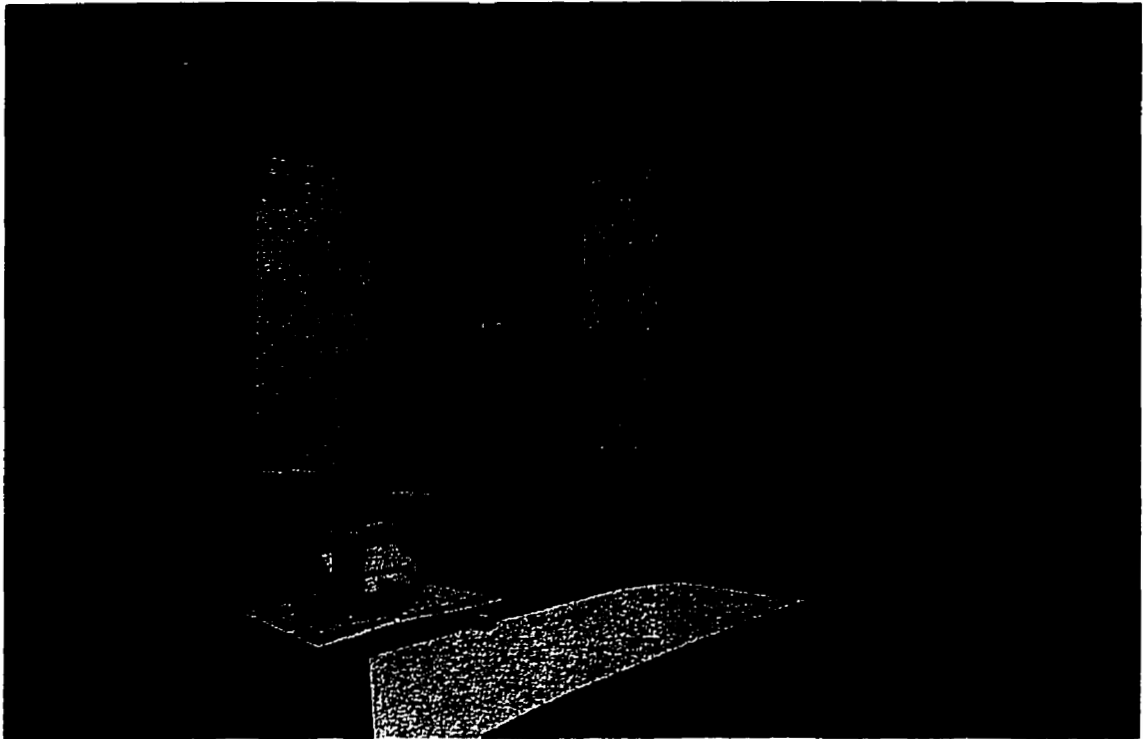


Figure 44 : Visualisation d'une affectation d'informations à différentes parties de bâtiments

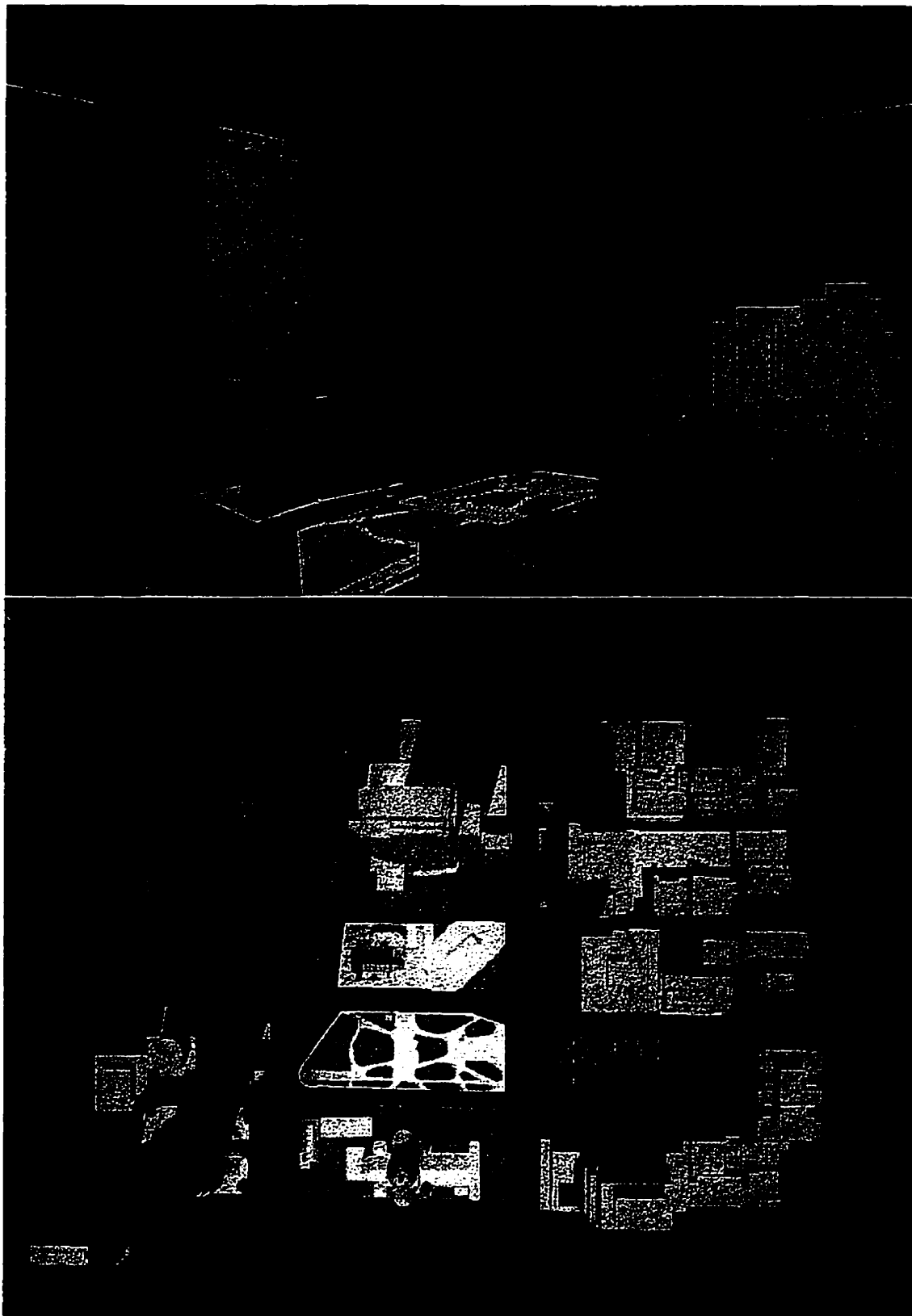


Figure 45 : Vue vers le Nord-Ouest et vue aérienne d'une partie de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal

aux parties qui ne sont pas conformes à l'article, eu égard aux valeurs fixées pour ces reculs.

L'article portant sur la hauteur limite totale pour un bâtiment est illustré en figure 40. La variable de la *fonction* traduisant cet article est cette hauteur. Les parties des bâtiments qui sont en dessous des deux volumes reproduisant la forme du terrain à une certaine altitude seraient alors conformes au règlement d'urbanisme pour la hauteur considérée. De la même façon, l'article portant sur les hauteurs minimale et maximale sur rue est présenté en figure 41. L'application de cet article est semblable au précédent à l'exception de la reproduction de la forme du terrain à deux altitudes différentes. Dans ce cas, la *fonction* traduisant cet article a pour variables ces deux hauteurs minimale et maximale.

Enfin, l'article portant sur l'ensoleillement d'un parc public est visualisé en figure 42. Cette figure montre, en rouge, la partie du volume d'un bâtiment portant ombre, le 21 décembre à midi, sur le parc public situé plus au nord. Avec la position du soleil et la désignation du parc en variables, la *fonction* traduisant la définition de cet article peut être considérée pour chaque lot de l'arrondissement Ville-Marie.

De plus, avec la modélisation d'actions il est également possible de visualiser l'application de plusieurs articles d'un règlement d'urbanisme à la fois. Il s'agit alors d'associer, dans un répertoire spécialisé, à la définition d'un lot par exemple, les définitions des différents articles à considérer. L'image de la figure 43 rend compte de l'évaluation d'une structure définissant des actions à laquelle la *fonction* génératrice a associé les définitions des quatre articles précédents. Compte tenu des valeurs qui ont été retenues pour l'application de chaque article, le volume en vert correspond au volume autorisé par le règlement d'urbanisme.

En figure 44, l'image traduit visuellement une affectation d'informations à deux bâtiments de la zone considérée. Cette affectation est réalisée en associant à chaque définition d'action permettant de produire le volume d'un bâtiment des définitions de la façon de subdiviser ce volume. Ainsi, en fournissant à la *fonction* écrite des mesures relatives, celle-ci peut les interpréter en volumes et leur associer des couleurs choisies. En figure 44, nous avons choisi de désigner par une même couleur la localisation de différentes catégories d'activités.

Finalement, en figure 45, deux vues générales de la zone considérée de l'arrondissement Ville-Marie sont présentées. Par rapport aux figures précédentes, la zone a été complétée par les volumes de nouveaux bâtiments. Pour ce faire, l'opération consiste à spécifier aux nœuds de l'arborescence de la zone, la dénomination des fichiers contenant les données géométriques relatives à ces bâtiments. En parcourant la liste qui rend compte

de cette arborescence, la *fonction* génératrice récupère alors ces données et, en produisant une structure définissant des actions, les associe aux définitions des lots auxquels ces bâtiments ont été rattachés.

Les résultats obtenus, c'est-à-dire les images des figures 37 à 45, montrent que la modélisation d'une façon de produire des structures définissant des actions peut également être considérée dans un contexte urbain. Ils valident donc la proposition de recherche dans un contexte autre que celui de la construction d'un édifice. Une même *fonction* génératrice de code a été mise à contribution pour la figuration d'informations à caractère différent.

Dans ce qui suit, nous allons discuter la modélisation d'actions pour la figuration en considérant les résultats qui ont été obtenus tout au long de ce chapitre.

CHAPITRE 10 : Discussion sur les résultats et la modélisation d'actions

Les résultats en images présentés au chapitre précédent ont montré que la proposition de modéliser des actions peut être considérée pour la figuration d'une solution architecturale. Le présent chapitre a pour objet la discussion de cette proposition à la lumière des résultats obtenus. Il poursuit un triple objectif, celui tout d'abord de considérer les avantages, les inconvénients ainsi que les conditions de la mise en œuvre d'une modélisation d'actions pour la communication en architecture. Il s'agit d'évaluer de façon critique la proposition de modéliser des actions pour la figuration en architecture et de la situer par rapport à ce qui existe déjà comme moyens pour la communication en architecture. Ceci permettra de voir quand, comment et pourquoi cette proposition peut être retenue.

Ensuite, il est question de voir de quels développements cette proposition pourrait encore bénéficier d'un point de vue instrumental et de quelles connaissances une personne pourrait avoir besoin pour la préparation d'un modèle définissant des actions. Autrement dit, ceci revient à examiner les conséquences possibles de la considération de la proposition de recherche pour la figuration en architecture. Il s'agit d'envisager la façon d'améliorer l'instrumentation et de considérer la formation nécessaire pour la mise en œuvre de cette proposition.

Enfin, il s'agit également d'examiner les avenues de recherche possibles permettant de développer davantage l'approche par modélisation d'actions proposée et les domaines de recherche qui pourraient en tirer avantage. Ce dernier but est à caractère projectif et permettra de conclure cette quatrième et dernière partie de la recherche.

10.1. Évaluation critique de la méthode pour la figuration proposée

La modélisation d'actions pour la figuration en architecture offre des avantages et présente également des inconvénients. Ces avantages et ces inconvénients dépendent à la fois de la façon dont peut être compris ce qui caractérise une modélisation d'actions, c'est-à-dire en particulier la démarche permettant d'obtenir une figuration, et des possibilités de traduction de cette compréhension sous une forme explicite, autrement dit, comme nous l'avons vu au moment de l'instrumentation de la proposition de recherche, un langage symbolique et un système géométrique.

10.1.1. Principaux avantages d'une modélisation d'actions

Les principaux avantages d'une modélisation d'actions sont au nombre de deux. Le premier est de pouvoir figurer des résultats variables d'un processus de conception et le

second est de disposer d'une description de la façon dont ce résultat a été obtenu. Outre le fait de pouvoir produire des figurations en 2 ou 3D d'une solution architecturale, à caractère statique ou dynamique¹, la modélisation d'actions permet également de considérer la transformation logique de cette solution et de voir comment elle a été produite.

- *Figuration en 4D*

Par définition, nous avons vu précédemment qu'un modèle définissant des actions peut être structuré. Dans ce modèle, des actions décrites sont mises en relation avec d'autres actions décrites. Pour réaliser un modèle définissant des actions, il est nécessaire de nommer des actions et de traduire une compréhension de liens entre ces actions. Une modélisation d'actions permet alors de figurer des résultats variables, c'est-à-dire en quatre dimensions (4D).

Elle offre le contrôle sur les caractéristiques visibles de ce qui est à figurer. Avec l'exemple de la lampe Tizio, nous avons vu que par l'intermédiaire d'une spécification particulière des arguments des expressions informatiques (*fonctions*) traduisant des définitions d'actions, il est possible de changer la position des bras de cette lampe. La couleur de différentes pièces de la lampe a également pu être modifiée. De la même façon, il aurait aussi été possible d'envisager la transformation de la forme géométrique de ces pièces. Cet accès aux caractéristiques visibles de ce qui est figuré est possible parce que l'information permettant de produire une figuration est articulée, nommée et transformable.

Avec les modes de figurations disponibles, y compris ceux préparés à l'aide de logiciels graphiques, l'information dont on peut disposer est principalement à caractère géométrique, dépouillée de toute signification en relation avec ce qui est figuré. Avec ces modes de figuration, les descriptions d'une chaise ou d'une maison sont identiques. Elles sont constituées de primitives géométriques, placées les unes à côté des autres, sans liens logiques ni distinctions sémantiques ou identifications particulières par rapport à leur référent. Par conséquent, il devient difficile de transformer ces descriptions sans avoir recours à des opérations préalables de reconnaissance et de traitement d'ordre géométrique. Et encore là, les résultats ne peuvent pas toujours être probants puisqu'à la base, la signification qu'une personne peut dégager de ce qu'elle perçoit relève plus, comme nous avons pu le constater en psychologie, de son expérience et de sa culture que d'une logique mathématique particulière.

¹ Voir W. J. Mitchell et M. McCullough (1995). Dans leur ouvrage, ils décrivent notamment comment, à partir d'un modèle tridimensionnel solide, il est possible d'obtenir les différentes vues 2 et 3D d'un objet (p. 266-267), faire fabriquer une maquette par une machine (p. 268) ou produire des animations (p. 289-312). Ils y présentent également les principales limites des logiciels disponibles pour la figuration architecturale.

Une modélisation d'actions permet de considérer différentes structures définissant des actions. Ainsi, non seulement les caractéristiques visibles de ce qui est figuré peuvent être modifiées mais peuvent également être mises en relation différemment. Cette possibilité de structurer autrement des définitions d'actions, comme nous l'avons vu avec les exemples de la construction de l'église Saint-Eustache et de l'application d'articles d'un règlement d'urbanisme au niveau de l'arrondissement Ville-Marie, permet d'intégrer la notion de temps à une figuration.

Ainsi, au lieu de préparer, à chaque temps t d'un processus de conception une nouvelle figuration (pour un résultat d'un processus de conception par exemple, comme cela est nécessaire avec les modes de figuration disponibles), une modélisation d'actions permet d'envisager des structures définissant des actions pouvant être modifiées au gré du développement de ce qui est à figurer. Pendant la production de structures définissant des actions, des définitions d'actions peuvent être modifiées, substituées par d'autres, ajoutées ou tout simplement supprimées. Par rapport à une structure définissant des actions précédente, une nouvelle structure peut être constituée de définitions d'actions permettant, par exemple, de spécifier un niveau de détails différents pour certaines caractéristiques visibles ou encore d'ajouter de nouvelles caractéristiques à ce qui est déjà figuré.

Un avantage d'une modélisation d'actions pour la figuration d'un résultat est donc la possibilité de considérer des transformations de ce résultat. Ces transformations peuvent être réalisées dans le temps. Autrement dit, à côté des trois dimensions de l'espace, le temps est considéré comme une autre dimension d'une solution architecturale qui peut ainsi être figurée en 4D.

Pour figurer, par exemple, l'évolution d'un bâtiment, l'édifice des Douanes à Montréal, à travers différentes périodes de l'histoire, C. Parisel et A.D.-H. Pho (1996) ont eu recours à une modélisation d'actions. Par leurs travaux, ils montrent notamment qu'un seul modèle définissant des actions permet de figurer et de maintenir une cohérence entre les transformations successives qui ont été apportées aux caractéristiques visibles de cet édifice. Les quatre images de la figure 46, en page 314, dont les deux premières présentent le plan de cet édifice en 1836 et en 1991, ont été obtenues à partir de ce modèle (Pho, 1996).

- *Savoir-faire consignés et accessibles*

Mais de plus, la recherche présentée au chapitre précédent a été fondée sur une consignation de définitions d'actions. Pour préparer la figuration d'une solution architecturale, une personne est amenée à traduire sa compréhension de la façon de réaliser des actions et leurs relations. Elle traduit en un langage symbolique un savoir-faire en matière de réalisation d'actions. Comparativement à la façon de préparer les modes de

figuration disponibles, la modélisation d'actions offre donc l'avantage de garder la trace de ce savoir-faire. Ceci rend alors possible non seulement une réflexion sur le processus qui a permis d'obtenir une figuration mais également de considérer des définitions d'actions en vue de les améliorer ou de construire de nouveaux modèles permettant de figurer d'autres solutions architecturales.

Aux chapitres 3 et 4, nous avons vu que chaque personne peut comprendre différemment un objet ou un environnement physiques. De même, au premier chapitre, nous avons vu qu'un acteur d'un processus de conception peut être intéressé par différentes dimensions d'une solution architecturale, sa praticabilité, sa technicité ou encore sa faisabilité. Par conséquent, pendant une modélisation d'actions ayant pour finalité la figuration d'un objet ou d'un environnement physique, chaque personne peut aussi organiser et consigner des définitions d'actions différemment d'une autre personne pour rendre compte de caractéristiques visibles qui sont fonction de ses intérêts dans un projet.

Le langage symbolique permettant de traduire des actions et leurs relations peut alors servir à garder une trace de la façon dont une personne a compris et préparé une figuration. Deux figurations d'un même résultat d'un processus de conception peuvent être d'apparence identique tout en ayant été produites à partir de structures définissant des actions différentes. C'est le savoir-faire de chaque personne qui peut faire la différence entre deux figurations en apparence identiques. L'examen de ce qui est consigné par écrit, les actions et leurs relations, permet de voir comment une personne a compris le contenu d'une figuration et comment elle l'a organisé. Avec une modélisation d'actions, des savoir-faire consignés contribuent à différencier des caractéristiques visibles. Une solution architecturale figurée peut désormais être appréciée d'un point de vue tant visuel que méthodologique. Par analogie au théâtre, une modélisation d'actions permet de voir le spectacle (image) d'une solution architecturale en scène ainsi que les coulisses de cette scène, c'est-à-dire comment ce spectacle est réalisé.

En ayant accès aux coulisses d'une figuration, c'est-à-dire en disposant d'une traduction écrite d'actions, il est possible de modifier la manière dont une figuration a été obtenue. Pour transformer une figuration, au lieu d'essayer, par exemple, de reconnaître avec un programme informatique une information à même le contenu de cette figuration (Mitchell, 1990, p. 218-220), il est possible de considérer la modification des définitions d'actions et leurs relations ayant permis d'engendrer cette figuration.

Nous avons vu que la transformation du contenu d'une figuration peut être considérée en accédant à des actions traduites et nommées, et donc identifiées. Pour réfléchir sur de nouvelles façons de mettre en relation des objets dont les caractéristiques visibles sont traduites dans une figuration ou redéfinir ces caractéristiques, une façon de faire peut

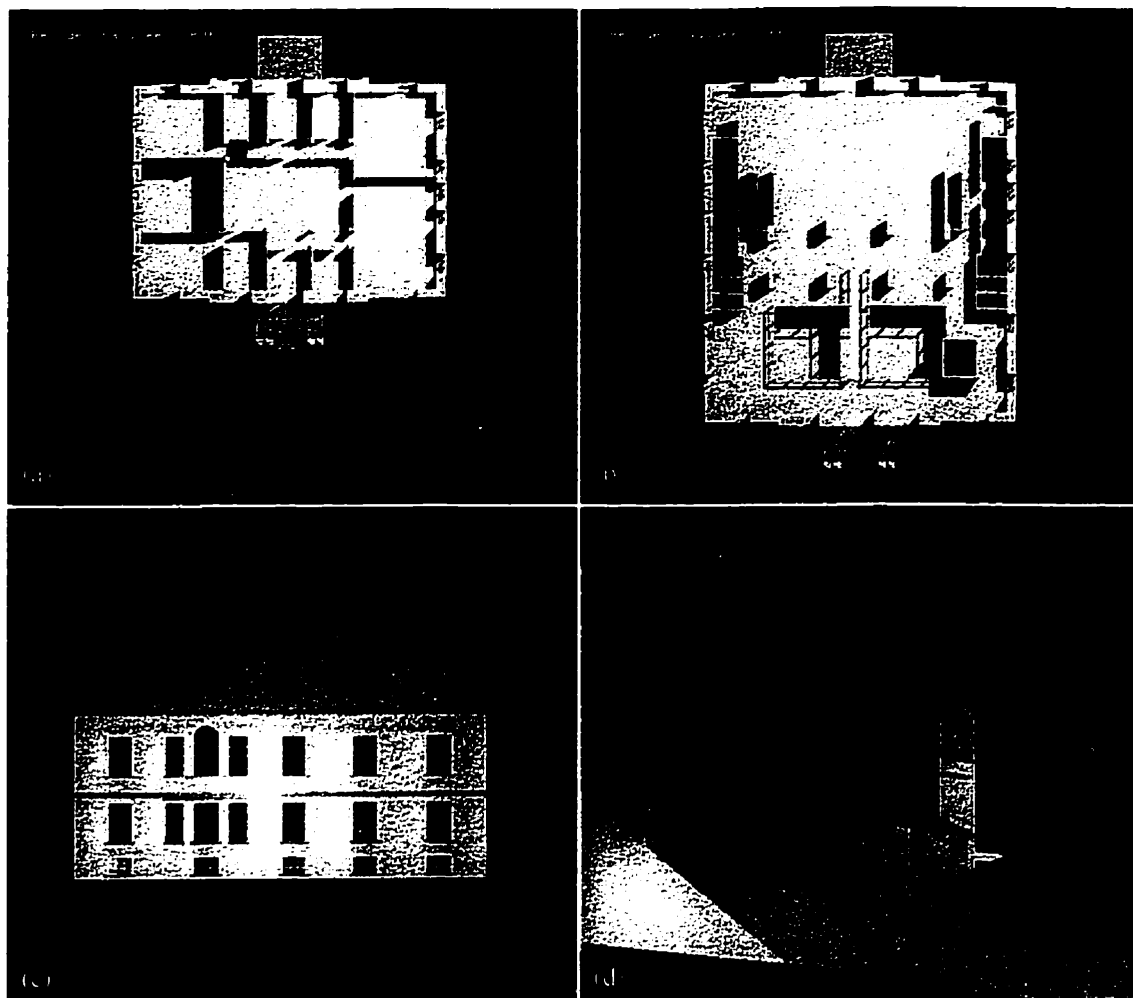


Figure 46 : Plans en 1836 (a) et 1991 (b), élévation (c) et axonométrie coupée (d) de l'édifice des Douanes à Montréal obtenus à partir d'une modélisation d'actions.

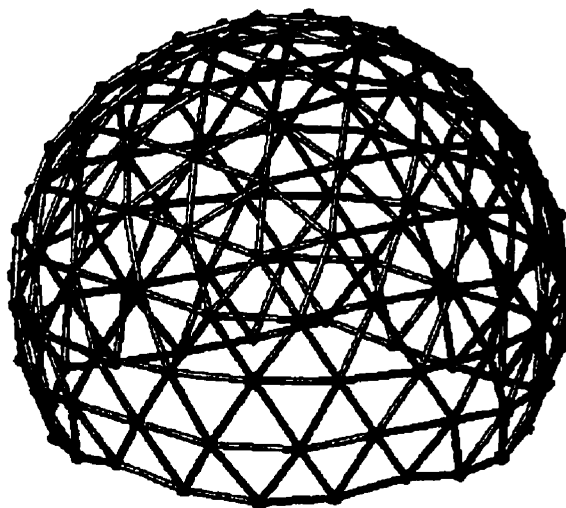


Figure 47: Dôme géodésique obtenu à partir de l'évaluation d'une *fonction* du langage fonctionnel

consister à traiter les expressions du langage symbolique ayant permis d'obtenir ces caractéristiques. Ce traitement peut alors être réalisé par d'autres actions traduites. En langage Scheme^o, cela peut revenir à réaliser un traitement de listes.

Rappelons que la transformation du contenu d'une figuration peut consister à maintenir une même structure définissant des actions et à en modifier uniquement les définitions des actions considérées. Ou bien encore, il est possible de considérer une réorganisation d'actions traduites et leurs relations, ce qui revient alors à définir une nouvelle structure définissant des actions. Dans les deux cas, les transformations peuvent être réalisées, comme dans l'exemple de l'église Saint-Eustache ou l'arrondissement Ville-Marie, par d'autres actions dont les définitions peuvent également être traduites sous la forme de *fonctions* du langage Scheme^o.

Un autre des avantages d'une modélisation d'actions est donc de disposer de définitions explicites pouvant être modifiées logiquement et dans un même environnement informatique. Il s'agit d'un savoir-faire non seulement consigné mais également transformable.

Une définition d'action traduite en une *fonction* d'un langage fonctionnel peut aussi être sauvegardée (dans un fichier) et réutilisée pour la préparation d'autres modèles définissant des actions. Il est possible de constituer des bibliothèques de définitions d'actions permettant d'obtenir différentes caractéristiques visibles d'un objet. Au fur et à mesure de la modélisation d'actions pour la figuration de différents résultats de processus de conception, ces bibliothèques peuvent être enrichies. Ainsi, au lieu de définir à nouveau des actions permettant d'obtenir des résultats identiques, une personne peut se référer à ses bibliothèques pour les définitions dont elle a besoin pendant la construction de son modèle et se concentrer davantage sur l'organisation d'actions. Comme une *fonction* renferme un savoir-faire permettant d'obtenir une caractéristique visible alors ces bibliothèques peuvent même traduire une certaine expérience en préparation de figurations.

Enfin, d'un point de vue plus technique cette fois-ci, un autre avantage de la modélisation d'actions se trouve au niveau de la façon de conserver des figurations. En effet, au lieu d'archiver des figurations, c'est-à-dire différentes vues ou les données géométriques d'un objet, la modélisation d'actions permet d'enregistrer uniquement des définitions d'actions ainsi que leurs relations. Pour obtenir ensuite des figurations, il s'agit de réexécuter l'évaluation d'expressions informatiques par l'interpréteur du langage Scheme^o et le système géométrique SGDL^o.

En termes informatiques, cela signifie un gain d'espace mémoire important. Des fichiers de figurations qui sont souvent sous la forme d'images numériques (binaires) ou

de données géométriques tridimensionnelles sont généralement de taille imposante (calculée en Mega-octets). Ils sont proportionnels à la dimension et à la résolution (en pixels) de l'image considérée, dans le premier cas, et au nombre ou la précision des différentes primitives géométriques et coordonnées enregistrées, dans le second cas. Avec un modèle définissant des actions par contre, les fichiers sont alphanumériques et de taille réduite. Leur taille est fonction du nombre de caractères employés pour traduire la définition d'une structure définissant des actions ou celle d'une action. Le fichier résultant¹ d'une modélisation d'actions est réduit notamment à cause de la puissance de description du langage fonctionnel Scheme^o et du système géométrique SGDL^o. La mise à contribution à plusieurs reprises d'une même définition d'action traduite permet également de réduire la taille d'un fichier d'un modèle définissant des actions. La réduction sera d'autant plus considérable que le processus est concis. Ainsi l'obtention d'un dôme géodésique, quelque soit sa complexité, peut se décrire au moyen d'une centaine d'octets alors que la structure de données géométriques résultant du processus peut représenter des gigats octets. Par contre, la réduction ne sera pas sensible si un objet est obtenu à partir d'une série de définitions d'actions qui ne sont pas liées ou qui ne s'enchaînent pas dans le cadre d'un modèle où les liaisons entre ces définitions sont traduites. On obtient alors un code informatique qui s'apparente au script.

- *Méthode d'intégration*

Nous venons de voir que la modélisation d'actions offre les avantages de pouvoir figurer une solution architecturale en quatre dimensions et de garder une trace de savoir-faire à l'origine des figurations produites. Mais ces avantages sont également amplifiés par le fait qu'ils sont considérés à partir d'une et même façon d'obtenir une figuration architecturale. La modélisation d'actions présente en effet l'intérêt d'une méthode pour l'intégration sous un format unique, c'est-à-dire un modèle définissant des actions, d'informations relatives à la fois (1) à la forme de cette solution, (2) à sa transformation et (3) à la façon de l'obtenir.

L'apport principal de la modélisation d'actions pour la figuration est donc une méthode d'intégration d'informations relatives à une solution architecturale de niveaux différents mais complémentaires. Ceci offre alors la possibilité, comme l'exemple de la modélisation d'actions dans le contexte de l'arrondissement Ville-Marie a permis de l'illustrer, de réunir sous un seul modèle des informations de nature et de provenances différentes. L'avantage de la modélisation d'actions pour la figuration architecturale se

¹ Par exemple, l'ensemble des définitions permettant d'obtenir des images de l'église Saint-Eustache à Paris tient à peine sur une disquette d'une capacité de 1.44 MB. Par contre, une seule image archivée comme celle en figure 36 occupe à elle seule 1.01 MB pour une dimension de 630 x 560 pixels (résolution de 220 pixels/pouce).

trouve principalement dans les coulisses, c'est-à-dire au-delà des caractéristiques visibles qu'elle permet de produire pour une solution architecturale.

10.1.2. Inconvénients d'une modélisation d'actions

Les inconvénients de la proposition de modéliser des actions pour la figuration en architecture peuvent être regroupés autour de considérations d'ordre soit instrumental soit méthodologique. Dans cette section de chapitre, nous aborderons les questions relatives aux limites dues à l'instrumentation de la recherche présentée au chapitre précédent. Les considérations d'ordre méthodologique qui font référence aux conditions de mise en œuvre d'une modélisation d'actions sont discutées à part, dans la prochaine section.

L'instrumentation de la modélisation d'actions a été articulée autour de deux niveaux, celui d'un langage symbolique et d'un système géométrique, tous deux considérés sur un support qu'est l'ordinateur. Les caractéristiques de chacun de ces niveaux peuvent impliquer des inconvénients ou limiter les possibilités d'une modélisation d'actions pour la figuration du résultat d'un processus de conception.

En ayant recours à un langage de programmation pour la traduction de définitions d'actions et de leurs liens, il est nécessaire de respecter un certain formalisme pouvant causer un certain inconvénient pour la modélisation d'actions. Mais il ne s'agit là que de contraintes habituelles de la programmation en informatique.

La caractéristique d'un langage de programmation comme Scheme^o, qui peut constituer un inconvénient majeur pour la modélisation d'actions, est que l'emploi efficace de ce langage nécessite une compréhension claire des actions considérées. Dans ce cas, la définition d'une action doit être logique et cohérente pour pouvoir être traduite en ce langage, ce qui demande une discipline rigoureuse pour la construction d'un modèle définissant des actions. Cette discipline peut ne pas convenir à une démarche de modélisation où les actions ne sont déterminées que partiellement par exemple.

Par contre, il est toujours possible de réduire l'exigence dans un cadre où les actions sont prédéterminées et inscrites à un menu d'une interface et où les relations entre ces actions ne sont pas définies formellement et s'expriment par la succession des décisions de l'utilisateur. On se retrouve alors avec le niveau de possibilités et d'exigences qu'offrent la plupart des outils de modélisation actuels.

Quant au système géométrique SGDL^o, ses limites se rapportent aux formes qu'il permet de traduire. La quadrique de ce système englobe déjà un certain nombre de primitives géométriques courantes, comme la sphère, le cylindre ou les polyèdres, qui permettent la traduction d'une assez grande variété de formes. Cependant, un solide de

révolution comme le tore ne peut être obtenu directement à partir de cette quadrique. La variété de formes pouvant être obtenues avec le système SGDL^o dépend du degré de l'équation mathématique considérée pour la définition de sa primitive unique. En élevant le degré de cette équation alors la primitive unique du système SGDL^o pourrait comprendre les définitions des primitives de la famille des cubiques (3^{ème} degré) ou des quartiques (4^{ème} degré) par exemple. Cette élévation en degré de l'équation pourra alors avoir pour conséquence une extension des possibilités de définition de formes avec ce système.

Le temps nécessaire à l'obtention d'une figuration à partir d'un modèle définissant des actions peut constituer un autre inconvénient de la méthode de figuration proposée. En effet, tant le système géométrique SGDL^o que le langage fonctionnel Scheme^o peuvent être lents à évaluer un modèle définissant des actions. Pour le système géométrique, la lenteur dépend surtout du nombre de primitives, de lumières et de la dimension de la surface de l'image à traiter pour obtenir une figuration. Pour le langage fonctionnel, la performance de calcul est proportionnelle au nombre d'opérations à effectuer pour évaluer les *fonctions* du modèle considéré. Il s'agit dans les deux cas de performances qui dépendent de la puissance de calcul des ordinateurs mis à contribution pour l'évaluation d'un modèle définissant des actions et, dans le cas du système SGDL^o, d'une absence d'optimisation volontaire¹ des algorithmes considérés en fonction de la puissance d'un ordinateur en particulier.

Entre le moment de la production des images insérées au chapitre 9 et la présente rédaction, la puissance de calcul des ordinateurs a doublé, voire triplé. Dans un proche avenir, le temps de calcul d'une image qui pouvait être de l'ordre des sept ou huit heures auparavant pourra probablement être ramené à quelques minutes, voire des secondes. Par conséquent, il est possible de considérer que le temps de calcul des ordinateurs constitue un inconvénient momentané pour la mise en œuvre de la modélisation d'actions et qu'il va être éliminé sous peu avec le perfectionnement rapide du matériel informatique disponible.

10.1.3. Conditions de mise en œuvre

Les plus importants inconvénients pouvant être perçus dans la recherche effectuée sont probablement ceux se rapportant aux conditions de mise en œuvre d'une modélisation d'actions. En effet, par rapport à la préparation d'un des modes de figuration disponibles, une modélisation d'actions implique un changement d'attitude vis-à-vis de la figuration d'une solution architecturale. De plus, elle nécessite aussi la compréhension d'une démarche

¹ Le système géométrique SGDL^o n'a pas été optimisé de manière à pouvoir être porté sur différentes machines.

permettant d'obtenir une figuration et de finalités considérées pendant une communication en architecture.

- *Un changement d'attitude*

J.-L. Le Moigne (1990) écrit que :

« [...] la tâche la plus importante du modélisateur n'est pas de **résoudre** un problème présumé déjà « *bien posé* » [...]. Elle est, de **formuler** le ou les problèmes qu'il s'avèrera pertinent de résoudre : il faut apprendre à résoudre le problème qui consiste à poser le problème ! » (p. 66).

Pendant la préparation des modes de figuration disponibles, le problème est considéré déjà posé. Il consiste à ramener les caractéristiques visibles d'un objet physique, supposé connu, sur un support comme le papier ou un écran d'ordinateur, par exemple. Il s'agit de retenir une méthode de figuration parmi plusieurs déjà définies dont nous en avons discuté au second chapitre.

Par contre, la modélisation d'actions implique la connaissance de ce à quoi son résultat, c'est-à-dire une figuration architecturale, va servir. Pour obtenir une figuration d'une solution architecturale, il est nécessaire de formuler le problème dont la solution est le modèle définissant des actions et permettant d'atteindre certaines finalités pendant une communication. Autrement dit, le problème pendant une modélisation d'actions est de comprendre les finalités qui vont être poursuivies avec une figuration architecturale et de trouver la façon de construire le modèle définissant des actions qui va permettre d'atteindre ces finalités.

En considérant une modélisation d'actions donc, c'est le projet de la figuration qui est mis en question. La modélisation d'actions pour la figuration d'une solution architecturale introduit un processus de formulation nouveau auquel des acteurs d'un processus de conception peuvent alors ne pas être accoutumés ou qu'il peuvent avoir à apprendre.

- *Compréhension d'une démarche*

Mais la modélisation d'actions pour la figuration architecturale nécessite également la compréhension d'une démarche. Alors que pour préparer un des modes de figuration disponibles, telle une triade plan-élévation-coupe ou une maquette, il est primordial de connaître l'apparence du résultat d'un processus de conception, pour considérer une modélisation d'actions il est surtout nécessaire de comprendre une démarche permettant d'obtenir ce résultat. Sans la compréhension de la démarche, un modèle définissant des actions ne peut être élaboré.

Une modélisation d'actions revient à déclarer la façon dont on a compris la construction de ce qui est à figurer. Avec l'exemple de la lampe Tizio, c'est à partir de la vue de cet objet qu'une compréhension a pu être construite et c'est en partant d'une interprétation de documents écrits et graphiques qu'une connaissance relative au processus de construction de l'église Saint-Eustache à Paris a pu être élaborée. En traduisant ces compréhensions en un langage symbolique et sous un système géométrique particuliers, nous avons vu que des figurations de la lampe et de l'église pouvaient être obtenues. Pour préparer un des modes de figuration disponibles, la compréhension de la géométrie de la lampe ou de l'église est suffisante.

Par conséquent, la considération d'une modélisation d'actions pour la figuration d'une solution architecturale implique une double condition : celle de (1) comprendre la façon d'obtenir les caractéristiques visibles de cette solution et celle (2) de pouvoir traduire en un langage symbolique et un système géométrique cette compréhension.

- *Finalités d'une figuration*

Par ailleurs, les compréhensions de la lampe et de l'église ont été élaborées en fonction de finalités particulières. Il s'agissait de figurer non seulement les caractéristiques visibles des formes mais également de consigner une articulation de bras, dans le cas de la lampe, et un processus de construction, dans le cas de l'église. Pour d'autres finalités, la lampe et l'église peuvent être comprises d'une autre façon et donner lieu à des modèles définissant des actions différents. Par exemple, en voulant étudier les déformations possibles des bras de la lampe sous la pression d'une force physique quelconque ou celles des piles de l'église considérées soumises à des surcharges d'exploitation, une personne peut comprendre ces objets en tenant compte des modèles théoriques de physique ou de résistance de matériaux qui vont lui permettre la réalisation de son étude. Le modèle définissant des actions résultant et traduisant cette compréhension peut alors convenir à cette étude mais pas nécessairement pour atteindre les finalités que nous nous étions fixés pour la figuration de cette lampe et cette église.

Pendant la préparation d'un mode de figuration, des finalités différentes sont également considérées mais d'une façon différente. Par exemple, pour la réalisation d'un projet d'architecture, plusieurs plans relatifs à l'électricité, à la plomberie, à la structure, etc. d'une solution architecturale peuvent être élaborés. Le point commun à ces plans est une forme géométrique (fond de plan) consistant en une projection de la forme de la solution architecturale sur une surface plane. À cette projection, on superpose ensuite les résultats considérés pour des actions relatives à l'électricité, la plomberie, etc. de la solution et susceptibles d'intéresser différents acteurs d'un processus de conception. Un plan d'électricité ou de plomberie sont des modes de figuration particuliers qui sont destinés à

un emploi spécifique, comme indiquer la position d'un réseau électrique ou une alimentation en eau. Autrement dit, la notion de finalité pour la préparation d'une figuration est déjà présente.

En modélisant pour la figuration, il s'agit cependant de considérer des finalités pendant la définition d'actions en tenant compte à la fois de la façon d'atteindre ces finalités et des résultats qui peuvent découler de ces actions. Plusieurs finalités différentes peuvent être poursuivies pendant la modélisation d'actions et cela de diverses façons. Lorsque des finalités précises sont poursuivies, nous avons vu qu'il est possible de considérer la modélisation d'une structure définissant des actions. Cette modélisation d'actions consiste alors à définir des actions et leurs relations d'une façon particulière, comme dans l'exemple de la lampe Tizio. Pour d'autres finalités que celles qui avaient été considérées, le modèle défini pour la lampe peut ne plus répondre. De ce point de vue, les résultats possibles de la modélisation d'une structure définissant des actions peuvent être rapprochés des modes de figuration disponibles, ceux élaborés pour des finalités déterminées.

Mais, comme nous l'avons vu avec les exemples de l'église Saint-Eustache à Paris et de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal, une modélisation d'actions peut également répondre à des finalités moins bien établies. Il s'agit de modéliser une façon de produire des structures définissant des actions. Ainsi, il est possible de mettre en relation des actions de différentes manières tout en étant en mesure de faire appel à d'autres actions définies. En fonction de la finalité considérée, les actions productrices des caractéristiques visibles d'une solution peuvent être organisées de la façon qui convient à cette finalité, élargissant ainsi les possibilités de figuration.

Une des limites de la modélisation d'actions est donc de ne pouvoir répondre qu'à un nombre limité de finalités à la fois. Dans certains cas relativement rares, comme la réalisation d'un dôme géodésique par exemple, cette limitation peut provenir du caractère même de ce qui à figurer. En figure 47, page 314, un dôme géodésique est présenté et a été obtenu à partir de la traduction en une *fonction* de la méthode mathématique qui le détermine. Ce dôme ne peut être obtenu que d'un certain nombre de façons limitées et donc la définition possible de l'action permettant de traduire ses caractéristiques visibles est restreinte à ces façons.

Autrement, advenant des finalités pour une figuration architecturale différentes de celles poursuivies pendant une modélisation d'actions, la construction d'un nouveau modèle définissant des actions peut s'avérer nécessaire. Cependant, contrairement à la modélisation d'une structure définissant des actions, la modélisation d'une façon de produire des

structures définissant des actions peut être considérée comme une alternative à l'élargissement des possibilités de poursuite de plusieurs finalités à la fois.

10.2. Besoins pour la modélisation d'actions

Compte tenu de ce que nous venons de voir, les besoins pour la modélisation d'actions peuvent être regroupés autour de deux principaux points ; celui de l'instrumentation et celui des connaissances nécessaires à cette modélisation. Il s'agit de directions à considérer d'une part, pour le développement de produits informatiques destinés à la figuration en architecture et, d'autre part, pour la formation des personnes susceptibles de préparer des figurations basées sur une modélisation d'actions. Le premier point se rapporte au domaine de l'informatique graphique et le second, à l'enseignement en architecture.

10.2.1. En informatique graphique

D'un point de vue instrumental, pour la modélisation d'actions, nous avons vu qu'il était nécessaire de recourir à la programmation informatique. Il s'agit de traduire par écrit des définitions d'actions en un langage symbolique de façon à pouvoir soumettre l'interprétation et l'évaluation de ces définitions à un ordinateur. Cependant, une personne qui prépare un modèle définissant des actions n'est pas nécessairement un programmeur et, de ce fait, la programmation et le formalisme d'un langage symbolique comme Scheme^o peuvent constituer un inconvénient majeur pour la préparation de ce modèle.

Un langage de programmation est une interface entre une personne et l'ordinateur et donc l'inconvénient de cette manière d'instrumenter la modélisation d'actions réside principalement au niveau de la façon dont cette interface est définie. Or, une interface peut être définie de différentes façons. Pour la modélisation d'actions, une des façons peut consister à considérer la programmation visuelle, par exemple (Shu, 1988). Il s'agit d'une programmation pendant laquelle une personne peut ne pas avoir à se soucier du formalisme d'un langage de programmation dont le contrôle est alors pris en charge par l'application qui gère l'interface. Une personne pourrait ainsi avoir recours à des icônes traduisant différentes *fonctions* du langage Scheme^o permettant la définition d'une action ou la mise en relation de plusieurs de ces définitions. Pendant la construction d'un modèle définissant des actions, l'interface peut traduire à la place de cette personne les définitions qu'elle élabore en expressions informatiques et ainsi écrire un programme informatique sans que cette personne en soit nécessairement avertie ou qu'elle s'en occupe formellement.

Des solutions à des problèmes d'ordre informatique posés par la modélisation d'actions sont donc disponibles ou peuvent être développées. Par conséquent, l'instrumentation de la modélisation d'actions telle qu'elle a été définie pendant la recherche

présentée au chapitre précédent n'est pas arrêtée et peut être améliorée. La condition pour que cette amélioration puisse être effective est que la recherche et le développement des produits informatiques destinés à la figuration puissent être orientés vers la résolution de ces problèmes. Autrement dit, si pour la figuration en architecture il y a un besoin de considérer la modélisation d'actions, alors les développements informatiques futurs pourraient apporter des solutions à des problèmes d'interface ou d'optimisation des temps de calculs pour l'évaluation de modèles définissant des actions. Ils pourraient également proposer des solutions nouvelles à la modélisation d'actions, comme par exemple l'évaluation parallèle de définitions d'actions. À l'aide d'ordinateurs à architecture parallèle, il pourrait être possible de considérer une distribution, sur différents processeurs de ces ordinateurs, de l'évaluation de définitions d'actions dont les réalisations sont envisagées simultanément. Ceci permettrait à la fois de diminuer les temps d'évaluation et de calcul d'un modèle définissant des actions mais surtout de figurer le temps, la quatrième dimension, encore plus efficacement.

10.2.2. En enseignement de l'architecture

Mais pour envisager la préparation de figurations telle qu'elle a été considérée dans la recherche effectuée, les principaux besoins se trouvent, sans doute plus qu'autrement, au niveau de la formation des personnes qui envisagent le modélisation d'actions pour la figuration d'une solution architecturale. Pour établir un modèle définissant des actions susceptible d'être mis à contribution pendant une communication en architecture, une personne est amenée non seulement à posséder des connaissances en géométrie et en informatique mais également et surtout à comprendre l'autre, c'est-à-dire la personne avec qui elle va communiquer en se servant du modèle.

Au niveau des conditions de la mise en œuvre de la modélisation d'actions, nous avons vu qu'une personne avait besoin de savoir formuler un ou plusieurs problèmes à résoudre (Le Moigne, 1990, p. 66). En communication architecturale, ces problèmes sont relatifs à la façon de rendre une solution intelligible. Par rapport à un curriculum de formation donc, l'implication de la recherche effectuée pourrait alors consister à mettre l'accent à la fois sur la compréhension de finalités des acteurs d'un processus de conception qui communiquent, et sur les méthodes permettant de traduire ou d'explicitier cette compréhension en des modèles définissant des actions.

La compréhension des finalités des acteurs d'un processus de conception peut être articulée, comme nous l'avons vu au premier chapitre, autour de concepts telles la praticabilité, la technicité et la faisabilité d'une solution architecturale. D'autres concepts pourraient probablement encore être distingués. Il s'agit de concepts à caractères particuliers

se rapportant à une solution architecturale comprise comme une réponse à un problème initial. Les finalités sont identifiables par rapport à des « façons » de faire usage, de développer des aspects techniques et de concrétiser une solution architecturale, autrement dit des savoir-faire. Par conséquent, la modélisation d'actions invite à considérer une formation pendant laquelle l'expression du lien entre un problème d'architecture et sa solution prend autant d'importance que l'explicitation de ce problème ou la présentation de cette solution. Une sensibilisation aux savoir-faire des acteurs d'un processus de conception est nécessaire. Il s'agit de valoriser des savoir-faire en les explicitant, en les discutant et en les développant. Les savoir-faire déterminent le résultat d'un processus de conception.

De plus, les finalités des acteurs qui participent à la réalisation d'un projet d'architecture s'inscrivent par rapport à une solution en développement. Pendant un processus de conception, les acteurs communiquent non pas relativement à une solution finale uniquement mais également par rapport à différents états intermédiaires de cette solution. Cela pourrait alors aussi signifier une formation à l'expression de la transformation d'une solution architecturale d'un état à un autre.

Par ailleurs, pour pouvoir instrumenter une modélisation d'actions, un besoin de formation en géométrie et en informatique est également nécessaire. La modélisation d'actions, comme nous l'avons vu, implique une connaissance de la géométrie en général et non pas uniquement la géométrie descriptive. Il s'agit d'apprendre des méthodes de géométrie qui permettent de raisonner sur la transformation des qualités d'une forme et non pas seulement ses mesures, autrement dit ses quantités. Quant à l'enseignement de l'informatique pour la modélisation d'actions, il peut consister à apprendre les concepts autour desquels cette science est articulée. De façon à pouvoir traduire des définitions d'actions et leurs relations, la formation peut consister à rendre compréhensible les possibilités et les limites des théories sur lesquelles l'informatique s'appuie pour développer des applications pour l'architecture. Au lieu d'apprendre à utiliser un logiciel en particulier, une personne pourrait apprendre les principes de fonctionnement de la catégorie à laquelle ce logiciel appartient et ainsi pouvoir envisager ces principes pour l'amélioration d'un modèle définissant des actions ou encore définir de nouvelles requêtes pour le développement de ces logiciels.

10.3. Avenues de recherche

Nous avons proposé une méthode alternative pour la figuration en architecture et il a été possible de la mettre à l'épreuve dans d'autres disciplines, que sont le design industriel (lampe Tizio) et l'urbanisme (arrondissement Ville-Marie). La définition de cette méthode

constitue une première tentative de réponse à des problèmes de figuration et, de ce fait, reste à être complétée et éprouvée davantage. Elle ouvre la voie à de nouvelles avenues de recherche qu'il s'agit d'explorer. Celles-ci peuvent être orientées tant vers un approfondissement des connaissances relatives aux finalités considérées par les acteurs d'un processus de conception que vers la définition des actions permettant de les atteindre avec une figuration architecturale.

Dans ce qui suit, nous allons tout d'abord discuter d'une avenue de recherche possible dont les résultats pourraient contribuer à consolider le projet de recherche dans son état actuel. Ensuite, nous essaierons de voir de quelle manière la modélisation d'actions pourrait aider à constituer une connaissance en matière de réalisation d'un projet d'architecture. En dernier lieu, nous verrons que la méthode pour la figuration proposée pourrait également être mise à contribution dans d'autres disciplines, là où la figuration de résultats peut être nécessaire à la réalisation d'actions.

10.3.1. Une réflexion sur les actions et les finalités

Le développement de la modélisation d'actions pour la figuration a besoin d'être soutenue par une réflexion sur les notions d'action et de finalité chez des acteurs qui participent à un processus de conception. À cet effet, l'avenue de recherche qui peut être privilégiée est celle qui consiste à considérer les réflexions et les travaux de recherche menés dans plusieurs disciplines différentes. D. Polkinghorne (1983) écrit que :

« Human action is one of the subjects which divides the humanities from physical sciences. The humanities study human expressions and actions, implicitly accepting the notion that human beings are free to choose to do various things and that they will, at times, freely produce exceptional and creative expressions. The sciences, on the other hand, assume that the universe is ordered and that events are causally related. Human science methodology looks toward both humanities and the sciences as sources of knowledge about human phenomena, and it is therefore a crossing point for the two perspectives » (p. 169).

À l'exemple des sciences humaines, la compréhension des actions et des finalités des acteurs d'un processus de conception architecturale peut également bénéficier des connaissances développées dans des disciplines et à partir de points de vue différents. Nous avons vu, par exemple, qu'en psychologie cognitive et en psychologie de l'environnement, de nombreux travaux de recherche, orientés différemment, ont apportés des résultats souvent complémentaires qui permettent de mieux comprendre une personne et ses interactions avec le monde dans lequel elle vit. Il s'agit, pour la modélisation d'actions, de trouver une manière d'intégrer les connaissances disponibles qui permettraient de fixer

des objectifs pour des figurations architecturales susceptibles de répondre aux attentes des personnes qui les mettent à contribution.

Car, comme le mentionne G. T. Moore (1991), une théorie développée en une discipline particulière a également pour prérogative « the generalization to domains beyond the initial domain of the studies on which the theory is based ». Autrement dit, les explications apportées, les significations dégagées, les manques soulignés, les descriptions faites ou encore les solutions proposées dans différentes disciplines peuvent alimenter une réflexion sur la façon de figurer une solution architecturale (Rapoport, 1975). Si l'on considère la complexité des phénomènes qui peuvent être en présence pendant une communication architecturale, une réflexion (d'un point de vue architectural uniquement) sur les finalités et les actions de personnes qui communiquent pendant un processus de conception peut être insuffisante pour la modélisation d'actions. Il s'agit de personnes qui communiquent entre elles et donc c'est en essayant de comprendre ces personnes, leurs intentions et leurs démarches, qu'il est possible de constituer une connaissance susceptible d'aider à la modélisation d'actions pour la figuration en architecture.

Depuis quelques années déjà, plusieurs auteurs ont entamé une réflexion approfondie sur le processus de conception et les notions d'action et de finalité qui lui sont attachées (i.e. Prost, 1992 ; Heath, 1984 ; Schön, 1983, 1987 ; Simon, 1970). Ces auteurs ont jeté un éclairage nouveau sur la conception architecturale en acceptant de voir la complexité des processus auxquels plusieurs acteurs peuvent prendre part. C'est notamment cette réflexion qui nous a guidé dans la formulation de ce projet de recherche.

Toutefois, avec l'introduction de l'informatique en architecture, cette réflexion de fond est quelque peu occultée par d'autres réflexions, celles considérées en CAO, pendant lesquelles la technique informatique peut prendre une place prédominante. En effet, certaines de ces réflexions privilégient¹ une concentration soit sur une activité particulière d'un processus de conception, soit sur une façon d'améliorer les techniques de figuration disponibles. Ainsi, tandis qu'un premier volet important des travaux de recherche menés en CAO est consacré à essayer de faciliter (et parfois même de transcrire sur ordinateur) l'activité de formulation de solutions chez un acteur, un architecte (Mitchell, 1989 ; Akin, 1976, 1979, 1986, 1993), un second volet également important en nombre de travaux est

¹ Il est possible de le constater en examinant les sujets de recherche abordés à l'occasion de la dernière conférence mondiale sur la CAO en architecture, *CAAD Futures 1995* (Tan et Teh, 1995). Dans les comptes rendus de cette conférence, Thomas W. Maver de l'Université de Strathclyde, Glasgow, a d'ailleurs publié un article intitulé *CAAD's seven deadly sins* (Les sept péchés mortels de la CAO : i.e. (1) *Macro-myopia*, (2) *Déjà vu*, (3) *Xenophilia*, (4) *Unsustainability*, (5) *Failure to validate*, (6) *Failure to evaluate*, (7) *Failure to criticize*). De façon critique, il y considère les sujets de recherche abordés en CAO, et y souligne notamment la redondance des idées proposées en ce domaine depuis les cinq dernières années.

consacré à proposer des solutions techniques à des problèmes¹ posés par les modes de figuration disponibles (i.e. pour l'analyse de performances techniques d'un bâtiment, la distribution de données entre différentes applications, etc.).

Mais, quant au débat de fond qui consiste à réfléchir sur le problème de la conception architecturale dans son ensemble, un processus auquel plusieurs acteurs aux expériences, aux connaissances, aux façons de faire et aux finalités différentes peuvent prendre part et communiquer, il est généralement négligé par ces travaux. Ce débat commence à peine à être considéré chez certains auteurs (i.e. Mitchell, 1995 ; Harrison et Minneman, 1995 ; Bhat, Gauchel et Van Wyk, 1993), comme on peut le constater, par exemple, avec l'étude des possibilités de l'introduction en architecture de nouvelles technologies permettant la transmission de données à distance (télécopieurs, réseau internet, vidéoconférence, etc.). Au lieu d'employer le terme « conception » tout court, comme on le faisait auparavant, on parle à présent de « *Collaborative Design* » ou de « *Global Design studio* »², ce qui, depuis longtemps déjà, est au cœur de la réflexion des auteurs dont nous avons parlé en premier. Il aura ainsi fallu attendre qu'une nouvelle technologie soit développée pour que puisse être considérée, pendant les travaux de recherche en CAO, la pluralité des acteurs d'un processus de conception d'une façon explicite, en lui consacrant même une piste de recherche à part.

U. Flemming (1994) écrit :

« Research in computer-aided design that challenges established practice is potentially so exciting because it motivates us to reexamine every aspect of that practice and look at it with fresh eyes. » (p. 110),

et il poursuit en précisant :

« [...] I must stress that I am not falling into the trap of the technocratic fallacy that assumes that nontechnical problems have technical solutions. I believe that such problems as are caused by bad communication practices demand responses that go far beyond what computers can accomplish » (p. 110).

Autrement dit, l'auteur considère que la recherche et le développement d'outils informatiques pour l'architecture est l'occasion de réfléchir sur comment un processus

¹ Cette situation soulève un problème d'ordre éthique qui, comme le souligne A. Findeli (1994, p. 175), dénote « le fait que le développement technique ne trouve sa raison d'être qu'en lui-même ». On se concentre sur des finalités techniques en évacuant le processus de formulation du problème à l'origine de la solution qu'on cherche à développer.

² C'est d'ailleurs l'expression qui figure en titre de la page couverture des comptes rendus de la dernière conférence CAAD Futures '95 (Tan et Teh, 1995). Dans ces comptes rendus, le nombre d'articles consacrés à la collaboration entre acteurs d'un processus de conception architecturale est de quatorze alors que ceux des comptes rendus précédents était uniquement de trois (Flemming et Van Wyk, 1993). Ceci démontre l'intérêt de plus en plus grandissant qui est accordé par les chercheurs en CAO aux aspects de collaboration des acteurs qui réalisent un projet d'architecture.

de conception est réalisé et de comprendre¹ les acteurs qui y participent. Il n'est pas d'avis que les problèmes non techniques peuvent être résolus au moyen d'une solution informatique. En ce sens, il rejoint la position adoptée par D. Schön (1987) qui déclare que :

« It is not by technical problem solving that we convert problematic situations to well-formed problems ; rather, it is through naming and framing that technical problem solving becomes possible » (p. 5).

Finalement, c'est donc principalement à partir d'une compréhension et une réflexion sur les finalités et les actions des acteurs d'un processus de conception que notre projet de recherche peut être le mieux servi. Des solutions à des problèmes de communication en architecture ne peuvent être envisagées que lorsque cette réflexion réussit à définir ces problèmes. Une avenue de recherche pour la modélisation d'actions consiste alors à approfondir la compréhension des acteurs d'un processus de conception, leurs finalités et leurs actions, et ensuite à voir quelle stratégie adopter et quels moyens techniques retenir pour figurer une solution architecturale.

10.3.2. Échanges de savoir-faire en architecture

La modélisation d'actions peut aussi servir, à et être enrichie par, l'échange de savoir-faire entre acteurs du processus de conception. Comme un modèle définissant des actions permet de garder des traces de ce savoir-faire qui a été mis à contribution pour un projet d'architecture, il est alors également possible de réfléchir sur une façon de rendre disponible ces savoir-faire pour la réalisation d'autres projets. La compréhension d'un modèle définissant des actions élaboré pour un problème d'architecture peut aussi aider à la résolution d'autres problèmes semblables, formulés à l'occasion de projets d'architecture différents.

Les modes de figuration ont été définis pour garder une trace d'objets résultants d'un processus de conception et ont ainsi encouragé une culture de l'objet. Leur introduction a permis de développer un sens critique, un goût et un jugement en architecture de ce qu'ont réalisé les acteurs d'un processus de conception. Plusieurs revues d'architecture sont d'ailleurs consacrées à la présentation de ces réalisations et les textes qui accompagnent les images ou les dessins figurant ces réalisations commentent rarement la façon dont un projet d'architecture a été réalisé. Ces textes traduisent le plus souvent le discours qu'un chef de projet, un architecte en l'occurrence, a développé après la réalisation d'un projet

¹ La compréhension n'est cependant engagée que lorsqu'une nouvelle solution technique est avancée. L'auteur se sent même obligé de poursuivre en précisant que cette compréhension n'est pas influencée par cette nouvelle solution.

pour expliquer pourquoi telle ou telle solution a été retenue ou pour souligner et mettre en valeur les caractéristiques visibles qui rendent la solution formulée remarquable.

La modélisation d'actions pour la figuration architecturale remet à l'ordre du jour le savoir à l'origine de résultats en architecture. Contrairement au dessin par exemple, elle encourage une culture de la méthode pour arriver à un résultat, autrement dit une culture semblable à celle qui a prévalu chez les anciennes civilisations jusqu'à la Renaissance italienne. Elle constitue un moyen pouvant contribuer à restaurer cette culture de la méthode qui a été quelque peu délaissée depuis l'introduction du dessin pour la communication en architecture. Il s'agit de voir comment il peut être possible de raviver cette culture de la méthode. Si notre démarche pendant la recherche effectuée au chapitre précédent ne peut à elle seule être considérée pour ce ravivage elle constitue tout au moins un pas dans cette direction et permet de voir que des avenues de recherche pour ce ravivage peuvent être définies et explorées.

En d'autres disciplines, comme en médecine, en ingénierie, en sociologie ou en psychologie par exemple, cette culture de la méthode est depuis longtemps déjà bien implantée et contribue à l'avancement de leurs travaux respectifs. À titre d'illustration, lorsqu'un chirurgien tente une nouvelle greffe d'un organe chez un patient, en la réussissant ou pas, alors des chirurgiens de partout dans le monde vont s'intéresser à la méthode considérée par ce chirurgien pour cette intervention. Pour ces chirurgiens, le résultat de l'intervention témoigne de la méthode utilisée pour la greffe. Ainsi, en étudiant la méthode, ils peuvent trouver de nouvelles réponses aux besoins d'autres patients mais aussi améliorer la méthode initiale si la greffe a réussi.

Peut-on envisager, dans les revues d'architecture, l'explication des moyens d'actions utilisés à côté de la description de résultats de processus de conception ? Peut-on trouver une façon de s'échanger entre acteurs des expériences passées en mettant à contribution des modèles définissant des actions ? Et jusqu'à quel point les acteurs d'un processus de conception sont-ils prêts à communiquer relativement à des savoir-faire ? Il s'agit de questions de recherche parmi tant d'autres qui peuvent être considérées lorsque l'on envisage en architecture un retour à la culture de la méthode aux côtés de celle de l'objet.

10.3.3. Modélisation d'actions en d'autres disciplines

Les résultats obtenus au chapitre précédent permettent également d'entrevoir des avenues de recherche dans d'autres disciplines où la figuration peut constituer un support au raisonnement et à l'action de personnes qui ont à réaliser des projets dans un espace tridimensionnel. Il s'agit des disciplines où les résultats d'un processus de conception peuvent nécessiter une figuration en 4D et une considération de savoir-faire ayant permis

d'obtenir les résultats en question. Comme nous l'avons vu, la modélisation d'actions peut être envisagée en urbanisme et en design industriel mais elle pourrait également être mise à contribution en génie mécanique, en génie civil, en géographie, en histoire, etc.

À titre d'illustration, la définition des Systèmes d'Information Géographique (SIG) pourrait bénéficier d'une approche de la figuration des informations à caractère spatial basée sur une modélisation d'actions. En France par exemple, un programme du CNRS¹, nommé CASSINI², a été mis sur pied en 1993 dans le but d'explorer les possibilités d'intégration de la notion de temps aux modes de figuration utilisés au niveau des SIG. Les chercheurs³ de ce programme s'intéressent à l'introduction de la composante temporelle dans les bases de données spatiales, un intérêt que J.-P. Cheylan (1996) présente ainsi :

« The first group of interest in "time and spatial representation" emerges from 'genetic' hypotheses: the knowledge of the active and past processes underlying the observed 'reality' directly provides a good interpretation of the space organisation. Interaction between processes e.g. nature and society, or in another way, between social actors and/or decision makers managing space bears important explanation factors —the way, and the kind of urban growth explain one part of the urban structures showing successive rings—. In the same way, management measures that aim at the production of a required situation must be based on the ability to direct the active processes toward these purposes. There appears a need for information or knowledge about the active structures, their dynamics and inertia conditions.

A second group of interest in the representation of spatio-temporal dynamics came from the need for updated information, mainly in the situation of permanent data services. An updating mechanism should be more than a file transfer: how to manage user's information linked to disappearing features ? » (p.1).

La notion de temps et la façon dont des actions ont été réalisées peuvent donc être intéressantes pour l'étude de la transformation d'un espace géographique. Elles peuvent aider à comprendre et à définir des actions par rapport à cet espace. Cependant, pour atteindre leur objectif d'intégration des notions de temps et de transformation à la figuration des données relatives à un espace géographique, les chercheurs du CNRS considèrent notamment des traitements de bases de données. Ce faisant, ils sont amenés également à résoudre des problèmes liés aux notions d'échelle, de redondance de l'information, de précision géométrique des données spatiales, etc.

¹ Centre National de Recherche Scientifique français.

² Voir article 2 en annexe IV.

³ Réunis au sein du « Groupement de Recherche en Modélisation de l'Information Spatiale », GRMIS.

Nous avons vu plus haut qu'à cause du caractère intégrateur de la méthode que nous avons mise à l'épreuve pour la figuration de résultats d'un processus de conception, ces problèmes ne se posent plus, ou du moins, de la même façon¹. L'exemple de l'application d'articles d'un règlement d'urbanisme au niveau de l'arrondissement Ville-Marie à Montréal a permis de voir que la modélisation d'actions pouvait également être considérée dans un contexte urbain, autrement dit à une échelle autre qu'architecturale. Par conséquent, cette modélisation pourrait donc aussi être envisagée par rapport à un espace géographique étendu comme ceux couverts par des SIG. Mais, pour ce faire, une nouvelle réflexion sur les finalités de la figuration en géographie pourrait s'avérer nécessaire. Elle pourrait impliquer une avenue de recherche ayant pour objet d'étude la compréhension de la façon de produire et de traiter une information à caractère spatial en fonction d'une finalité exprimée.

Les résultats de notre recherche historique nous ont permis de voir que les problèmes que nous essayons de résoudre aujourd'hui au niveau des modes de figuration datent d'une certaine définition de la réalisation d'un processus de conception. Vers la fin du XVIII^e siècle, la figuration du résultat d'un processus primait sur celle de la façon d'obtenir ce résultat. Les modes de figuration développés dans ce cadre permettent de connaître les mesures, les formes et les couleurs d'un objet physique mais pas la façon qu'il a été produit. Différentes disciplines autres que l'architecture ont également hérité de cette façon de figurer un objet. Si les notions de temps et de façon d'obtenir un résultat pendant un processus de conception sont importantes pour la figuration dans certaines disciplines alors notre recherche de développement a permis de voir que la modélisation d'actions peut constituer une solution pour l'intégration de ces notions. Il reste alors à voir comment la modélisation d'actions peut être envisagée pour servir différents objectifs de la figuration dans chacune de ces disciplines.

¹ Lorsqu'il s'agit de précision géométrique. Cette précision est contrôlée par la définition traduite en *fonction* du langage Scheme[®]. La reconnaissance de caractéristiques visibles d'un objet peut se faire dans un modèle définissant des actions par traitement de définitions nommées et donc identifiées.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de la recherche était d'arriver à comprendre la communication en architecture ce qui implique comprendre les enjeux lorsque les personnes communiquent pendant le processus de conception ; en fonction de cette compréhension, nous envisageons rechercher un moyen susceptible de mieux répondre aux besoins de communication de ces personnes. Pour conclure ce travail, nous revenons sur la démarche de recherche qui a permis de proposer une méthode alternative pour la figuration architecturale. Ensuite, nous pourrions considérer les principales contributions de ce travail à la clarification de la problématique de la communication et de la façon de considérer l'informatique en architecture.

De la démarche de recherche

Notre proposition de modéliser des actions pour la figuration architecturale découle d'une démarche qui avait pour point de départ la question de recherche suivante :

À quelles fins et comment un moyen peut-il être mis à contribution pendant la communication en architecture ?

La réponse à cette question a nécessité une étude du processus de conception architecturale. Il s'agissait de comprendre la communication pendant le processus de conception. La question a nécessité tout d'abord que nous nous intéressions aux acteurs qui participent à cette conception et aux façons qu'ils adoptent pour communiquer afin de réaliser un projet d'architecture. Ensuite, elle a demandé l'étude des moyens disponibles pour la communication en architecture et l'examen de la façon dont les acteurs peuvent mettre à contribution ces moyens pour leur communication.

La compréhension de la communication en architecture a permis de relever deux discordances, qui ont été discutées à la fin de la première partie, entre les fins des acteurs pendant un processus de conception et les moyens disponibles pour la communication en architecture : alors qu'un acteur d'un processus de conception peut être intéressé à la fois par la façon de réaliser une action et par son résultat, les modes de figuration disponibles non seulement ne permettent de traduire que ce résultat mais, de plus, leur contenu peut être difficile à interpréter pour certains acteurs de ce processus.

Pour atteindre notre objectif de recherche, nous avons alors dû poursuivre notre démarche en précisant la question de recherche. Il s'agissait de voir de quels moyens de figuration pourraient se servir les acteurs d'un processus de conception pour communiquer relativement à une solution architecturale en développement.

Une réponse à cette question de recherche précisée a pu être apportée en menant trois recherches complémentaires et parallèles :

- En premier lieu, il s'agissait de conduire une recherche exploratoire portant sur les recherches réalisées en psychologie cognitive et en psychologie de l'environnement. L'objectif était de comprendre la façon dont on explique en psychologie les processus de la vie psychique d'une personne qui perçoit un environnement physique.
- En second lieu, nous avons réalisé une recherche historique portant sur le développement des moyens disponibles pour la communication en architecture. L'objectif était de comprendre les intentions et les motifs des personnes qui ont développé les moyens de communication utilisés pour réaliser un projet d'architecture.
- En dernier lieu, nous avons effectué une recherche de développement qui consistait à proposer une méthode alternative pour la figuration d'une solution architecturale. L'objectif était de définir et de valider une méthode de figuration en fonction des connaissances et des moyens techniques à notre disposition, en tenant compte des résultats obtenus aux deux recherches précédentes et notamment de la technologie informatique disponible.

Chacune de ces trois recherches (exploratoire, historique et de développement) a été basée sur une méthodologie de recherche qui lui était propre et a permis d'obtenir des résultats permettant de répondre positivement à l'objectif de recherche que nous nous étions fixé.

Les travaux de recherche réalisés en psychologie cognitive et en psychologie de l'environnement ont permis de voir quels sont les phénomènes qui peuvent entrer en considération chez une personne pendant sa perception d'une solution architecturale et ce qui peut favoriser sa compréhension d'une solution figurée. Ils ont notamment permis de discerner chez une personne entre deux dimensions de la perception visuelle, physiologique et téléologique. Alors que la dimension physiologique permet à une personne de se constituer une représentation mentale à partir de ce que l'organe de la vue enregistre comme intensités lumineuses sur la rétine de son œil, la dimension téléologique oriente et particularise la perception de chaque personne en fonction notamment de ses finalités d'action dans un environnement physique donné. Afin de favoriser la compréhension d'une solution architecturale, l'étude de ces deux dimensions de la perception visuelle nous a alors amené à voir qu'un moyen de communication devait permettre la figuration

tridimensionnelle, dynamique et sélective d'une information se rapportant à un édifice, fonction des particularités de chaque personne qui participe à un processus de conception.

Quant à la recherche portant sur l'histoire des moyens de communication en architecture, en nous intéressons aux différentes façons qui ont permis à des acteurs d'un processus de conception de communiquer et de réaliser des projets d'architecture ainsi qu'aux finalités qu'ils ont poursuivi en développant les moyens pour cette communication, nous avons également pu tirer certaines conclusions pour notre recherche. Il a été possible de découvrir que les choix fait par le passé pour la définition des moyens de communication ne vont pas nécessairement dans le sens des besoins de la compréhension d'une solution architecturale. Il a été possible de constater, par exemple, que le dessin d'architecture en deux dimensions — c'est-à-dire en plan, coupe et élévation — a été développé pour garder une trace « précise » d'édifices anciens (ruines de la Rome antique) ou encore que sa diffusion, une fois sa définition complétée par une géométrie « scientifique » (géométrie descriptive), devait servir, à l'exemple du travail dans les manufactures, à industrialiser la production en architecture. Par contre, avant l'introduction de ce genre de dessin, c'est-à-dire avant la Renaissance italienne, l'intérêt des acteurs du processus de conception allait plus vers les moyens permettant de communiquer relativement à la façon de réaliser un projet d'architecture et moins vers ceux permettant de rendre compte du résultat escompté. C'est la parole, le geste et le dessin schématique qui pouvaient convenir à la réalisation d'un projet d'architecture avant l'introduction du dessin en architecture.

La recherche de développement a permis d'envisager une façon de résoudre les deux discordances, relevées à la fin de la première partie, entre les fins des acteurs pendant un processus de conception et les moyens de communication utilisés par rapport à la visibilité d'une solution architecturale. Nous avons remis en question la façon de définir une figuration pour la communication en architecture et nous avons révisé les objectifs pour cette figuration. Il s'agissait de trouver une réponse à la perception visuelle, aux dimensions physiologique et téléologique, d'un acteur qui participe à un processus de conception en considérant les actions qui permettent d'obtenir un résultat architectural et non pas uniquement le résultat de ces actions. La méthode alternative qui a été proposée et mise à l'épreuve pour la figuration architecturale remet à l'ordre du jour une compréhension des notions de devis, de parole ou de geste permettant de traduire une façon d'obtenir un résultat pendant le processus de conception que les anciens, Grecs, Romains ou Goths notamment, avaient déjà considéré par le passé lointain.

Notre démarche de recherche nous a permis de vérifier l'hypothèse de recherche qui consistait à dire qu'avec les moyens informatiques disponibles, il est possible de figurer une solution architecturale de façon à résoudre les deux discordances relevées

entre les fins des acteurs pendant un processus de conception et les moyens disponibles pour la communication en architecture.

Contribution de la recherche

La recherche apporte une contribution à la communication pendant le processus de conception architecturale à deux niveaux : celui tout d'abord (1) d'une compréhension critique de cette communication ainsi que des moyens qui lui ont été rendus disponibles et celui ensuite (2) d'une méthode alternative pour la figuration d'une solution architecturale, pendant qu'elle est encore en phase de développement.

En effet, la démarche de recherche dont nous venons de rappeler les grandes lignes a permis d'élaborer une compréhension de la communication en architecture considérant les finalités des acteurs pendant un processus de conception, les caractéristiques de la solution architecturale relativement à laquelle ils communiquent et la définition des moyens qui sont disponibles pour cette communication. Ainsi, nous avons pu voir que ces acteurs peuvent se distinguer non seulement par leurs connaissances et leurs expériences mais également par une différenciation de leurs intérêts dans un projet d'architecture. Ces acteurs peuvent également être intéressés par la façon d'obtenir un résultat ou de réaliser différentes actions et par le résultat ou le produit escompté après la réalisation de ces actions. En communiquant relativement à une solution architecturale ou des actions à réaliser pendant un processus de conception, ils considèrent cette solution en développement, c'est-à-dire qui peut encore être transformée pour répondre à un problème d'architecture pouvant lui-même être encore en formulation. En somme, la communication en architecture a pu être comprise comme un processus d'échange entre différentes personnes pouvant comprendre, et avoir besoin de comprendre différemment, une solution architecturale en formulation pour leurs actions et en fonction de leurs intérêts dans un projet d'architecture.

L'examen des moyens disponibles pour la communication en architecture a permis de souligner leurs limites pour la figuration d'une solution architecturale pendant le processus de conception. Ainsi, les acteurs d'un processus de conception peuvent difficilement envisager des moyens plus appropriés à cet égard lorsqu'ils communiquent relativement à des façons de parvenir à un résultat pendant ce processus de conception. De plus, les moyens disponibles permettent de figurer une solution architecturale avec des caractéristiques visibles arrêtées, autrement dit une solution considérée comme n'ayant plus à subir des transformations de ses caractéristiques. De même, pour comprendre la forme tridimensionnelle d'une solution en considérant ces moyens disponibles actuellement il est souvent nécessaire de recourir à plusieurs modes de figuration à la fois, une exigence

- amenée en grande partie par une disposition géométrique consistant à ramener un objet en
 - trois dimensions (3D) à deux dimensions (2D) uniquement.

Une autre contribution de notre recherche est d'avoir mis en perspective le développement des moyens disponibles pour la communication en architecture. Cette mise en perspective a permis de voir d'où proviennent les limites des moyens disponibles pour la communication et ce qui a motivé la définition originale de ces moyens. Elle a également permis de voir les différentes autres façons que des acteurs ont pu considérer pour communiquer pendant un processus de conception architecturale.

La compréhension de la communication des acteurs qui réalisent un projet d'architecture et de la définition des moyens disponibles pour cette communication a permis alors d'envisager au moins une alternative pour la figuration d'une solution architecturale. Il s'agit de la deuxième contribution majeure de notre recherche qui consiste en une proposition d'une méthode pour la figuration qui tire avantage des possibilités offertes en informatique.

Cette méthode, qui est le résultat de notre recherche de développement, permet d'intégrer sous une même forme, comme nous avons pu le voir, différentes informations pouvant se rapporter à différents aspects d'une solution architecturale. La modélisation d'actions a été proposée pour répondre à une perception visuelle à la fois physiologique et téléologique d'un acteur qui participe à un processus de conception. De cette façon, il est alors possible de figurer une solution architecturale en quatre dimensions (4D) tout en gardant une trace de son évolution, c'est-à-dire en ayant accès à la démarche (et le savoir-faire qui l'accompagne) ayant permis de définir les caractéristiques visibles de cette solution. La mise à l'épreuve de la modélisation d'actions a permis de voir que cette méthode de figuration pouvait être envisagée de différentes façons. De plus, elle peut être considérée dans différents contextes où l'on a besoin de traiter d'un savoir qui permet d'arriver à un résultat —dans notre cas : les caractéristiques visibles d'un futur objet physique, un bâtiment.

L'esprit avec lequel notre méthode alternative pour la figuration a été développée se base sur l'intégration de technologies nouvelles aux besoins d'une compréhension de la façon de communiquer pendant un processus de conception architecturale. Les avenues de recherche qui peuvent être proposées pour les recherches complémentaires sont celles qui peuvent enrichir la compréhension de la façon de faire en architecture. Il s'agit de développer les sciences de la conception et voir comment l'informatique, comme technologie nouvelle, peut être mise à contribution pour le travail de conception en architecture. En cela, la présente recherche a certainement suscité un intérêt pour les nouvelles façons de voir l'intégration de l'informatique en architecture. Mais, beaucoup

de recherche sur cette question de l'intégration reste à faire. Les résultats obtenus en modélisant des actions pour la figuration en architecture nous encouragent à poursuivre notre démarche de recherche. Nos résultats invitent également à voir comment la modélisation d'actions pourrait être mise à contribution dans d'autres domaines où la figuration peut constituer un support au raisonnement et à l'action d'acteurs d'un processus de conception à l'occasion duquel il s'agit de formuler et de résoudre des problèmes dans un espace tridimensionnel.

SOURCES DOCUMENTAIRES

- _____. Cassini, un programme d'étude du CNRS pour éclairer les zones d'ombre des SIG, dans *Diagonal*, décembre 1995. p. 116.
- ABELSON, Harold, SUSSMAN, Gerald J. et SUSSMAN, Julie (1989). *Structure et interprétation des programmes informatiques*. Paris : InterEditions.
- ADELSON, B. (1984). When novices surpass experts : The difficulty of a task may increase with expertise, dans *Journal of experimental psychology : learning, memory & cognition*. 10, pp. 483-495.
- AKIN, Ömer (1993). Architects' reasoning with structures and functions, dans *Environment and planning B : Planning and design*. vol. 20, pp. 273-294.
- AKIN, Ömer (1986). *Psychology of architectural design*. Londres : Pion.
- AKIN, Ömer (1982). Representation and architecture, dans Ömer Akin et Eleanor F. Weinel (éds.), *Representation and Architecture*. Silver Spring, Maryland : Information Dynamics. pp. 1- 26.
- AKIN, Ömer (1979). *Models of architectural knowledge : An information-processing view of design*. University microfilms, No. 72-8621.
- AKIN, Ömer (1976). How do architects design, dans J. C. Latombe (éd.), *Artificial intelligence and pattern recognition in computer aided design*. IFIP. North Holland Publishing, pp. 65-104.
- ALEXANDER, Christopher (1964). *Notes on the synthesis of form*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- ALEXANDER, Christopher, DAVIS, Howard, MARTINEZ, Julio et CORNER, Donald (1985). *The production of houses*. New York : Oxford University Press.
- ALEXANDER, Christopher, ISHIKAWA, S., SILVERS et M., JACOBSON (1977). *A Pattern Language : towns, buildings, construction*. New York : Oxford University Press.
- ALTMAN, Irwin et GAUVAIN, Mary (1981). A Cross-Cultural and Dialectic Analysis of Homes, dans Lynn S. Liben, Arthur H. Patterson et Nora Newcombe (éds.), *Spatial Representation and Behavior Across the Life Span : theory and application*. New York : Academic Press. pp. 283-320.
- AMSTRONG, Jeffrey Kent (1988). *The homeowner as designer : A method for improving Architect-Client Communication*. Montréal : Mémoire de M.Sc.A., Université McGill.
- ANDERSON, J.R. (1977). Arguments concerning representations for mental imagery, dans *Psychological review*, 85, pp. 249-277.
- APPLEYARD, Donald (1969). Why buildings are known : a predictive tool for architects and planners, dans *Environment and Behavior*, vol. 1, pp. 131-156
- APPLEYARD, Donald (1970). Styles and methods of structuring a city, dans *Environment and Behavior*, 2, pp. 100-117.

- ARGAN, Giulio Carlo (1990). L'architecture de Brunelleschi et les origines de la théorie perspective au XVe siècle, dans Giulio Carlo Argan et Rudolf Wittkower (éds.), *Perspective et histoire au Quattrocento*. Paris : Les Éditions de la Passion. pp. 9-52.
- ARNHEIM, Rudolf (1986). *Dynamique de la forme architecturale*. Bruxelles : Pierre Mardaga.
- BADAWY, Alexander (1966). *A History of Egyptian Architecture ; The First Intermediate Period, the Middle Kingdom, and the Second Intermediate Period*. Berkeley : University of California Press.
- BARRE, André et FLOCON, Albert (1968). *La perspective curviligne : de l'espace visuel à l'image construite*. Paris : Flammarion.
- BATH, Raghu R., GAUCHEL, Jupp et VAN WYK, Skip (1993). Communication in cooperative building design, dans Ulrich Flemming et Skip Van Wyk (éds.), *CAAD Futures '93*. Amsterdam : North-Holland. pp. 481-493.
- BAYARD, Jean-Pierre (1977). *Le Compagnonnage en France*. Paris : Payot.
- BEAUDOIN, Myriame (1992). *Définition et conditions de la participation des usagers au processus de design en aménagement*. Montréal : Mémoire de M.Sc.A., Université de Montréal.
- BECHMANN, Roland (1993). *Villard de Honnecourt : la pensée technique au XIII^e siècle et sa communication*. Paris : Picard.
- BELGASEM, Ramadan T. (1987). *Human Needs and Building Evaluation : An Approach to Understanding Architectural Criticism*. Thèse de Ph.D., Université de Pennsylvanie.
- BELHOSTE, Bruno (1990). Du dessin d'ingénieur à la géométrie descriptive : l'enseignement de Chastillon à l'École royale de Mézières, dans Roger Laurent (éd.), *De l'image naturelle à l'image artificielle*, 13, pp. 103-135.
- BENOIT, François (1911). *L'architecture antique*. Paris : Librairie Renouard, H. Laurens.
- BENTZ, Bruce (1981). Transition : user participation in the design of housing, dans *Open House*, Vol. 6, No. 2, pp. 13-18.
- BIRRIEN, Jean-Yvon (1990). *Histoire de l'informatique*. Paris : Presses universitaires de France, collection Que sais-je ?.
- BISCHOFF, F. (1989). Les maquettes d'architecture, dans R. Recht (éd.), *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Strasbourg : Édition les Musées de la ville de Strasbourg. pp. 279-285.
- BKOUCHE, Rudolf (1994). Desargues au XIXe siècle : l'influence d'un livre non lu, dans Jean Dhombres et Joël Sakarovitch (éds.), *Desargues en son temps*. Paris : Albert Blanchard. pp. 207-217.
- BLOMFIELD, Reginald T. (1912). *Architectural drawing and draughtsmen*. Londres : Cassell and Company.
- BLONDEL, Jacques-François (1973). *Discours sur la nécessité de l'étude de l'architecture ; De l'utilité de joindre à l'étude de l'architecture celle des sciences et des arts qui lui sont relatifs*. Genève : Minkoff Reprint. [1^{ère} édition 1754].

- BLUNT, Anthony (sir) (1958). *Philibert De l'Orme*. Paris : René Julliard.
- BOINET, A. (1910). Les édifices religieux : Moyen âge - Renaissance. Paris : Librairie Renouard, H. Laurens, Éditeur.
- BONTA, Juan Pablo (1979). Gaming, dans *Journal of architectural education*, vol. 23, no. 1.
- BOSSE, Abraham (1648). *Manière universelle de monsieur Desargues, pour pratiquer la perspective par petit-pied, comme le geometral*. Paris : De l'imprimerie de Pierre Des-Hayes.
- BOSELTMANN, Peter (1993). Dynamic simulations of urban environments, dans R.W. Marans et D. Stokols (éds.), *Environmental Simulation : Research and policy issues*. New York. pp. 279-302.
- BOSELTMANN, Peter et CRAIK, Kenneth H. (1987). Perceptual simulations of environments, dans Robert B., Bechtel, Robert W., Marans, et William Michelson (éds.), *Methods in environmental and behavior research*. New York : Van Nostrand Reinhold. pp. 162-190.
- BOTTINEAU-FUCHS, Yves (1994). Abraham Bosse "interprète" de Girard Desargues, dans Jean Dhombres et Joël Sakarovitch (éds.). *Desargues en son temps*. Paris: Albert Blanchard. pp. 371-388.
- BOUDON, Françoise (1988). Les livres d'architecture de Jacques Androuet Du Cerceau, dans Jean Guillaume (éd.), *Les traités d'architecture de la Renaissance : actes du colloque tenu à Tours du 1^{er} au 11 juillet 1981*. Paris : Picard. pp. 367-396.
- BOUDON, Philippe (1992). *Introduction à l'architecture*. Paris : Dunod.
- BRIGGS, Martin Shaw (1974). *The architect in history*. Oxford : Da Capo Press. [1^{ère} édition : 1927]
- BROOKS, L.R. (1968). Spatial and verbal components of the act of recall, dans *Canadian journal of psychology*. 22. pp: 349-368.
- BRUNÉS, Tons (1967). *The secrets of ancient geometry and its use* (vol. 1 et 2). Copenhague : Rodhos.
- BUNDGAARD, Jens Andreas (1957). *Mnesicles : a Greek architect at work*. Kobenhavn : Scandinavian university books.
- BURCKHARDT, Jacob (1958). *Civilisation de la Renaissance en Italie*. Tome 2. Paris : Plon.
- BURFORD, Alison (1972). *Craftsmen in Greek and Roman Society*. Londres : Thames and Hudson.
- BURFORD, Alison (1969). *The Greek Temple builders at Epidaurus : A social and economic study in the Asklepien sanctuary, during the fourth and early third centuries B.C.*. Liverpool : Liverpool University Press.
- CALLIAT, Victor (1850). Église Saint-Eustache à Paris : avec un essai historique sur l'église et la paroisse Saint-Eustache, par Le Roux de Lyncy. Paris : L'Auteur.
- CAMPBELL, Donald T. et STANLEY, Julian C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Chicago : Rand McNally & Company.

- CANTER, D. (1969). An intergroup comparison of connotative dimensions in architecture, dans *Environment and Behavior*, vol. 1, pp. 37-48.
- CAVAZZA, Marc (1993). Modèles mentaux et sciences cognitives, dans Marie-France Ehrlich, Hubert Tardieu et Marc Cavazza (éds.), *Les modèles mentaux : approche cognitive des représentations*. Paris : Masson. pp. 121-141.
- CHASE, W.G. et CHI, M.T.H. (1981). Cognitive skill : implications for spatial skills in large-scale environments. dans J.H. Harvey (éd.), *Cognition, social behavior, and the environment*. Hillsdale, N.J. : Erlbaum.
- CHASLES, Michel (1875). *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*. Paris : Gauthier-Villars.
- CHASTEL, André (1988). Les traités d'architecture à la Renaissance : un problème, dans *Les traités d'architecture de la Renaissance : actes du colloque tenu à Tours du 1^{er} au 11 juillet 1981*. Paris : Picard. pp. 7-18.
- CHERRY, Colin (1966). *On human communication*. Cambridge, MA : M.I.T. Press.
- CHEYLAN, Jean-Paul (1996). Time and spatial database, toward a conceptual application framework, dans comptes rendus de ESF GISDATA Specialist Meeting on Spatio-Temporal Change in Socio-Economic Units. Nafplion, Grèce, mai 1996
- CHI, M.T. et GLASER, R. (1979). Encoding process characteristics of experts and novices in physics. Dans Comptes rendus de la conférence de l'*American Educational Research Association*. San Francisco, CA.
- CHOAY, Françoise (1988). Le De re aedificatoria comme texte inaugural, dans *Les traités d'architecture de la Renaissance : actes du colloque tenu à Tours du 1^{er} au 11 juillet 1981*. Paris : Picard. pp. 83-90.
- CHOAY, Françoise (1980). *La règle et le modèle : sur la théorie de l'architecture et de l'urbanisme*. Paris : Éditions du Seuil.
- CHOISY, Auguste (1883). *L'art de bâtir chez les Byzantins*. Paris : Librairie de la Société Anonyme de publications périodiques.
- COLLINGWOOD, Robin George (1946). *The idea of history*. Oxford : Clarendon Press.
- COMAR, Philippe (1992). *La perspective en jeu : Les dessous de l'image*. Paris : Gallimard.
- CONTANDRIOPOULOS, André-Pierre, CHAMPAGNE, François, POTVIN, Louise, DENIS, Jean-Louis et BOYLE, Pierre (1989). *Savoir préparer une recherche*. Montréal : Université de Montréal.
- COOLIDGE, Julian Lowell (1940). *A history of geometrical methods*. Oxford : Clarendon Press.
- COOPER, Clare (1974). The house as a symbol of self, dans J. Lang, C. Burnette, W. Moleski et D. Vachon (éds.), *Designing for human behavior*, Stroudsburg, PA. : Dowden, Hutchinson et Ross, pp. 130-146.
- COOPER, Lynn A. (1991). Dissociable aspects of mental representation of visual objects, dans Robert H. Logie et Michel Denis (éds.), *Mental images in human cognition*. Amsterdam : Elsevier Science Pub. pp. 3-34.

- COOPER, Lynn A. (1988). The role of spatial representations in complex problem solving, dans Stephen Schiffer et Susan Steele (éds.), *Cognition and representation*. Boulder, Colorado : Westview. pp. 53-88.
- COOPER, Lynn A. (1976). Demonstration of a mental analog of an external rotation, dans *Perception and Psychophysics*, 19. pp. 296-302.
- COOPER, Lynn A. et SHEPARD, Roger N. (1973). Chronometric Studies of the Rotation of Mental Images, dans W.G. Chase (éd.), *Visual Information Processing*. Comptes rendus. New York : Academic Press.
- COORNAERT, Emile (1966). *Les compagnonnages en France du Moyen Age à nos jours*. Paris : Les Éditions Ouvrières.
- COULTON, John J. (1977). *Ancient Greek Architects at Work ; Problems of Structure and Design*. Ithaca : Cornell University Press.
- COWAN, Henry Jacob (1977). *The master builders : a history of structural and environmental design from ancient Egypt to the nineteenth century*. New York : John Wiley.
- CRAIK, Kenneth H. et FEIMER, N.R. (1987). Environmental assessment, dans Daniel Stokols et Irwin Altman (éds.), *Handbook of environmental psychology*. New York : Wiley. pp. 891-918.
- CUFF, Dana (1991). *Architecture : the story of practice*. Cambridge, MA.: M.I.T. Press.
- CUFF, Dana (1981). Negotiating architecture, dans Comptes rendus de la Conférence de l'Environmental Design and Research Association (EDRA 12). pp. 160-171.
- DAHAN-DALMEDICO, Amy et PEIFFER, Jeanne (1986). *Une histoire des mathématiques : routes et dédales*. Paris : Éditions du Seuil.
- DALHOLM, E.H. et RYDBERG-MITCHELL, B. (1992). Communicating with laypeople, dans *Architecture et comportement*, vol. 3, no. 8. pp. 241-252.
- DAMISCH, Hubert (1994). Desargues et la "métaphysique" de la perspective, dans Jean Dhombres et Joël Sakarovitch (éds.). *Desargues en son temps*. Paris: Albert Blanchard. pp. 11-22.
- DANFORD, Scott et WILLEMS, Edwin P. (1975). Subjective responses to architectural displays : a question of validity, dans *Environment and Behavior*, vol. 7, no 4, pp. 486-515.
- DARESSY, Georges (1907). Un tracé égyptien d'une voûte elliptique, dans *Annales du service des antiquités de l'Égypte*, Tome VIII, Le Caire.
- De CAMBRAY, Béatrix (1992). *Modélisation 3D : État de l'art*. Paris : Institut Blaise Pascal (IBP) et Laboratoire de Méthodologie et Architecture des Systèmes Informatiques (MASI). Rapport, MASI 92.71
- De CENIVAL, Jean-Louis (1964). *Égypte ; Époque pharaonique*. Fribourg, Suisse : Office du Livre.
- De KETELE, Jean-Marie et ROEGIERS, Xavier (1996). *Méthodologie du recueil d'informations : fondements des méthodes d'observations, de questionnaires, d'interviews et d'études de documents*. Paris : Département De Boeck Université.
- De L'ORME, Philibert (1988). *Traité d'architecture*. Paris : Léonce Laget.

- De LONG, Alton J. (1976). The use of scale-models in spatial-behavioral research, dans *Man-environment systems*, 6, pp. 179-182.
- DEFORGES, Yves (1981). *Le graphisme technique, son histoire et son enseignement*. Le Creusot : Champ Vallon.
- DENIS, Michel (1989). *Image et cognition*. Paris : Presses Universitaires de France.
- DENIS, Michel et VEGA, Manuel (de) (1993). Modèles mentaux et imagerie mentale, dans Marie-France Ehrlich, Hubert Tardieu et Marc Cavazza (éds.), *Les modèles mentaux : approche cognitive des représentations*. Paris : Masson. pp. 79-100.
- DESLAURIERS, Jean-Pierre (1991). *Recherche qualitative : guide pratique*. New York et Montréal : McGraw-Hill.
- DHOMBRES, Jean (1994). La culture mathématique au temps de la formation de Desargues : le monde des coniques, dans Jean Dhombres et Joël Sakarovitch (éds.), *Desargues en son temps*. Paris: Albert Blanchard. pp. 55-85.
- DHOMBRES, Jean et SAKAROVITCH, Joël (1994). *Desargues en son temps*. Paris: Albert Blanchard.
- DOXIADIS, Constantinos A. (1972). *Architectural Space in Ancient Greece*. Cambridge : M.I.T. Press.
- DUMOULIN, M. et OURTADEL, G. (1936). *Les églises de France : Paris et la Seine*. Paris : Librairie Letouzey et Ané.
- DUNCAN, James S., LINDSEY, Shelagh et BUCHAN, Robert (1985). Decoding a Residence : Artifacts, Social Codes and the Construction of the Self, dans *Espaces et Sociétés*, 47, pp. 29-43.
- DUNCAN J. S. et DUNCAN, N.G. (1976). Housing as presentation of self and the structure of social networks, dans G.T. Moore et R.G. Colledge (éds.), *Environmental Knowing*. Stroudsburg, PA : Dowden, Hutchinson & Ross.
- DURM, J. (1910). *Die Baukunst der Griechen*. Leipzig : Alfred Kröner Verlag.
- EDGERTON, Samuel Y.Jr. (1975). *The Renaissance Rediscovery of Linear Perspective*. New York : Basic Books.
- EDNEY, Julian J. (1972). Property, Possession and Permanence : A field study in human territoriality, dans *Journal of Applied Social Psychology*, 2, pp. 275-282.
- EGAN, D. et SCHWARTZ, B. (1979). Chunking in recall of symbolic drawings, dans *Memory and Cognition*, 7, pp. 149-158.
- EHRlich, Marie-France, TARDIEU, Hubert et CAVAZZA, Marc (1993). *Les modèles mentaux : approche cognitive des représentations*. Paris : Masson.
- EISEMON, Thomas (1975). Simulations and requirements for citizen participation in public housing : the Truax technique, dans *Environment and Behavior*, vol. 7, no. 1, pp. 99-123.
- ENGELKAMP, J. et KRUMNACKER, H. (1980). Imaginale und motorische Prozesse beim Behalten verbalen Materials, dans *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 27, pp. 511-533.

- ERLANDE-BRANDENBURG, Alain (1993). *Quand les cathédrales étaient peintes*. Paris : Découvertes Gallimard.
- EVANS, G.W. (1980). Environmental cognition, dans *Psychological Bulletin*, 88, pp. 259-267.
- FAREL, Alain (1995). Conception d'un bâtiment : l'organisation d'un travail collectif, dans Robert Prost et al. (éds.), *Concevoir, inventer, créer : Réflexions sur les pratiques*. Paris : L'Harmattan. pp. 51-63.
- FINDELI, Alain (1994). Architecture et techno-éthique—Contribution à une éthique de l'architecture, dans L. Pelletier et A. Pérez-Gómez (éds.), *Architecture, éthique et technologie*, Montréal : McGill-Queen's University Press, pp. 163-185.
- FLEMMING, Ulrich (1994). Get with the program: common fallacies in critiques of computer-aided architectural design, dans *Environment and Planning B: Planning and design*. vol. 21, pp. 106-116.
- FLEMMING, Ulrich et VAN WYK, Skip (1993). *CAAD Futures '93 : proceedings of the Fifth international conference on computer-aided architectural design futures*. Tenue à Pittsburgh, PA, du 7 au 10 juillet 1993. Amsterdam : North-Holland.
- FLOCON, Albert et TATON, René (1963). *La perspective*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. Que sais-je?.
- FOCILLON, Henri (1938). *Art d'Occident : Le moyen âge roman*. Tomes 1 et 2. Paris : Armand Colin.
- FOLEY, James D., van DAM, Andries, FEINER, Steven K. et HUGHES, John F. (1990). *Computer graphics : principles and practice*. Reading, MA : Addison-Wesley.
- FORESTER, John (1985). Designing : Making Sense Together in Practical Conversations, dans *Journal of Architectural Education*, vol. 38, no. 3, pp. 14-20.
- FORTIN, Claudette et ROUSSEAU, Robert (1989). *Psychologie cognitive : une approche de traitement de l'information*. Sillery, Québec : Presses de l'Université du Québec.
- FREIDSON, Eliot (1986). *Professional Powers*. Chicago : University of Chicago Press.
- FROMMEL, Christoph Luitpold (1994a). Reflections on the early architectural drawings, dans Henry A. Millon et Vittorio Magnago Lampugnani (éds.), *The Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo : The representation of architecture*. New York : Rizzoli. pp. 101-121.
- FROMMEL, Christoph Luitpold (1994b). Living all'antica : Palaces and Villas from Brunelleschi to Bramante, dans Henry A. Millon et Vittorio Magnago Lampugnani (éds.), *The Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo : The representation of architecture*. New York : Rizzoli. pp. 183-203.
- FROMMEL, Christoph Luitpold (1994c). St. Peter's : The early history, dans Henry A. Millon et Vittorio Magango Lampugnani (éds.), *The Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo : The representation of architecture*. New York : Rizzoli. pp. 399-423.
- GELLERT, W., KÜSTNER, H., HELLWICH, M. et KÄSTNER, H. (éds.) (1986). *Petite encyclopédie des mathématiques*. Athènes, Grèce : Éditions Pagoulatos.

- GHYKA, Matila (1977). *The geometry of art and life*. New York : Dover publications.
- GIFFORD, Robert (1987). *Environment Psychology : Principles and Practice*. Newton, MA.: Allyn and Bacon, Inc..
- GIFFORD, R. et NG, C.F. (1982). The relative contribution of visual and auditory cues to environmental perception, dans *Journal of Environmental Psychology*, 2. pp. 275-284.
- GIMÉNO et al. (1989). Saint-Eustache. Paris : Imprimerie Union.
- GIMPEL, Jean (1958). *Les bâtisseurs de cathédrales*. Paris : Éditions du Seuil.
- GINDROZ, Raymond (1982). Representation and participatory design processes, dans Ömer Akin et Eleanor F. Weinel (éds.), *Representation and architecture*. Silver Spring : Information Dynamics. pp. 95-119.
- GIULIANI, Maria Vittoria (1987). Naming the rooms: implications of a change in the home model, dans *Environment and Behavior*, vol. 19, no. 2, pp. 180-203.
- GLASER, H., HANKIN, C. et TILL, D. (1987). *Principes de programmation fonctionnelle*. Paris : Masson.
- GOLTON, Jean-Jacques (1988). Les traité de Serlio et son influence en France, dans *Les traités d'architecture de la Renaissance : actes du colloque tenu à Tours du 1^{er} au 11 juillet 1981*. Paris : Picard. pp. 407-423.
- GOBERT, J. et FREDERIKSEN, C. (1988). The comprehension of architectural plans by expert and sub-expert architects, dans *Comptes rendus de l'International meeting of the cognitive science society*. Montréal, Québec.
- GOBERT, Janice D. (1989). *The interpretation of architectural plans by expert and sub-expert architect*. Mémoire de Maîtrise. Montréal : Université McGill.
- GOLDTHWAITE, Richard A. (1980). *The building of Renaissance Florence : an economic and social history*. Baltimore : The John Hopkins University Press.
- GREENO, J. (1977). Process of understanding in problem solving, dans N.J. Castellan, D.B. Pisoni et G.R. Potts (éds.), *Cognitive theory*. vol. 2. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- GUILLAUME, Jean (1988). Philibert de L'Orme : un traité différent, dans *Les traités d'architecture de la Renaissance : actes du colloque tenu à Tours du 1^{er} au 11 juillet 1981*. Paris : Picard. pp. 347-354.
- HAMBLY, Maya (1991). *Les Instruments de Dessin 1580-1980*. Paris : Ars Mundi.
- HARRISON, Steve et MINNEMAN, Scott (1995). Studying collaborative design to build design tools, dans Milton Tan et Robert Teh (éds.), *The global design studio*. Singapour : Centre for advanced studies in architecture, National university of Singapore. pp. 687-697.
- HART, Roger A. (1979). *Children's experience of place*. New York : Irvington.
- HEATH, Tom (1984). *Method in Architecture*. Chichester : John Wiley & Sons.
- HERSHBERGER, Robert G. (1968). A study of meaning and architecture, dans *Man and Environment*, vol. 1, no. 6, pp. 6-7.

- HERSHBERGER, R.G. et CASS, R.C. (1973). The adequacy of various media as representation of the designed environment, dans *Man-Environment Systems*, vol. 3, no. 5, pp. 371-372.
- HERSHBERGER, Robert G. (1972). Toward a set of semantic scales to measure the meaning of architectural environments, dans William J., Mitchell (éd.), *Environmental Design : research and practice*. Los Angeles. pp. 6.4.1-6.4.10.
- HESSLING E. et W. HESSLING (1912). *Le vieux Paris, son architecture et ses monuments*. Paris : Librairie E. Hessling.
- HINTON, Geoffrey (1979a). Some demonstrations of the effects of structural descriptions in mental imagery, dans *Cognitive Science*, vol.3, pp. 231-250.
- HINTON, Geoffrey (1979b). Imagery without arrays, dans *Behavioral and brain sciences*, vol. 2, pp. 555-556.
- HORNYANSZKY DALHOLM, Elisabeth et RYDBERG-MITCHELL Brigitta (1992). Communicating with Lay people, dans *Architecture and Comportment*, vol. 8, no. 3, pp. 241-252.
- HOWARD, Roger B., GERVAN, Mlynarski F. et GORDON, Sauer C. (1972). A comparative analysis of affective responses to real and represented environments, dans William J., Mitchell (éd.), *Environmental design : research and practice*. Los Angeles.
- HULL IV, Bruce R. et HARVEY, Antony (1989). Explaining the emotion people experience in suburban parks, dans *Environment and Behavior*, vol. 21, no. 3, pp. 323-345.
- HULL, R.B. et BUHYOFF, G.J. (1983). Distance and scenic beauty : A nonmonotonic relationship, dans *Environment and Behavior*, 15, pp. 77-91.
- HURRY, J. B. (1926). *Imhotep : the vizier and physician of King Zoser and afterwards the Egyptian God of Medecine*. London : Oxford University Press.
- ITTELSON, William H. (1978). Environmental perception and urban experience, dans *Environment and Behavior*, vol. 10, no. 2, pp. 193-213.
- JAMIESON, G. Harry (1985). *Communication and persuasion*. Londres, Dover, NH : Cromm Helm.
- JESTAZ, Bertrand (1995). *La Renaissance de l'architecture : de Brunelleschi à Palladio*. Paris : Gallimard.
- JOBST, Christoph (1994). The study of Antiquity, dans Henri A. Millon et Vittorio Magnago Lampugnani (éds.), *The Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo : The representation of architecture*. New York : Rizzoli. pp. 432-445.
- JOHNSON-LAIRD, Philip Nicholas (1993). La théorie des modèles mentaux, dans Marie-France Ehrlich, Hubert Tardieu et Marc Cavazza (éds.). *Les modèles mentaux : approche cognitive des représentations* . Paris : Masson. pp. 1-22.
- JOHNSON-LAIRD, Philip Nicholas (1985). Mental models, dans A.M., Aitkenhead et J.M. Slack (éds.), *Issues in cognitive modelling : a reader*. Hillsdale, N.J : Lawrence Erlbaum Associates, Open University. pp. 81-99.

- JOHNSON-LAIRD, Philip Nicholas (1983). *Mental models : towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- JOUVEN, Georges (1985). *La forme initiale : symbolisme de l'architecture traditionnelle*. Paris : Dervy-Livres.
- JUTRAS, S. et CULLEN, K. (1983). L'intervention environnementale : une affaire de compétence, dans *Psychologie Canadienne*, vol. 24, no. 1, pp. 37-45.
- KAPLAN, Stephen (1988). Where cognition and affect meet : a theoretical analysis of preference, dans Jack L., Nasar (éd.), *Environmental aesthetics : theory, research and applications*. Cambridge, MA : Cambridge University Press. pp. 56-63.
- KAPLAN, Rachel (1993). Physical models in decision making for design, dans Robert W. Marans et Daniel Stokols (éds.), *Environmental Simulation : research and policy issues*. New York : Plenum Press, pp. 61-86.
- KAPLAN, Rachel (1987). Simulation models and participation : designers and clients, dans J. Harvey et D. Henning (éds.), *Proceedings of Environmental Design Research Association* 18. pp. 96-102.
- KAPLAN, Stephen (1977). Participation in the design process : a cognitive approach, dans Daniel Stokols (éd.), *Perspectives on environment and behavior : theory, research and applications*. New York : Plenum Press. pp. 221-233.
- KAPLAN, Stephen et KAPLAN, Rachel (1982). *Cognition and environment : functioning in an uncertain world*. New York : Praeger publishers.
- KEMP, Martin (1990). *The science of art : Optical themes in western art from Brunelleschi to Seurat*. New Haven : Yale University Press.
- KIMPEL, Dieter (1989). Les méthodes de production des cathédrales, Roland Recht (éd.), *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Strasbourg : Les musées de la ville de Strasbourg. pp. 91-101.
- KNOBLOCH, Eberhard (1994). Desargues, Mersenne et Kircher : La musique et les mathématiques, dans Jean Dhombres et Joël Sakarovitch (éds.), *Desargues en son temps*. Paris: Albert Blanchard. pp. 111-124.
- KOSSLYN, Stephen Michael (1980). *Image and mind*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- KOSTOF, Spiro (1977a). The Practice of Architecture in the Ancient World : Egypt and Greece, dans Spiro Kostof (éd.), *The Architect : Chapters in the History of the Profession*. New York : Oxford University Press. pp. 3-27.
- KOSTOF, Spiro (1977b). The Architect in the Middle Ages, East and West, dans Spiro Kostof (éd.), *The Architect : Chapters in the History of the Profession*. New York : Oxford University Press. pp. 59-95.
- KENIG, l'abbé (1878). *Saint-Eustache : histoire et visite de l'église*. Paris-Auteuil : Imprimerie des apprentis orphelins.
- KRINSKY, Carol H. (1967). Seventy-eight Vitruvius Manuscripts, dans *Journal of the Warburg and Courtauld Institute*. 30. pp. 36-70.

- KUBOVY, Michael (1986). *The psychology of perspective and Renaissance Art*. Cambridge : Cambridge University Press.
- KULLER, R. (1980). Architecture and emotions, dans B. Mikellides (éd.), *Architecture for people*. Londres.
- LAMEYRE, Xavier (1993). *L'imagerie mentale*. Paris: Presses Universitaires de France, coll. Que-sais-je?.
- LANG, Jon (1988). Symbolic aesthetics in architecture : toward a research agenda, dans Jack L. Nasar (éd.), *Environmental aesthetics : theory, research and applications*. Cambridge, MA. pp. 11-26.
- LASEAU, Paul (1984). Research in architectural communication, dans James C. Snyder (éd.), *Architectural research*. New York : Van Nostrand Reinhold. pp. 257-272.
- LAWRENCE, Arnold Walter (1983). *Greek Architecture*. Harmondsworth : Penguin Books.
- LAWRENCE, Roderick J. (1992). Characteristics of Architectural Design Tools, dans *Architecture and Comportment*, vol. 8, no. 3, pp. 229-240.
- LAWRENCE, Roderick J. (1987). *Housing, dwellings and homes : design theory, research and practice*. New York : John Wiley.
- LAWRENCE, Roderick J. (1981). The optimization of habitat : the user's approach to design, dans *Open house*, vol. 6, no. 3, pp. 35-43.
- LAWRENCE, Roderick J. (1979). Dual representations of domestic space, dans A.D. Seidel et S. Danford (éds.), *Environment design : research, theory and application*, EDRA 10. pp. 119-129.
- LAWSON, Bryan (1980). *How designers think*. Londres : The Architectural Press.
- LE MOEL, Michel (1994). Jacques Curabelle et le monde des architectes parisiens, dans Jean Dhombres et Joël Sakarovitch (éds.), *Desargues en son temps*. Paris: Albert Blanchard. pp. 389-393.
- LE MOIGNE, Jean-Louis (1991). La complexité de la correspondance du modèle au réel : «l'échelle, cette correction capitale», dans Philippe Boudon (éd.), *De l'architecture à l'épistémologie : la question de l'échelle*. Paris : Presses universitaires de France. pp. 227-248.
- LE MOIGNE, Jean-Louis (1990). *La modélisation des systèmes complexes*. Paris : Dunod.
- LEBAHAR, Jean-Charles (1983). *Le dessin d'architecte : simulation graphique et réduction d'incertitude*. Paris : Éditions Parenthèses.
- LÉVY, Albert (1981). L'iconicité et sa reproduction dans la représentation architecturale, dans *Espace et représentation : penser l'espace*. Paris : Les éditions de la Villette, pp. 287-293.
- LONERGAN, Bernard J.F. (1978). *Pour une méthode en théologie*. Montréal : Fides.
- LOTZ, Wolfgang (1977). The rendering of the interior in architecture drawings of the renaissance, dans *Studies in italian renaissance architecture*. Cambridge, MA : M.I.T. Press. pp. 1-65.

- LOZANO, E. (1974). Visuals needs in the environment, dans *Town Planning Review*, vol. 43, pp. 351-374.
- MacDONALD, William L. (1977). Roman Architects, dans Spiro Kostof (éd.), *The Architect : chapters in the history of the profession*. New York : Oxford University Press. pp. 28-58.
- MALLER, Alexander (1991). Toward a critical architectural representation, dans *Design studies*, vol. 12, no. 2, pp. 67-72.
- MANDLER, J.M. (1979). Categorical and schematic organisation in memory, dans C.R. Puff (éd.), *Memory organisation and structure*. New York : Academic Press.
- MANETTI, Antonio (1978). *Vie de Filippo Brunelleschi*. Paris : L'Équerre.
- MARR, David (1982). *Vision : a computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco, CA : W.H. Freeman and Company.
- MARROU, Henri-Irénée (1975). *De la connaissance historique*. Paris : Éditions du Seuil [1^{ère} édition 1954].
- MARROU, Henri-Irénée (1961a). Qu'est-ce que l'histoire ?, dans Charles Samaran (éd.), *L'histoire et ses méthodes*. Paris : La pléiade. pp. 1-33.
- MARROU, Henri-Irénée (1961b). Comment comprendre le métier d'historien, dans Charles Samaran (éd.), *L'histoire et ses méthodes*. Paris : La pléiade. pp. 1465-1539.
- MARTIN SAINT-LÉON, Étienne (1977). *Le compagnonnage : son histoire, ses coutumes, ses règlements et ses rites*. Paris : Librairie du compagnonnage [édition originale 1901].
- MARTIN, Roland (1965). *Manuel d'architecture grecque : matériaux et techniques*. Paris : Éditions A. et J. Picard.
- McGILL, W. & KORN, J.H. (1982). Awareness of urban environment, dans *Environment and Behavior*, 14, pp. 186-201.
- McKECHNIE, George E. (1977a). The environmental response inventory in application, dans *Environment and Behavior*, 9, pp. 255-276.
- McKECHNIE, George E. (1977b). Simulation techniques in environmental psychology, dans D. Stokols (éd.), *Perspectives on environment and behavior : theory, research, and applications*. New York. pp. 169-189.
- MESERVE, Bruce E. (1983). *Fundamental concepts of geometry*. New York : Dover Publications.
- MILLON, Henry A. (1994). Models in Renaissance architecture, dans Henry A. Millon et Vittorio Magnago Lampugnani (éds.), *The Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo : The representation of architecture*. New York: Rizzoli. pp. 19-73.
- MILLON, Henry A. et LAMPUGNANI, Vittorio Magnago (éds.) (1994). *The Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo : The representation of architecture*. New York : Rizzoli.

- MITCHELL, William J. et McCULLOUGH, Malcolm (1995). *Digital design media*. New York : Van Nostrand Reinhold. [2nd édition].
- MITCHELL, William J. (1995). CAD as a social process, dans Milton Tan et Robert Teh (éds.), *The global design studio*. Singapour : Centre for advanced studies in architecture, National university of Singapore. pp. 7-9.
- MITCHELL, William J. (1990). *The logic of architecture : Design, computation, and cognition*. Cambridge, MA : M.I.T. Press.
- MITCHELL, William J. (1989). A new agenda for computer-aided architectural design, dans *ACADIA '89*. pp. 27-43.
- MONGE, Gaspard (1847). *Géométrie descriptive*. Paris : Bachelier.
- MOORE, Gary T. (1991). Linking environment-behavior and design theories : Framing the debate. Dans les *Comptes rendus de la 22^{me} Conférence de l'Environmental Design Research Association (EDRA)*. Tenue à Oaxtepec, au Mexique, en mars 1991.
- MOORE, Gary T. (1979). Knowing about environmental knowing : the current state of theory and research on environmental cognition, dans *Environment and Behavior*, vol. 11, no. 1, pp. 33-70.
- MORIN, Edgar (1986). *La méthode : La connaissance de la connaissance*. Tome 3. Paris : Éditions du Seuil.
- MORIN, Edgar (1977). *La méthode : La nature de la nature*. Tome 1. Paris : Éditions du Seuil.
- MÜLLER, Werner (1989). Le dessin technique de l'époque gothique, dans Roland Recht (éd), *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Strasbourg : Édition les Musées de la ville de Strasbourg. pp. 237-254.
- NASAR, Jack L. (1989a). Symbolic meanings of house styles, dans *Environment and Behavior*, vol. 21, no. 3, pp. 235-257.
- NASAR, Jack L. (1989b). Perception, cognition, and evaluation of urban places, dans I. Altman et E.H. Zube (éds.), *Public places and spaces*. New York. pp. 31-56.
- NASAR, Jack L. et KUNAWONG, Chalay (1987). Architect and lay judgments of architecture : do they really differ?, dans J. Harvey et D. Henning (éds.), *Public environments*, EDRA 18. pp. 205-210.
- NASAR, Jack L., VALENCIA, H., OMAR, Z.A., CHU S. et HWANG, J. (1985). Out of sight further from mind : Destination visibility and distance perception, dans *Environment and Behavior*, 17, pp. 627-639.
- NORBERG-SCHULTZ, Christian (1966). *Intentions in Architecture*. Oslo : Scandinavian University Books.
- OSGOOD, Charles Egerton (1976). *Focus on meaning; volume I. Explorations in semantic space*. Paris : Mouton; The Hague.
- OSGOOD, Charles Egerton et al. (1957). *The Measurement of Meaning*. Urbana : University of Illinois Press.
- PAIVIO, A. (1978). Comparison of mental clocks, dans *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 4, pp. 61- 71.

- PAIVIO, A. (1971). *Images and verbal processes*. New York : Rinehart and Winston.
- PAIVIO, A., ROGERS, T.B. et SMYTHE, P.C. (1968). Why are pictures easier to recall than words ? dans *Psychonomic Science*, 11. pp. 137-138.
- PANOFSKY, Erwin (1991). *Perspective as Symbolic Form*. New York : Zone Books.
- PANOFSKY, Erwin (1969). *L'œuvre d'art et ses significations : essais sur les "arts visuels"*. Paris : Gallimard.
- PAQUIN, Guy (1995). Les murs qui parlent : L'architecture virtuelle permet de tout connaître des secrets d'un édifice, dans Le quotidien *La Presse*. Montréal, le 24 décembre.
- PARISEL, Claude et PHO, Alice D.-H. (1996, à venir). Évolution spatio-temporelle d'un ouvrage construit: vers une méthode de représentation informatique, dans *Revue des Sciences et techniques de la conception*. 12 p.
- PASSINI, Romedi E. (1984). *Wayfinding in architecture*. New York : Van Nostrand Reinhold
- PASSINI, R., DELISLE J., LANGLOIS, C. et PROUXL, G. (1988). Wayfinding information for the congenitally totally blind, dans *Journal of Visual Impairment and Blindness*, vol. 82, no. 10, pp. 425-429.
- PATSFALL, M.R., FREIMER, N.R., BUHYOFF, G.J. et WELLMAN, J.D. (1984). The prediction of scenic beauty from landscape content and composition, dans *Journal of Environmental Psychology*, 4, pp. 7-26.
- PERDIGUIER, Agricola (1977). *Mémoires d'un compagnon*. Paris : F. Maspero. [1^{ère} édition : 1854]
- PÉREZ-GOMEZ, Alberto (1987). *L'architecture et la crise de la science moderne*. Bruxelles : Mardaga.
- PERLIS, Alan (1989). Avant-propos, dans H. Adelson, G.J. Sussman et J. Sussman, *Structure et interprétation des programmes informatiques*. Paris : InterÉditions.
- PÉROUSE DE MONTCLOS, Jean-Marie (1988). Les éditions des traités de Philibert de L'Orme au XVII^e siècle, dans *Les traités d'architecture de la Renaissance : actes du colloque tenu à Tours du 1^{er} au 11 juillet 1981*. Paris : Picard. pp. 355-365.
- PETERSON, J.M. (1975). The retention of imagined and seen spatial matrices, dans *Cognitive Psychology*, 7, pp. 181-193.
- PETERSON, J.M., WOODMAN, D. et EATON, R. (1968). Critical judgments based on direct vs. Indirect experience : photo vs. Reality, dans *DMS Newsletter*, vol. 2, no. 4, p.5.
- PHILIPON de la MADELAINE, L. (1783). Vues patriotiques sur l'éducation du peuple tant des villes que de la campagne, Lyon : Bruyset-Ponthus.
- PHO, Dieu-Hanh A. (1996, à venir). *Description informatique de l'évolution historique d'un bâtiment—Une modélisation de la transformation*. Mémoire de M.Sc.A. Faculté de l'aménagement, Université de Montréal.
- PIAGET, Jean et INHELDER, Bärbel (1966). *L'image mentale chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.

- PINSON, Daniel (1993). *Usage et architecture*. Paris : L'Harmattan.
- POLKINGHORNE, Donald (1983). *Methodology for the human sciences — Systems of inquiry*. Albany, NY : State university of New York Press.
- POUDRA, M. (1964). *Histoire de la perspective ancienne et moderne*. Paris : J. Corréard.
- POUSIN, Frédéric (1991). La représentation : virtualité de la figure architecturale, dans Philippe Boudon (éd.), *De l'architecture à l'épistémologie : la question de l'échelle*. Paris. pp. 119-144.
- PROST, Robert (1992). *Conception architecturale : une investigation méthodologique*. Paris : L'Harmattan.
- PURCELL, A. Terry (1986). Environmental perception and affect : a schema discrepancy model, dans *Environment and Behavior*, vol. 18, no. 1, pp. 3-30.
- PURCELL, A. Terry (1984a). The organisation of the experience of the built environment, dans *Environment and planning B : planning and design*, 11, pp. 173-192.
- PURCELL, A. Terry (1984b). Multi-variate models and the attributes of the experience of the built environment, dans *Environment and planning B : planning and design*, 11, pp. 193-212.
- PURCELL, A. Terry (1984c). Aesthetics, measurement and control, dans *Architecture Australia*, 73, pp. 29-38.
- PYCKE, Jacques (1992). *La critique historique : quel long chemin à parcourir entre le témoignage et la synthèse*. Louvain-la-Neuve : Academia - Erasme.
- PYLYSHYN, Zenon W. (1981a). Imagery and artificial intelligence, dans Ned Block (éd.), *Readings in philosophy of psychology*, vol.. Cambridge, MA : Harvard University Press. pp. 170-194.
- PYLYSHYN, Zenon W. (1981b). The imagery debate : Analog media versus tacit knowledge, dans *Psychological review*. pp. 16-45.
- QIN, Yulin et Herbert A. SIMON (1990). Imagery and problem solving, dans *Proceedings of the 12th annual conference of the cognitive science society*. Cambridge, MA. pp. 646-653.
- RAPOPORT, Amos (1982). *The Meaning of the Built Environment : A Non-verbal Communication Approach*. Beverly Hills, CA : Sage Publications.
- RAPOPORT, Amos (1975). An approach to the construction of man-environment theory, dans W. F. E. Preiser (éd.), *Environmental design research*. vol. 1. Stroudsburg, PA : Dowden, Hutchinson & Ross.
- RAPOPORT, Amos (1969). *House Form and Culture*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, Inc..
- RECHT, Roland (1989a). L'art gothique : une introduction, dans Roland Recht (éd.), *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Strasbourg : Les musées de la ville de Strasbourg. pp. 17-39.
- RECHT, Roland (1989b). Les « traités pratiques » d'architecture gothique, dans Roland Recht (éd.), *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Strasbourg : Les musées de la ville de Strasbourg. pp. 279-285.

- RECHT, Roland (éd.) (1989c). *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Strasbourg : Les musées de la ville de Strasbourg.
- RECHT, Roland (1988). « Théorie » et « Traité pratiques » d'architecture au Moyen Age, dans *Les traités d'architecture de la Renaissance : actes du colloque tenu à Tours du 1^{er} au 11 juillet 1981*. Paris : Picard. pp. 19-30.
- ROSCH, E.H. & MERVIS, C.B. (1975). Family resemblance : studies in internal structure of categories, dans *Cognitive Psychology*, 7, pp. 573-605.
- ROSNAY, Joël (de) (1975). *Le macroscopie : vers une vision globale*. Paris : Éditions du Seuil.
- ROTGÉ, Jean-François (1996a, à venir). *La construction logique de formes simpliciales*.
- ROTGÉ, Jean-François (1996b). Principles of Solid Geometry Design Logic, dans *CSG 96*. pp. 233-254.
- ROTGÉ, Jean-François (1996c, à venir). *La logique des Formes*. Thèse de doctorat. Université de Montréal.
- ROTGÉ, Jean-François et MARTIN, Clément (1992). Modélisation volumique et programmation fonctionnelle : une invitation à l'algorithmique parallèle en architecture. Dans *Comptes rendus de la 13^{ème} Conférence Internationale de Cybernétique*, tenue à Namur, Belgique, du 24 au 28 août.
- RUMELHART, David E. et NORMAN, Donald A. (1985). Representation of knowledge, dans A.M. Aitkenhead et J.M. Slack (éds.), *Issues in cognitive modelling*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates et Open University. pp. 15-62.
- RUSSELL, James A., WARD, Lawrence M. et PRATT, Geraldine (1981). Affective quality attributed to environments : a factor analytic study, dans *Environment and Behavior*, vol. 13, no. 3, pp. 259-288.
- SADALLA, Edward K. et MAGEL, S.G. (1980). The perception of traversed distance, dans *Environment and Behavior*, 12, pp. 65-79.
- SADALLA, Edward K. et OXLEY, Diana (1984). The perception of roomsize : the rectangularity illusion, dans *Environment and Behavior*, vol. 16, no. 3, pp. 394-405.
- SADALLA, Edward K., VERSHURE, Beth et BURROUGHS, Jeffrey (1987). Identity symbolism in housing, dans *Environment and Behavior*, vol. 19, no. 5, pp. 569-587.
- SAINT AUBIN, Jean-Paul (1994). Les enjeux architecturaux de la didactique stéréotomique de Desargues, dans Jean Dhombres et Joël Sakarovitch (éds.). *Desargues en son temps*. Paris: Albert Blanchard. pp. 363-370.
- SAKAROVITCH, Joël (1990). Architecture et représentation : de la projection à la double projection, dans Roger Laurent (éd.), *De l'image naturelle à l'image artificielle*. 13. pp. 63-101.
- SALMON, Pierre (1987). *Histoire et critique*. Bruxelles : Éditions de l'Université de Bruxelles.
- SAUNERON. Serge (1957). *Les prêtres de l'ancienne Égypte*. Paris : Éditions du Seuil.

- SAVIGNAT, Jean-Michel (1980). *Dessin et architecture du moyen-âge au XVIII^e siècle*. Paris : École Nationale Supérieure des Beaux-Arts.
- SAWYER, Walter W. (1982). *Prelude to mathematics*. New York : Dover Publications.
- SAWYIER, Fay Horton (1983). A service model for architects. dans *International Journal of Applied Sociology*, vol. 1 no.3. pp. 55-56.
- SCHERMER, Brian (1987). User involvement in aesthetic design decisions, dans J. Harvey et D. Henning (éds.), *Public environments*, EDRA 18. pp. 103-108.
- SCHÖLLER, W. (1989). Le dessin d'architecture à l'époque gothique, dans Roland Recht (éd.), *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Strasbourg : Édition les Musées de la ville de Strasbourg. pp. 227-235.
- SCHÖN, Donald A. (1983). *The reflective practitioner : how professionals think in action*. BasicBooks.
- SCHÖN, Donald A. (1987). *Educating the reflective practitioner—Toward a new design for teaching and learning in the professions*. San Francisco, CA : Jossey-Bass Publishers.
- SCHÖN, Donald A. et WIGGINS, Glenn (1992). Kinds of seeing and their functions in designing, dans *Design Studies*, vol. 13, no. 2, pp. 135-156.
- SCRANTON, Robert L. (1962). *Greek Architecture*. New York : George Braziller.
- SEATON, R.W. et COLLINS, J.B. (1972). Validity and reliability of ratings of simulated buildings, dans William J., Mitchell (éd.), *Environmental design : research and practice*, EDRA 3/AR8. Los Angeles.
- SFEZ, Lucien (1988). *Critique de la communication*. Paris : Éditions du Seuil.
- S.G.D.L. Technology (1995). *Manuel de SGDLsoft version 0.7*. Lyon, France.
- SHEPARD, R.N. et METZLER, J. (1971). Mental Rotation of Three-Dimensional Objects, dans *Science*, 171, pp. 701-703.
- SHU, Nan C. (1988). *Visual programming*. New York : Van Nostrand Reinhold.
- SIMON, Herbert A. (1980). Cognitive Science : The Newest Science of the Artificial, dans *Cognitive Science*. pp. 33-46.
- SIMON, Herbert A. (1969). *The sciences of the artificial*. Cambridge. M.I.T. : Press.
- SMITH, A. H. (1926). The building Inscriptions of the Acropolis of Athens, dans *R.I.B.A. Journal*. 18 décembre.
- SPRINGER, Georges et FRIEDMAN, Daniel P. (1989). *Scheme and the Art of Programming*. Cambridge : M.I.T. Press.
- STEA, D. (1988). Participatory planning and design in intercultural and international practice, dans D. Canter, M. Krampen et D. Stea (éds.). *New directions in environmental participation*. Aldershot, Angleterre : Avebury-Gower Publishers, pp. 50-67.
- STEELE, Fritz (1973). *Physical settings and organization development*. Reading, MA : Addison-Wesley.
- STINY, George (1989). What is a design? dans *ACADIA '89*. pp. 137-146.

- STOKOLS, Daniel (1993). Strategies of environmental simulation : theoretical, methodological, and policy issues, dans Robert W. Marans et Daniel Stokols (éds.), *Environmental Simulation : research and policy issues*. New York : Plenum Press, pp. 3-21.
- SUCKALE, Robert (1989). La théorie de l'architecture au temps des cathédrales, dans Roland Recht (éd.), *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Strasbourg : Les musées de la ville de Strasbourg. pp. 41-50.
- TABOUROT, Étienne (1608). Les contes facecieux du sieur Gaulard, genti-homme de la franche comté bourguignotte, dans *Les touches du seigneur Des Accords*. Paris : Richer.
- TAN, Milton et TEH, Robert (1995) (éds.). *The global design studio*. Comptes rendus de la « Sixth international conference on Computer Aided Architectural Design Futures » (CAAD Futures). Tenue à Singapour du 24 au 26 septembre 1995. Centre for advanced studies in architecture, National university of Singapore.
- TATON, René (1994a). Desargues et le monde scientifique de son époque, dans J. Dhombres et J. Sakarovitch (éds.). *Desargues en son temps*. Paris: Albert Blanchard. pp. 23-53.
- TATON, René (1994b). À la redécouverte des œuvres de Girard Desargues, dans Jean Dhombres et Joël Sakarovitch (éds.), *Desargues en son temps*. Paris: Albert Blanchard. pp. 463-475.
- TATON, René (1988). *L'oeuvre mathématique de G. Desargues*. Paris : J. Vrin.
- TATON, René (1964). L'école royale du génie de Mézières, dans René Taton (éd.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIIIe siècle*. Paris : Hermann. pp. 559-615.
- TEASDALE, Pierre et WEXLER, M.E. (1987). *Dynamique de la famille, ajustements résidentiels et souplesse du logement*. Société Canadienne de l'Habitation et du Logement (SCHL).
- THORPE, Stephen (1986). *Reading plans : a layman's guide to the interpretation of architects' drawings*. Londres : Access Committee for England.
- THUILLIER, Guy et TULARD, Jean (1991). *Le métier d'historien*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. Que sais-je ?
- TYE, Michael (1991). *The imagery debate*. Cambridge, MA : M.I.T. Press.
- VALÉRY, Paul (1945). *Eupalinos. L'Âme et la danse. Dialogue de l'arbre*. Paris : Éditions Gallimard.
- VALLOIS, R. (1966). *L'architecture hellénique et hellénistique à Délos jusqu'à l'éviction des Déliens (166 Av. J.-C.)*. Paris : Éditions E. de Boccard.
- VANDEKERCHOVE, Christian (1989). L'iconographie médiévale de la construction, dans Roland Recht (éd.), *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Strasbourg : Les musées de la ville de Strasbourg. pp. 61-80.
- VASARI, Giorgio (1978). *Artists of the Renaissance : a selection from Lives of the Artists*. New York : The Viking Press.

- VIELHAUER, Joyce (1970). The development of a usable lexicon of environmental descriptors, dans *Environment and Behavior*, 2, pp. 153-158.
- VILLE DE MONTRÉAL (1992). *Un projet de renouveau : Arrondissement Ville-Marie*. Société de l'Habitation et du Développement Urbain (SHDU).
- WEINEL, Eleanor F. (1982). Endnote : representation and architecture, why?, dans Ömer Akin et Eleanor F. Weinel (éds.), Representation and architecture. Silver Spring, Maryland : Information Dynamics. pp. 267-285.
- WEISNER, T.S. & WEIBEL, J.C. (1981). Home environments and family lifestyles in California, dans *Environment and Behavior*, 13, pp. 417-460.
- WITTKOWER, Rudolf (1990). Brunelleschi et la « proportion dans la perspective », dans Giulio Carlo Argan et Rudolf Wittkower (éds.), *Perspective et histoire au Quattrocento*. Paris : Les Éditions de la Passion. pp. 53- 76.
- ZEISEL, John (1981). *Inquiry by Design : Tools for Environment-Behavior Research*. Monterey, CA : Brooks/Cole.

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

Les photographies des figures suivantes proviennent de :

13 et 14 (Millon, 1994) ; 21 et 22 (Catalogues Artémide®, 1986 et 1989) ; 27 (Giméno *et al.*, 1989) ; 28 (Dumoulin et ourtadel, 1936) ; 51, 52, 53 et 54 (Valérie Baillard).

Les images des figures suivantes ont été produites par :

46 (Alice D.-H. Pho) ; 47 (Claude Parisel) ; 49 et 50 (SGDL).

Les images des figures 24, 25, 26, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 et 45 sont de l'auteur.

ANNEXES

ANNEXE I : Aperçu de la définition de la quadrique du système géométrique SGDL^o

Cette annexe a pour objectif de donner un aperçu de la définition d'une forme géométrique à l'aide du système géométrique SGDL^o. Elle a été constituée à partir du manuel de géométrie fourni avec ce système (SGDL, 1995).

La primitive élémentaire du système géométrique SGDL^o est une quadrique. Il s'agit d'une surface tridimensionnelle du second degré. Le résultat de l'intersection de cette surface avec un plan est une section conique (hyperbole, parabole, cercle, etc.). Projectivement, celle-ci peut être définie par un triangle et un point de passage. Avec le système géométrique SGDL^o, dans un espace tridimensionnel, une quadrique peut être construite et contrôlée à l'aide d'un tétraèdre de construction et deux points de passage situés dans les plans de deux faces particulières de ce tétraèdre. Le système SGDL^o est basée sur l'idée que la définition de toute quadrique passe par l'extension en 3D du principe de construction des coniques de l'espace 2D.

Pour définir une forme géométrique avec ce système, il est nécessaire de spécifier six points de contrôle. Il s'agit de deux points de contact P_0 et P_1 de deux plans tangents à la quadrique, de deux points P_2 et P_3 qui sont deux pôles de la quadrique et appartenant aux plans tangents et enfin deux points de passage de la quadrique P_4 et P_5 fixant deux sections coniques de celle-ci dans le plan Pl_1 défini par les points P_0 , P_1 et P_2 et le plan Pl_2 défini par les points P_0 , P_1 et P_3 (voir figure 48).

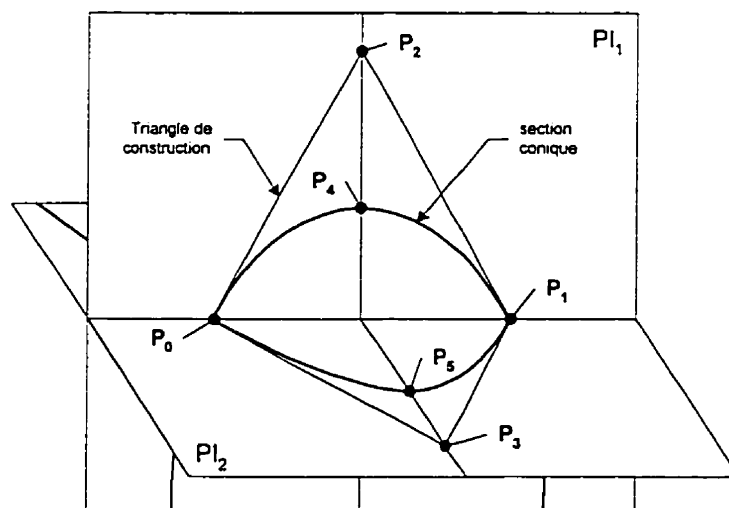


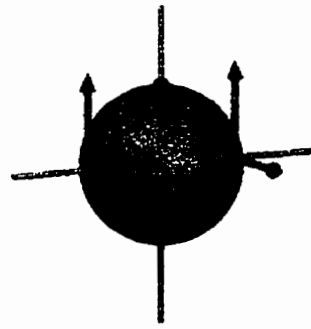
Figure 48 : Schématisation du contrôle géométrique par six points de la quadrique du système SGDL^o

La spécification des points de contrôle d'une quadrique se fait au moyen d'un langage fonctionnel. Les formes géométriques des figures 49 et 50 ont toutes été obtenues après une spécification particulière de ces points à même une *fonction*. Par exemple, la sphère en (a) de la figure 49 a été générée à l'origine d'un repère d'axes en faisant évaluer par le modeleur SGDL^o la *fonction* suivante, avec une certaine valeur numérique pour la variable rx , le rayon de la sphère :

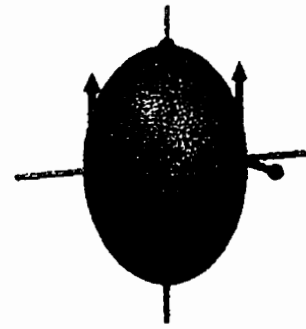
```
(DLformz2
  (vector
    (vector (-rx) 0 0 1) : P0
    (vector rx 0 0 1) : P1
    (vector 0 1 0 0) : P2
    (vector 0 0 1 0) : P3
    (vector 0 rx 0 1) : P4
    (vector 0 0 rx 1))) : P5
```

La *fonction* DLformz2 attend six vecteurs correspondant aux points de contrôle P_0 , P_1 , P_2 , P_3 , P_4 et P_5 illustrés en figure 48. Chacun de ces vecteurs est spécifié avec quatre coordonnées x , y , z et t . Les trois premières coordonnées permettent de fixer un point par rapport à un repère formé de trois axes et la quatrième permet de spécifier si ce point est réel ou indique une direction par rapport à une origine. Ainsi, une valeur nulle pour la quatrième coordonnée permet de disposer d'un point à l'infini ou une direction, représenté par une flèche au niveau des images des figures 49 et 50.

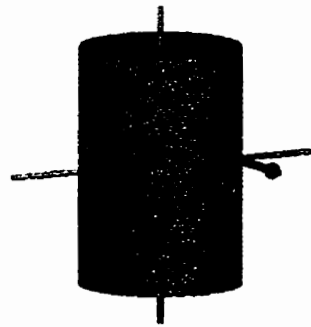
Nous avons inclus ces images dans la présente annexe pour donner un aperçu de la richesse des formes géométriques qui peuvent être obtenues en spécifiant différemment les six points de contrôle de l'unique primitive géométrique du système SGDL^o, c'est-à-dire la quadrique projective.



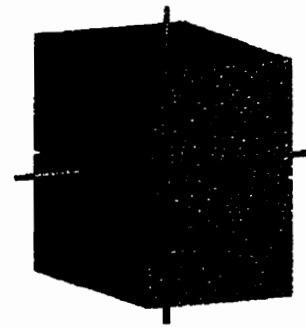
(a) sphère



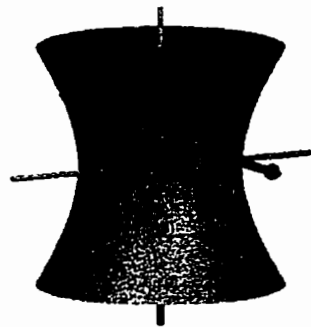
(b) ellipsoïde



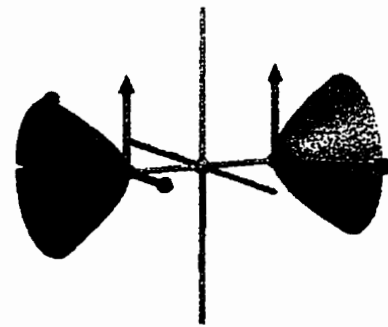
(c) cylindre



(d) polyèdre

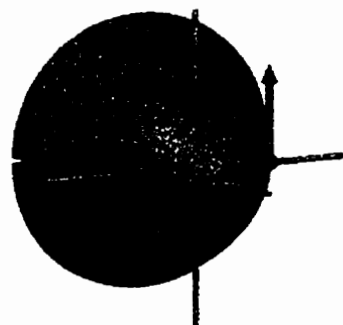


(e) hyperboloïde à une nappe

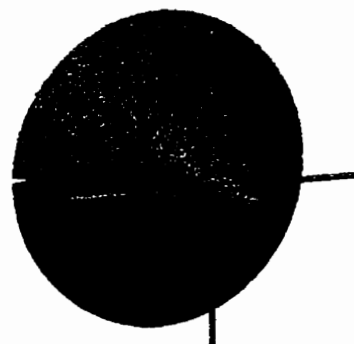


(f) hyperboloïde à deux nappes

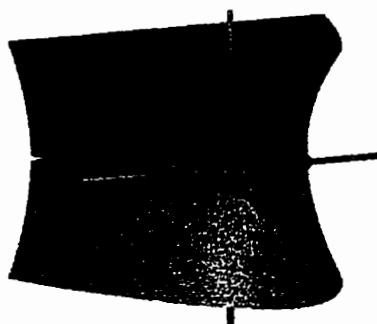
Figure 49 : Première série de formes géométriques obtenues en spécifiant différemment les six points de contrôle de la quadrique du système SGDL[®]



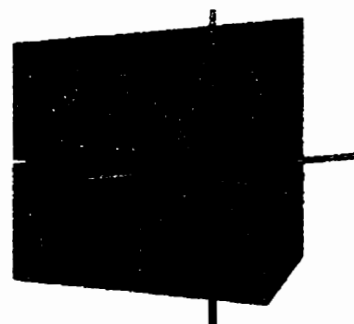
(a) paraboloïde elliptique



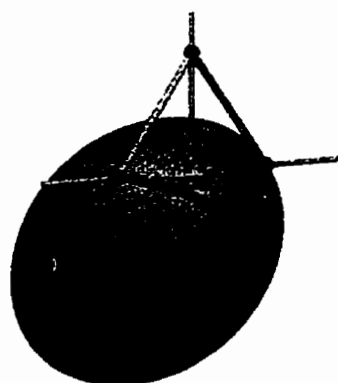
(b) cône



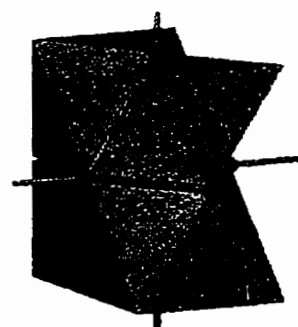
(c) paraboloïde hyperbolique



(d) angle dièdre



(e) quadrique ellipsoïde



(f) quadrique dièdre

Figure 50 : Seconde série de formes géométriques obtenues en spécifiant différemment les six points de contrôle de la quadrique du système SGDL[®]



Figure 51 : Vue extérieure sur le transept de l'église Saint-Eustache à Paris



Figure 52 : Vue extérieure sur l'abside de l'église Saint-Eustache à Paris

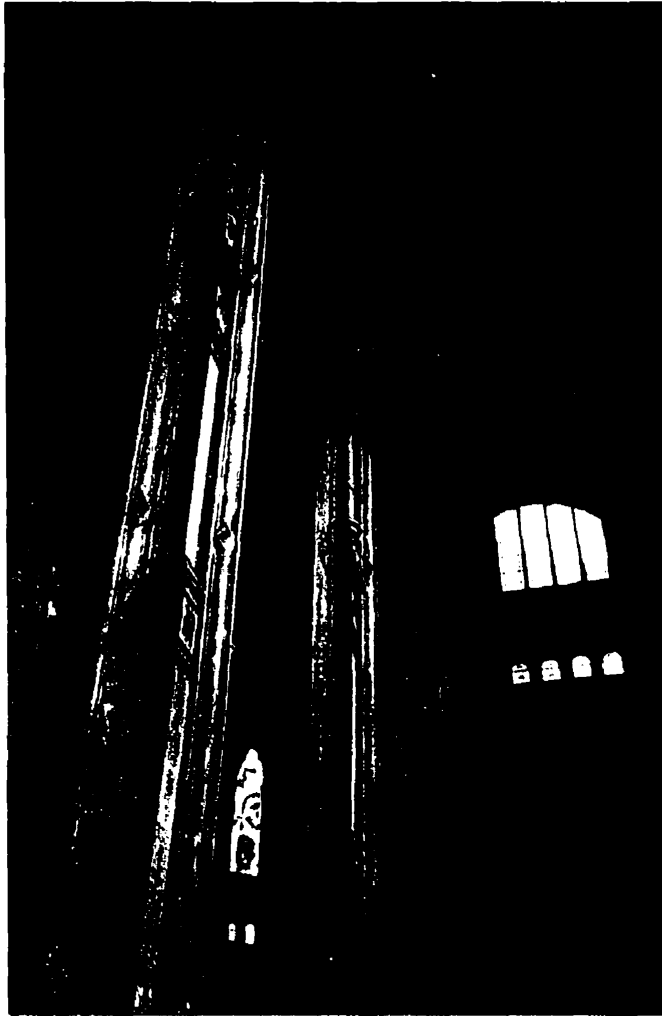


Figure 53 : Vue intérieure sur le transept de l'église Saint-Eustache à Paris



Figure 54 : Vue intérieure sur l'abside de l'église Saint-Eustache à Paris

ANNEXE IV: Trois exemples de projets où l'informatique est considérée pour la figuration du résultat d'un processus de conception

SIG

CASSINI, UN PROGRAMME D'ETUDE DU CNRS POUR ECLAIRER LES ZONES D'OMBRE DES SIG

Cassini de Thury, auteur du premier relevé topographique complet du territoire français vient de donner son nom à un programme de recherche du CNRS grâce à un acronyme acrobatique : Coordination pour l'Analyse Spatiale et les Systèmes d'INformation géographique Intelligents. Ce groupe de recherche, dirigé par Jean-Paul Cheylan, se propose depuis 1993 d'explorer les domaines où les SIG ont montré leurs limites.

Il s'agira, par exemple, d'étudier les modes de représentation du temps. Les «processus temporels» restent en effet difficiles à synthétiser sur une carte, qu'elle soit informatisée ou non. Les SIG offrent pourtant la possibilité de décrire, grâce à des animations, l'évolution d'un processus. «Le SIG peut découper le temps en tranches, déclare Jean-Paul Cheylan, mais pour représenter cartographiquement la stratégie d'un opérateur foncier on ne peut pas se contenter d'un découpage qui simplifie considérablement la dimension temporelle d'un événement»(1). La gestion



des volumes -les étages d'un bâtiment ou d'une dalle, les couches géologiques- peut être représentée grâce aux images en 3D (trois dimensions) mais toutes les méthodes de représentation ne sont pas encore standardisées pour décrire le volume sur une surface plane.

Le passage d'une échelle de représentation à une autre, voire la cohabitation de plusieurs échelles en un même système, pose des problèmes de redondance de l'information, d'incohérence entre des informations provenant d'interlocuteurs (collectivités locales) qui n'interviennent pas nécessairement sur les même périmètres.

La qualité est un des autres axes de recherche de Cassini. La précision géométrique des données spatiales et la précision sémantique

(par rapport à une nomenclature) restent un élément essentiel au bon fonctionnement d'un SIG. Cassini désire, entre autres axes de recherche, produire des méthodes automatiques permettant de visualiser la qualité des données géographiques. Le dernier axe de recherche s'intitule «information numérique et symbolique, raisonnement spatial dans les SIG».■

Contact: Jean-Paul Cheylan, Maison de la Géographie, 17 rue Abbé de l'Épée, 34000 Montpellier
Tél. 67 14 58 58 Fax: 76 51 41 17
adresse sur Internet : cheylan@MGM-SIG.mgm.fr

(1) Voir à ce sujet «Les problématiques liées au temps dans les SIG» de JP Cheylan, Sylvie Lardon, Hélène Mathian et Lena Sandersin in *Revue Internationale de Géomatique* Vol 4 - n°3-4/1994

La Presse

La Presse

Sciences Dimanche 24 décembre 1995 C10

Les murs qui parlent

L'architecture virtuelle permet de tout connaître des secrets d'un édifice

Paquin, Guy

Agence Science-Press

TYPE: Nouvelle; Illustration, photo, etc.

LONGUEUR: Moyen

CENTRE D'INTERÊT: Informatique; Architecture et urbanisme; PME; Industries de l'informatique et de l'électronique

CENTRE GÉOGRAPHIQUE: Rive Sud

La directrice de l'entretien est furieuse. Ses employés viennent, en ouvrant un des murs de l'édifice, de percer une conduite d'eau.

Elle ne leur en veut pas à eux, mais s'en prend plutôt aux plans informatisés du bâtiment dont les codes de couleur sont si confus qu'en les lisant, on a pris un tuyau pour un câble électrique.

De tels incidents sont si fréquents et si coûteux qu'on vient de créer un consortium d'une quarantaine de collèges et universités à travers le monde - dont 12 au Québec - visant à trouver une solution informatique au problème des plans indéchiffrables.

Une PME de Saint-Basile-le-Grand, spécialiste des logiciels complexes, Naoki Systèmes Inc., s'est vue confier une enveloppe de près de 3 millions de dollars pour développer un logiciel qui permettrait de voir à travers les murs en lisant les plans de l'édifice.

«Il y a en fait deux problèmes, précise Elizabeth Ménard, directrice de projet chez Naoki. Le premier, c'est la confusion entre les codes utilisés par les architectes. Qui me dit que la ligne illustrée est un fil, un tuyau ou un pan de mur? Si les codes de couleur étaient standardisés, ça irait tout seul. Ils ne le sont pas.» «Le second problème, c'est l'éparpillement des informations sur l'édifice. Si l'on peut rassembler en un seul grand programme informatique tout ce qui concerne non seulement le plan de l'édifice mais encore les caractéristiques physiques de tous les matériaux qui le composent, par exemple, imaginez l'efficacité des interventions de l'entretien.»

En bref, les murs, les plafonds, les planchers, les colonnes deviennent transparents et parlent. Les plans affichés à l'écran de l'ordinateur n'illustrent plus des lignes, mais des objets complets, avec leurs dimensions et leurs propriétés.

On dépasse le plan d'architecte et on arrive dans le monde-objet. On clique sur une ligne et elle se révèle un mur de tel matériau, de telles dimensions et contenant d'autres éléments immédiatement accessibles. On en est à l'architecture virtuelle complète.

Le projet de recherche de Naoki est ambitieux. Il coûte 3 millions de dollars, dont 30 p. cent proviennent de la compagnie même. Le consortium d'institutions associées paie 20 p. cent de la note et, par des avantages fiscaux à la R&D, les gouvernements canadien et québécois règlent la moitié restante de la facture.

Selon Naoki, le marché mondial pour ce produit avoisine les 100 millions de dollars.

Il s'agit là d'un gros morceau pour la petite compagnie de Saint-Basile. Elle qui emploie aujourd'hui 20 personnes, verra son personnel gonfler jusqu'à 170 chercheurs et techniciens dès la deuxième année du projet.

Le consortium a été lancé fin novembre 1994, la recherche proprement dite a commencé en août de cette année et l'on espère tenir un produit fini commercialisable à la fin de 1997.

ILLUSTRATION

Photographe: Naoki

Le virtuel fait son entrée en architecture par la grande porte.

DOC. #:951224LA085

The Art of CAD

Canadian Architect

Computer Drawing Competition

The editors of *Canadian Architect* are pleased to bring you our first computer drawing competition. The Art of CAD has been established to seek out and acknowledge exemplary work and innovation in the area of computer-aided drawing. Entries will be judged on the inventiveness of the image, the quality of the drawing and the extent to which digital technology has been explored and exploited.

Eligibility

Open to all. All types of original computer-generated drawings are eligible, including renderings and electronic models. Images must not have been published previously. Images generated by manufacturers are not eligible.

Categories

Prizes will be awarded in two categories: for drawings which represent real projects, and for those which represent theoretical projects.

Category 1: Real Projects

A real project is defined as one that has been commissioned by a client with the intention of being built, one that is being built or one that has already been built. Proposals and drawings done for building competitions are eligible in this category.

Category 2: Theoretical Projects

A theoretical project is defined as one not intended to be built, including student work. This does not exclude work which is realistic, nor need it be limited to realism.

Publication

The winning projects will be published at the editors' discretion in the July issue of *Canadian Architect*. Submission of entries gives publication rights to the magazine.

Prizes

Real Projects Category: three software prizes, sponsored by Autodesk, will be awarded: AutoCAD Release 13 (or Release 12 for Macintosh), 3D Studio, and AutoCAD LT. Honourable mentions may be awarded at the discretion of the judges.

Theoretical Projects Category: a \$1,000 cash prize is to be awarded in this category. The prize may be jointly awarded at the discretion of the jury, and honourable mentions may be awarded.

Notification of Winners

Winners will be notified by telephone by May 30.

Deadline

All projects must be received by 5 p.m., April 19, 1995.

Presentation

A separate entry form is required for each project submitted. Each entry should contain:

1. A sealed envelope containing the following:
 - a) A signed and completed entry form.
 - b) Completed project information sheet.
 - c) A cheque for \$21.40 (\$20 + \$1.40 GST) payable to *Canadian Architect*.

2. A binder or folder (maximum size 12" x 18") containing a good quality, hard copy computer-generated drawing. Reproductions to be maximum 11" x 17". Each entry may include **one drawing only**, with the exception of computer animation entries, which may include a VHS video tape plus up to five reproductions of still frames. No discs please. No evidence of the system used to generate the image should appear on the image (menu displays, logos, etc). All entries to be anonymous; i.e. the author's name may appear on the entry form and submission envelope only, but nowhere on the binder or folder.

Judging

Judges are to be announced.

Return of Entries

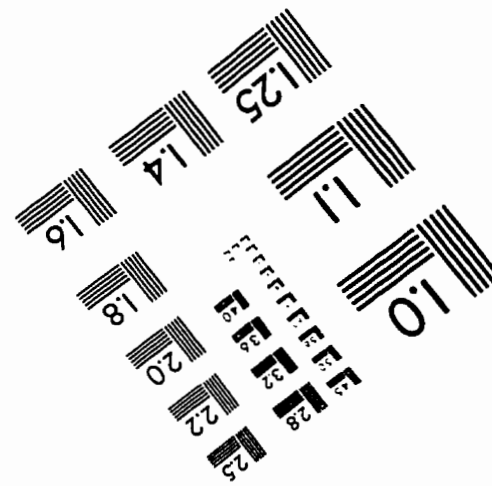
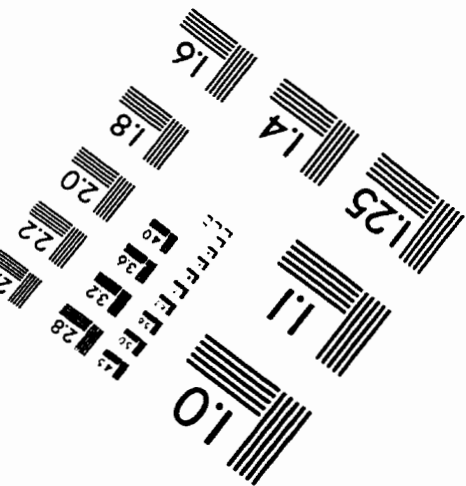
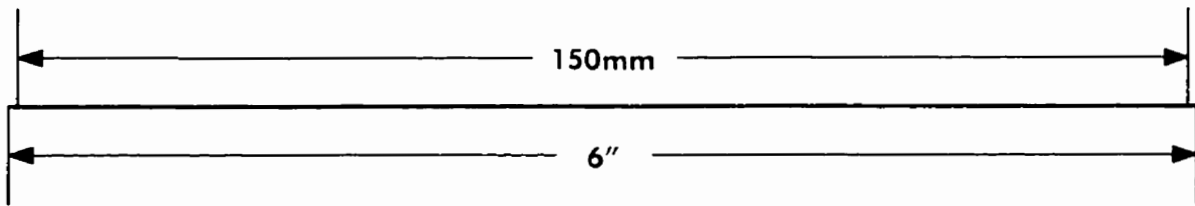
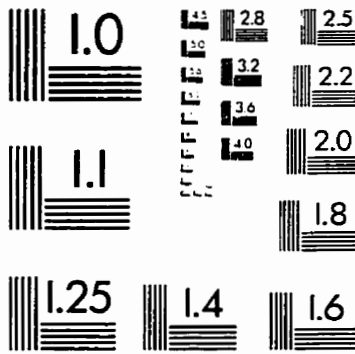
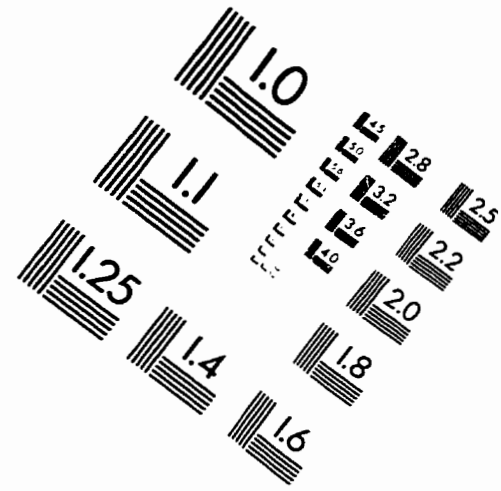
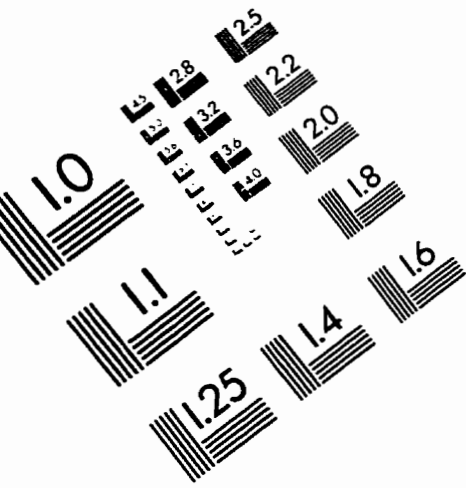
Entries will only be returned if a self-addressed stamped envelope is included with the entry.

Mail entries to:

The Art of CAD
 Canadian Architect
 1450 Don Mills Road
 Don Mills, Ontario
 M3B 2X7

Sponsored by Autodesk and Southam.

IMAGE EVALUATION TEST TARGET (QA-3)



APPLIED IMAGE, Inc
 1653 East Main Street
 Rochester, NY 14609 USA
 Phone: 716/482-0300
 Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied image, Inc., All Rights Reserved