

Université de Montréal

La visualisation 3D et la perspective, comme moyens
participatifs à l'élaboration de la conception architecturale
assistée par l'ordinateur

Par

Riad Djilali

Faculté de l'aménagement

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maître ès sciences appliquées (M. Sc. A)
en aménagement

avril 2007

© Riad Djilali, 2007

Université de Montréal
Faculté des études supérieures



NA

9000

U54

2007

v. 015

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Ce mémoire intitulé :

La visualisation 3D et la perspective, comme moyens
participatifs à l'élaboration de la conception architecturale
assistée par l'ordinateur

présenté par :

Riad Djilali

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

.....
président-rapporteur

.....
directeur de recherche

.....
codirecteur

.....
membre du jury

SOMMAIRE

L'objectif de ce travail de recherche est de mettre en avant l'usage de la perspective et de la visualisation 3D en architecture par l'introduction des technologies numériques, comme moyens participatifs à la prise de décision durant le processus de la conception architecturale.

Pour transcrire son savoir-faire, le concepteur compose, visualise et déduit ses décisions. Chaque action est donc générée en fonction des choix qu'il entreprend pour façonner son modèle architectural. L'intérêt de cette recherche est particulièrement orienté sur cette phase, au moment même de la prise de décision. Il sera question de mettre en avant le partenariat entre le concepteur et l'outil informatique, en notant les influences de ce dernier pendant le développement du processus de conception et en évaluant les actions et résultats de chaque variable.

La revue de littératures et l'exploration des techniques de représentation et de visualisation de l'«Espace» architectural, nous permettent de discerner dans quelle mesure l'implication d'un tel partenariat est engagée. Dans nos postulats, la visualisation 3D engendre une influence dans la prise de décision lors de la conception architecturale ; quand à l'élaboration de cette conception, avec l'aide des techniques de la CAO, elle est imprégnée d'un processus séquentiel et évolutif lors de son développement.

La conception architecturale est une activité complexe, puisqu'elle est liée à plusieurs facteurs. Cependant dans la présente recherche, nous aborderons la problématique de la conception sous un autre angle, en soulevant la question des médias numériques et de l'exploration de la forme et de l'espace architectural à l'aide de ces outils. Les outils numériques ouvrent de nouveaux champs et de larges possibilités dans la création formelle et spatiale, et l'exploration de la conception au moyen des nouveaux médias peut aboutir à des expressions architecturales particulières, et générer de nouvelles solutions en matière de conception spatiale. Les récentes innovations en matière de technologies numériques ont créé de nouvelles opportunités qui impliquent un

changement dans notre façon de voir, de créer et de concevoir dans le domaine architectural.

Mots-clés : Perspective, visualisation 3D, conception architecturale, prise de décision, modélisation.

ABSTRACT

The objective of this research work is to put forward the usage of the perspective and 3D visualisation in architecture by the introduction of digital technologies, as participative means for the decision-making during the architectural design process.

To transcribe its knowledge, the designer composes visualizes and deduces its decisions. Each action is thus generated according to the choice that he undertakes to fashion its architectural model. The purpose of this research is directed particularly upon this phase: at the moment of decision-making. We will propose an application, developing a partnership between the designer and the computer-tool, noting its influences during the development of the design process and evaluating every action and the results of each variable. The review of literatures and the exploration of the representation techniques and the technique of visualization of architectural "Space", allows us to distinguish to what point the implication of such partnership is engaged. In our postulates, the 3D visualisation generates an influence in the decision-making during the architectural design, and the elaboration of the architectural design with the assistance of CAD systems, is impregnated by a sequential and progressive process during its development.

The architectural design is a complex activity, since it is related to several factors. However in the present research, we approach the problem of design under another sight, by raising the question of digital media and the exploration of the form and architectural space using these tools.

The digital tools open new fields and broad possibilities in form and space creation and in the exploration of the design by means of the new media that can lead to particular architectural expressions, and to generate new solutions as regards space design.

The recent innovations as regards digital technologies have created new opportunities which imply a change in our way of seeing, creating and conceiving in the architectural field.

Keys words: Perspective, 3D visualisation, architectural design, decision making, modeling.

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire	iii
Abstract	v
Table des figures	viii
Remerciements	xi
Introduction	1
PARTIE 1 : Mise en Contexte et problématique générale	4
Chapitre 1.1. PROBLEMATIQUE	4
1. 1. 1. Problématique de recherche	4
1. 1. 2. Domaine de recherche	9
1. 1. 3. Délimitation de la recherche	9
1. 1. 4. Objectif de la recherche	11
1. 1. 5. Hypothèse de recherche.....	12
1. 1. 6. Méthodologie de recherche	13
Chapitre 1.2. PROCESSUS DE CONCEPTION EN ARCHITECTURE	17
1. 2. 1. Le processus de conception en architecture	17
1. 2. 2. Le processus d'aide à la décision en conception architecturale; représentation et perception	19
1. 2. 3. L'action et la prise de décision lors de la conception architecturale	21
PARTIE 2 : La perspective, la CAO, la Réalité Virtuelle et la Visualisation	24
Chapitre 2. 1. LE RECOURS À LA PERSPECTIVE AUX SIÈCLES PASSÉS	24
2. 1. 1. Émergence des premières idées de perspective	24
2. 1. 2. Illusion d'optique et le trompe-œil	26
2. 1. 3. Démonstrations scientifiques	27
2. 1. 4. Recours à la perspective dans l'art de la peinture et en architecture	28
2. 1. 5. Conception de la notion de perspective	30
2. 1. 6. Vision nouvelle de la perspective	35
2. 1. 7. Fondement de la géométrie projective	38
2. 1. 8. Champ d'application et forme d'expression de la perspective	39
o Synthèses et discussions	40
Chapitre 2. 2. L'INTRODUCTION DE LA CAO EN ARCHITECTURE	41
2. 2. 1. Apparition du Dessin - Conception Architecturale Assistée par Ordinateur	41
2. 2. 2. Techniques de visualisation et d'aide à la conception	46
2. 2. 3. Méthodes de visualisation en modélisation par les outils de la CAO	46
2. 2. 4. Développement des outils de visualisation, et d'aide à la conception	48
Chapitre 2. 3. LA PERSPECTIVE ET LES MODES DE REPRESENTATION EN CAO ET EN RÉALITÉ VIRTUELLE.....	51
2. 3. 1. L'exploitation de la perspective en architecture	51

2. 3. 1. 1. La perspective linéaire	51
2. 3. 1. 2. La perspective non-linéaire	52
2. 3. 2. L'évolution de l'usage de la Perspective en architecture, par l'introduction des technologies numériques, vers la réalité virtuelle	53
2. 3. 3. La réalité virtuelle et la représentation architecturale	55
2. 3. 4. La conception immersive dans un environnement de la réalité virtuelle comme moyen de représentation de l'image (et de l'objet).....	58
2. 3. 5. La réalité virtuelle non-immersive comme outil de représentation	59
2. 3. 6. La CAO et la RV: méthodes nouvelles et pratiques courantes en conception	59
2. 3. 7. Le «Morphage» (<i>Morphing</i>): Représentation, modélisation et aide visuelle au moyen des outils de la CAO	62
2. 3. 7. 1. Paramétrage de formes spatiales distantes	64
o Synthèses et discussions	65
Chapitre 2. 3: MOYEN DE MODÉLISATION ET DE VISUALISATION SPATIALE.....	67
2. 3. 1. Introduction à la modélisation	67
2. 3. 2. Technique de modélisation en informatique graphique	68
2. 3. 2. 1. Le cas du logiciel 3D Studio Max	68
2. 3. 2. 2. Le cas du logiciel AutoCAD	70
2. 3. 2. 3. Le cas du logiciel Form Z	72
2. 3. 2. 4. Le cas du logiciel LightWave	73
2. 3. 3. La modélisation déclarative	75
2. 3. 3. 1. Le cas du logiciel POV-Ray	77
o Synthèses et discussions	79
PARTIE 3 : Application de la méthode	80
Chapitre 3. 1. ORIENTATIONS ET APPLICATION ET DE NOTRE CAS D'ÉTUDE	80
3. 1. 1. La démarche de recherche	80
3. 1. 2. Les cinq principes (<i>concepts</i>) de Le Corbusier en conception architecturale	84
3. 1. 2. 1. Description des cinq concepts de Le Corbusier dans la composition architecturale	85
3. 1. 2. 2. Transcription des cinq principes de Le Corbusier en modélisation déclarative	86
3. 1. 3. Cas des unités d'habitation de Fruguès, à Pessac, de Le Corbusier	88
3. 1. 3. 1. L'impacte environnementale et la qualité spatiale des habitations	89
3. 1. 3. 2. La relation entre conception spatiale et qualité de l'espace	90
o Discussion	91
Chapitre 3. 2. DÉFINITION DES VARIABLES	91
3. 2. 1. La visualisation de l'effet de l'ensoleillement sur les unités d'habitations, et son influence lors de la conception architecturale	92
3. 3. Modèle informatique proposé	96
3. 3. 1. Première partie du cas d'étude	96
3. 3. 1. 1. Première étape	99
3. 3. 1. 2. Deuxième étape	101
o Discussions sur les résultats obtenus à la première partie du cas d'étude	105

3. 3. 2. Deuxième partie du cas d'étude	106
3. 3. 2. 1. Première étape	106
3. 3. 2. 2. Deuxième étape	107
o Discussions sur les résultats obtenus à la deuxième partie du cas d'étude	114
3. 4. Discussion sur l'étude de cas et conclusions à en tirer	115
CONCLUSION GÉNÉRALE	116
Bibliographie	120
Annexes	127

TABLE DE FIGURES

Figure 1. Dessin figurant dans le Carnet de Villard de Honnecourt	27
Figure 2. « <i>La Città ideale</i> » du panneau dit d'Urbino, attribué par certains historiens d'Art à Giuliano da Sangallo. La composition exprime la conception scénographique de la représentation perspective	29
Figure 3. Photo du baptistère de Florence, XIXème siècle	31
Figure 4. Les points de fuites. (Baptistère de Florence).....	31
Figure 5. La présentation de Marie au temple par Paolo Uccello, 1435	32
Figure 6. Le "Portillon" de DÜRER est l'ancêtre des perspectographes ; la machine dont il nous a gravé le principe simule l'intersection des rayons lumineux issus d'un objet --un luth-- et convergeant en un point avec le plan de projection. Figure extraite de l'article "Perspective", in <i>Encyclopaedia Universalis</i> , Paris : 1975 & 1989.....	34
Figure 7. Villa Medicea di Poggio a Caiano, Michelozzo, 1480, Florence	36
Figure 8 et 9. Raphael, Scuola di Atene, Rome, 1509	36
Figure 10. L'évolution des programmes de CAO, au cours des 30 dernières années	49
Figure 11. Exemple du musée Guggenheim à Bilbao par Frank O. Gehry. Modélisation sur le logiciel CATIA®	60
Figure 12. Le «Morphage» d'un objet résultant une nouvelle configuration de l'objet initial	63
Figure 13. Paramétrage de formes spatiales distantes	65
Figure 14. Paramétrage de formes spatiales distantes	65
Figure 15. Interface graphique du logiciel 3D Studio Max® v. 9.0	69
Figure 16. Interface graphique du logiciel AutoCAD® 2006	71
Figure 17. Interface graphique du logiciel FormZ	72
Figure 18. Interface du logiciel LightWave® 3D v 8.0	74
Figure 19. Les cinq principes de Le Corbusier	84
Figure 20. Illustration de quelques configurations référant aux cinq principes de Le Corbusier	86
Figure 21. Modèles informatiques générés aléatoirement par programmation sur AutoLISP. Sur la base des cinq principes de Le Corbusier. Une approche méthodologique à la conception proposée par Asojo A-O. (2001)	87
Figure 22. Unité d'habitation de la cité ouvrière de Le Corbusier à Pessac (1925-1926).....	88
Figure 23. Les changements réalisés par les usagers sur l'aspect extérieur des habitations. (Unités d'habitations de Le Corbusier, à Pessac)	89
Figure 24. Principe de standardisation. Modulation des cellules. Projet unités d'habitations de Frugès, à Pessac	90
Figure 25. Expression synthétique du lié – indépendant. Les percements se tiennent sur un même alignement vertical qui les relie, et leur indépendance est assurée par la surface continue de béton blanc qui les sépare. (Ricordeau C., 1995)	93
Figure 26. Représentation en 3D du rapport «lié – indépendant» de Ricordeau C., (1995)	93
Figure 27. Plan initial de Le Corbusier. «L'unité d'habitation». Dimensions et morphologie	96
Figure 28. De la conception à la construction, avec et sans la modélisation 3D, Gorczyca A. (2001)	98

Figure 29. Reconstitution architecturale : premier bloque épuré	99
Figure 30. Reconstitution architecturale : superposition des blocs	100
Figure 31. Configuration originale de l'unité d'habitation	100
Figure 32. Volumisation du premier module	101
Figure 33. Volumisation des modules unitaires: étape par étape	101
Figure 34. Représentation visuelle de l'emprise spatiale de l'ensemble des modules	102
Figure 35. Paramétrage de volumes pour générer des formes	103
Figure 36. Paramétrage des ouvertures par volumisation	106
Figure 37. Paramétrage des ouvertures. Génération de diverses formes	107
Figure 38. Modèle informatique représentant le projet original	108
Figure 39. Recomposition. Modèle informatique indiquant un des types de transformations réalisées sur les ouvertures, par les habitants	108
Figure 40. Simulation opérée sur le modèle informatique reconstituant le projet tel que réalisé. Effet de la lumière sur l'espace intérieur. Éclairage provenant de l'est	109
Figure 41. Simulation opérée sur le modèle informatique reconstituant le projet tel que réalisé. Effet de la lumière sur l'espace intérieur. Éclairage provenant de l'ouest ...	110
Figure 42. Simulation sur modèle informatique reprenant un type de transformations réalisées sur les ouvertures. Effet de la lumière sur l'espace intérieur. Éclairage provenant de l'est	112
Figure 43. Simulation sur modèle informatique reprenant un type de transformations réalisées sur les ouvertures. Effet de la lumière sur l'espace intérieur. Éclairage provenant de l'ouest	113

*À mes Parents,
ma Sœur et mon Frère*

REMERCIEMENTS

Ma passion et mon désir d'apprendre et d'approfondir mes connaissances sur le monde de la CAO ont incité ma motivation pour cette recherche.

Je remercie d'abord mon directeur de recherche Monsieur Giovanni De Paoli pour sa compréhension, ses conseils, ses orientations et son support ; pour l'autonomie et le discernement qu'il m'a accordé durant tout ce travail de recherche.

Ma reconnaissance va également au professeur Temy Tidafi, directeur du groupe G.R.C.A.O, qui m'a amicalement offert le support logistique nécessaire pour mener à terme ma maîtrise.

Je remercie également la professeure Manon Guité pour ses commentaires et ses orientations au profit de ma recherche.

Mes remerciements vont également à l'ensemble du corps enseignant, en particulier : Mme Daniela Ursu, M. Colin Davidson et M. Stephan Chevalier.

À monsieur Tomás Dorta, pour ses commentaires, son support et pour les sources bibliographiques qu'il m'avait fournies lors de ma recherche historique sur la perspective.

Je remercie également Ivanka Iordonova pour sa disponibilité et son agrément à partager et à communiquer ses connaissances au privilège de ma recherche. Sans oublier mes confrères du groupe G.R.C.A.O : Anis, Nada, Nathalie, Omar, Dominic, Samir, Hicham, Salim, pour leur permanence dans la recherche, et pour l'environnement stimulant qu'ils entretiennent dans l'équipe.

Je tiens à remercier Mme Nicole Larivière, pour son attention au bon déroulement de mon cursus et pour le suivi académique qu'elle m'a accordé.

Je remercie chaleureusement: Adnane H., Halim, Sid-Ali, Kassi, Claudia, Tewfik, Hadji, Adnane O., ainsi que tous mes amis pour leur présence et leur soutien.

Mes profonds remerciements vont aussi à mes parents : à mon père qui m'a consciencieusement soutenu durant tout mon travail de maîtrise et qui m'a transmis sa passion pour l'architecture, l'enseignement et la recherche ; à ma mère par sa présence et ses encouragements, à ma sœur, Wafia, et à mon frère, Sofiane, pour leur précieuse aide. À ma Tante Samia, pour le temps qu'elle a consacré à la lecture du mémoire et pour son enseignement et ses conseils au bon usage de la langue.

J'adresse mes sincères remerciements à toute ma famille, à mes ancien(ne)s professeur(e)s, à mes amis et à tous mes proches pour leur appui et leurs encouragements.

INTRODUCTION:

Depuis plusieurs siècles, l'architecture connaît des changements en terme de paradigme. Il est souvent question de débats autour de sa culture, de ses orientations, de ses pratiques, de ses méthodes, et de ses témoignages. Il nous paraît clair, qu'en tournant notre regard vers les traces du passé, nous arrivons à percevoir les lignes et les directions prises dans notre présent. Notre regard se tourne vers notre savoir-faire qui depuis des siècles évolue et progresse en nous ouvrant le champ sur de nouvelles pistes et de nouveaux développements, contribuant ainsi à l'amélioration de nos pratiques.

Au cours de ce travail de recherche, nous nous sommes particulièrement orientés vers la question de la perspective et de la visualisation en architecture. Il est défini dans les textes encyclopédiques que la visualisation est l': «*Action de rendre visible un phénomène qui ne l'est pas*» (*Le petit Robert 2005*). La visualisation apparaît donc, comme un moyen de transcription de l'information ce qui, pour le concepteur, signifie : se référer à un moyen de représentation de l'image mentale déjà constituée.

La capacité de trouver des idées et des solutions à un problème, passerait d'abord par ce «support interne» pour être ensuite transcrite, analysée et communiquée visuellement à l'aide d'un «médium externe». La question de visualisation comme moyen de perception de l'idée produite par cette transcription, ne demeure plus comme un simple moyen de représentation mais apparaît comme un système complémentaire à l'appoint et à l'aboutissement de l'idée initialement générée.

Tout d'abord, nous ouvrons le débat sur une question correspondant à notre thème de recherche : y-a-t-il une influence entre visualisation 3D et développement de la conception architecturale ?

Pour notre part, notre hypothèse de recherche est que, pour plus de résultats pondérés et de cohérence dans la prise de décision, la visualisation 3D doit nécessairement accompagner la conception architecturale tout au long de son processus d'élaboration et de son développement.

Comme première étape de notre travail de recherche, nous élaborons un recueil historique 'chronologique' sur le développement de la perspective en art et en architecture : depuis son apparition jusqu'à son évolution actuelle. Les témoignages marqués durant ces époques de l'histoire pour la représentation de l'espace tridimensionnel, notamment par le dessin en perspective, avaient contribué à l'émergence de systèmes qui constituent aujourd'hui la base de nos connaissances les plus élémentaires. Qui aurait pu croire que quelques siècles après l'application du dessin perspective, l'architecte- concepteur utiliserait comme outil de représentation : l'ordinateur, pour le dessin en trois dimensions.

La seconde étape de notre recherche marque le prolongement de cette évolution de médias relatifs à la représentation visuelle de l'espace ; mais cette fois, comme fondement grâce à la CAO et la réalité virtuelle et aussi par la mise en avant des techniques nouvelles en matière de conception au moyen de ce nouvel outil. Il nous est nécessaire dans cette étape d'effectuer une étude analytique sur l'apparition des outils de la CAO, et leurs implications en terme de visualisation en architecture. La CAO et la réalité virtuelle ont engendrés un changement dans les pratiques de l'architecture et dans la manière de concevoir et de percevoir l'espace. Dans notre approche, il nous est nécessaire d'en prendre compte. La corrélation entre outil de visualisation et processus conceptuel en architecture constitue ainsi l'objet de notre recherche.

La troisième étape de notre recherche porte sur un cas d'étude relative à notre hypothèse de départ. Le rapport entre outil –visualisation 3D et conception, appuie cette relation de partenariat entre l'architecte -concepteur et l'outil informatique. Notre recherche propose une autre vision de la pratique architecturale, son but est d'apporter une aide au développement du processus de conception architecturale.

La question d'adaptation de l'outil et des médias pour le traitement du savoir-faire, en relation directe avec la problématique de la pratique de la conception architecturale, a constitué notre point de départ. Les médias et les outils dont dispose l'architecte –

concepteur, notamment les maquettes physiques, sont-ils mis à contribution lors de la conception de l'espace architectural ? Avec les développements des nouvelles techniques et technologies en matière de CAO, le monde du travail utilisant l'outil informatique est de plus en plus confronté aux problèmes de performance, de rentabilité, d'efficacité et de qualité des prestations, d'une part, et d'autre part à l'adaptation aux nouvelles techniques et méthodes de conception. De même, l'utilisation des programmes graphiques au service du concepteur demande de plus en plus de diversités et de performances. Les prouesses techniques et technologiques dans ce domaine, font que ces supports et outils de travail subissent une évolution permanente et croissante. Les nouvelles techniques et méthodes dans les pratiques de la conception architecturale par l'exploitation de ces outils, peuvent engendrer un changement fondamental et générer bien des solutions et des réflexions quant à la question de concevoir et de créer des espaces.

Chapitre 1. 1. PROBLÉMATIQUE

1. 1. 1. Problématique de recherche :

Aujourd'hui, les architectes emploient aussi bien la perspective et les dessins d'esquisses, que les épures et les rendus d'images. Mais leur utilisation a été marquée par des changements de méthodes, dans la représentation graphique (2D/3D) et dans la conception architecturale, et ce depuis l'émergence des nouveaux logiciels et des performances des outils d'informatique, particulièrement en design et en architecture.

Ces changements deviennent alors un sujet d'intérêt et de préoccupation pour beaucoup de chercheurs. Ainsi par exemple, Dorta (2001) et Moore (1981), soulignent que les médias traditionnels bidimensionnels limitent la visualisation de l'espace. Ce dernier écrit :

«Les médias traditionnels échouent dans la représentation de l'espace puisque ce n'est pas l'espace qui est dessiné, mais exactement des plans et des coupes dans lesquels il se réfugie. De cette façon, nous sommes attirés à nous fixer sur les médias eux-mêmes, au détriment de l'espace architectural qui se dévoile pourtant à travers eux» (Moore et Al., 1981 ; Dorta, 2001).

En effet, cette question d'espace architectural, sous-entendu pour nous : « espace tridimensionnel », nous interpelle, suscite notre intérêt et nous renvoie vers une question principale qui est : Peut-on changer de mode d'application et orienter notre savoir-faire en conception architecturale : (autrefois basé sur des représentations en deux dimensions), à une conception dans un espace en trois dimensions? De plus, cela pourrait-il aider le concepteur à la création de l'espace architectural?

De cette problématique nous allons alimenter notre réflexion autour de deux points relatifs à ces questions.

Notre analyse s'appuiera d'une part : sur l'importance de la perception de l'objet et d'autre part, sur l'espace architectural en trois dimensions (3D).

Une représentation plane de la réalité perçue, limite l'appréciation de l'objet et de l'espace architectural à une simple image figée et inerte.

«[...] It is this possibility of representing architectural space on a two-dimensional surface that has had such a profound influence on architectural practice over the years, imposing a spatial organization based on axes, points and symmetries, in order to orient the body through the eye and reinforce the centrality of the observer» (Galofaro, 1999).

Tout en soulignant quelques problèmes des pratiques d'outils traditionnels, et de la communication de l'information, Dorta (2001) mentionne qu'une représentation bidimensionnelle soumet le concepteur à un effort constant de codage et décodage de l'information transmise engendrant un manque d'information dans le processus de conception, dans la communication, et dans la visualisation de l'information.

Pour revenir à la perception de l'objet et à l'espace architectural, Lansdown (1994) et Dorta (2001), soulèvent aussi les problèmes du dessin pour la génération des objets 3D, en signalant les points suivants :

- *L'impossibilité de se sentir à l'intérieur de l'espace et de l'habiter virtuellement.*
- *Le fait de ne pas pouvoir éviter l'abstraction spatiale pour comprendre des formes et des relations complexes tridimensionnelles. Lorsque nous faisons une perspective à main levée, nous n'avons pas assez de précision et cela nous conduit à tricher inconsciemment sur les proportions de l'objet.*
- *L'irrespect de l'échelle humaine et l'angle de vision de l'observateur.*

Par ce constat, on peut conforter l'idée que les paramètres de bases présents dans la réalité que l'on perçoit, échouent dans un espace planaire (en 2D).

Et pour ce, Cousin J. cite :

« La perspective créée jadis par les artistes, puis reprise en main par les géomètres, n'est plus vraiment utile dans le domaine artistique, depuis l'invention de la photographie et l'intérêt peu généralisé de représenter la nature d'une manière réaliste [...] » (Cousin J., 1993).

Ainsi, représenter ou concevoir un espace tridimensionnel en deux dimensions ne serait plus une méthode de conception à maintenir. L'espace réel tridimensionnel, ne peut être limité à une simple représentation bi- dimensionnelle.

Boudon P. (1989), indique que :

« Figurer un objet architectural c'est le présenter à son regard ou à son esprit de telle façon qu'on puisse en appréhender un aspect choisi. [...] N'oublions

pas toutefois que pour l'architecte, l'objet n'existe pas, il est à inventer»
(Boudon P., 1989).

Abordant dans le même sens Tidafi (1996) déclare que :

«Les projections perspective ont pour but de simuler ce que l'oeil 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 projet. Ces modes de figuration permettent de créer une illusion de profondeur pour une solution» (1996)

Par ailleurs, on peut aussi noter que le mouvement, la profondeur, et la grandeur, présents habituellement dans un environnement spatial, sont absents dans cet espace bidimensionnel. De même que, la représentation traditionnelle d'une perspective architecturale découle d'un résultat, pour lequel un processus créatif et conceptuel a été contraint à une seule image.

«Jusqu'à présent, l'architecture, par les méthodes de représentation qui utilisent le papier comme outil de communication, ne permet pas une complète compréhension spatiale. Les perspective qui donnent l'illusion de la troisième dimension introduisent en même temps, comme biais, l'angle visuel de l'architecte: les acteurs ne peuvent pas se mouvoir autour et dans cet objet pour le posséder. Depuis Dédale, appréhender l'espace d'en haut nous fascine et c'est ainsi que nous dessinons des perspectives à vol d'oiseau et que nous présentons des maquettes permettant de voir un espace non «vécu» parce que, dans la réalité quotidienne, nos yeux se promènent à environ un mètre et demi du sol ou un peu plus. De la même façon, les représentations fidèles du bâtiment introduites depuis le début de l'enseignement de la géométrie descriptive dans les écoles polytechniques de France, représentent l'image en faisant souvent abstraction de la matière et plus encore de l'esprit de l'objet architectural» (De Paoli, 1999).

«Digital media has transformed the way architects and artists look at space and its representation. The flexibility of the digital medium has opened up new avenues for creative expression» (Koutamanis, 2000).

L'apport du mode numérique dans la représentation a engendré de nouvelles visions du processus de créativité et de conceptualisation.

Néanmoins et selon Guijar (1995), parce qu'un modèle numérique peut être utilisé dans un processus de design, il ne devrait pas être utilisé comme produit fini.

Autre constat: la représentation en perspective sur une surface planimétrique (2D) d'un espace tridimensionnel n'est qu'une manière artificielle pour dessiner, et aujourd'hui, il est possible d'observer des modèles 3D, et d'apporter des solutions à notre conception (Galofaro, 1999).

En fait cette dernière supposition est validée par l'outil informatique parce qu'il permet de créer et visualiser des images 3D virtuelles en temps réel.

« [...] Alors que les modes de représentation traditionnels (plan, coupe, élévation) suggéraient une réalisation future, l'image de synthèse supprime cette étape, au profit de la simulation » (AA, 1999, p81)

Dorta (2001), affirme qu'avec l'infographie d'aujourd'hui les images tridimensionnelles du projet, peuvent être vues lors de chaque étape de conception et que le mouvement dynamique des images générées par l'ordinateur simule plus efficacement l'espace que les vues individuelles.

«From an architectural point of view, the design process has many dimensions in cognition and perception but it is bounded to graphic representation» (Martens, Brown, 2005).

De toutes ces approches qui invitent au débat, une question nous vient à l'esprit : Quelle serait l'implication de la visualisation en conception architecturale et comment intervient-elle dans le processus de création et mode de représentation? C'est là un deuxième aspect de notre problématique qui fera l'objet de notre réflexion dans cette recherche.

En fait, l'action et la prise de décision durant le processus de création n'en sont pas moins impliquées dans le développement de l'idée. De Paoli (1999) explique, qu'étudier la perception en CAO signifie comprendre ce que l'architecte voit à l'écran et derrière l'écran, c'est-à-dire voir s'il peut intervenir activement et explicitement sur les images visualisées.

Le processus de conception est lié à la représentation graphique : l'image produite découle d'une réflexion qui émane d'un continuum entre image mentale et projection graphique, une liaison entre imagination (connaissance) et perception (représentation).

En conclusion à cet état de fait, nous nous dirigeons vers une première réponse à nos questions.

1. 1. 2. Domaine de recherche :

En termes de concept, la perspective nous renvoie à la spatialisation. Cette affirmation de notre part introduit notre définition de la notion de perspective qui, dans une connotation plus technique, signifie : la représentation, en deux dimensions, d'un objet ou d'un espace en trois dimensions. Dans les textes encyclopédiques, la «perspective» est définie comme étant un :

«Art de représenter les objets sur une surface plane, de telle sorte que leur représentation coïncide avec la perception visuelle qu'on peut en avoir, compte tenu de leur position dans l'espace par rapport à l'œil de l'observateur » (Le Petit Robert, 2005).

Nous savons aussi que «figuration» : est la représentation perceptible d'un objet ou d'un espace (Tidafi, 1996; Sanson, 1997; De Paoli, 1999; Iordanova, 2000). Dans notre recherche, nous nous intéressons à cette action de rendre perceptible à l'œil un objet ou un espace tridimensionnel au moyen de «la visualisation 3D». Iordanova (2000), indique que l'aide visuelle dans l'espace de conception peut-être de deux types : externe (sur un support physique ou numérique) ou interne (mentale). Dans notre recherche, nous nous appuyons sur «l'aide visuelle» et son implication pendant le «processus de conception»; nous nous basons donc sur l'aide externe et son association à l'action du concepteur pour révéler la forme architecturale.

1. 1. 3. Délimitation de la recherche :

Il est plus cohérent à notre sens de définir, à la base de l'étude, notre préoccupation de recherche. Nous avons mis en revue, au départ la littérature des principales méthodes et démonstrations pour la représentation de l'espace tridimensionnel (3D) : d'abord la perspective. Ensuite nous avons orienté notre investigation vers la représentation visuelle, l'aide visuelle au moyen de la communication et la technologie en CAO et celle de la réalité virtuelle, pour essayer d'expliquer l'implication de l'aide par l'image artificielle (image synthèse) en conception architecturale. Comme problématique établie, nous avons soulevé le lien entre le concepteur et la visualisation pendant les phases de conception. C'est donc à cette limite que s'attellera notre recherche. Notre

souci premier est lié à l'action de prise de décision par le concepteur pour la création de la forme en architecture. La visualisation au moyen de la technologie CAO, dans ce cas, prend figure d'une aide à l'action et au processus de création.

Par ailleurs, nous savons qu'il est indiqué qu'en recherche: l'étude d'un phénomène ou d'un problème spécifique nous renvoie souvent au traitement des parties intégrantes de ce phénomène, pour arriver enfin à le résoudre : Birady (2004). Dans ce sens, nous citerons aussi Leipp (1984), sur un sujet qui se rapproche au nôtre, où il déclare: *«l'étude d'un problème de communication implique généralement l'étude de la chaîne complète de communication»*. Dans un tel cas, il indique que l'étude devra prendre en compte tous les éléments qui sont en lien direct avec son sujet afin de pouvoir résoudre le problème posé au départ. Nécessairement donc, notre sujet implique des paramètres tels que : la communication, la transcription et la transmission de l'information, ainsi que d'autres paramètres que l'on qualifie de non qualitatifs par rapport à notre recherche et qui concerne le propre de chaque concepteur comme par exemple, les facteurs : psychologiques, culturels, émotionnels ou visuels (perceptifs).

Notre connaissance du monde, particulièrement notre connaissance pratique, est essentiellement basée sur nos perceptions. La perception désigne l'ensemble des mécanismes et des processus par lesquels l'organisme prend connaissance du monde et de son environnement sur la base des informations élaborées par nos sens. Il existe de nombreux exemples dans lesquels notre perception semble induire une information erronée sur notre environnement. Quand elles concernent le sens de la vue, ces déformations sont appelées illusions d'optique. On peut donc parler d'illusion chaque fois qu'il y a non-concordance entre les données perceptives et les données objectives.

«Il s'agit d'un phénomène essentiellement psychologique impliquant la mise en œuvre de processus perceptifs normaux à l'égard de données physiques particulières» (Encyclopédie Universalis, 1998).

[...] chaque personne peut percevoir et apprécier un environnement physique différemment, en fonction de ses expériences passées, sa sensibilité, sa formation, sa culture, [...] (Iordanova, 2000). Ces types de facteurs ne seront pas pris en considération dans notre recherche car, notre principal intérêt est d'aborder l'interaction entre le concepteur et la visualisation au moyen d'un médium en CAO, en prenant en compte

spécifiquement les apports qualitatifs et quantitatifs que pourrait révéler ce type de partenariat pendant le processus de conception.

1. 1. 4. Objectif de la recherche :

L'objectif de la recherche est d'évaluer la possibilité de concevoir en trois dimensions lors de la conception et d'offrir au concepteur une aide dans le développement créatif de sa conception en lui permettant d'exploiter les qualités spatiales qu'offre la CAO en terme de visualisation spatiale. Autres que ces qualités, le concepteur retrouve un partenaire–assistant capable de lui générer en simulation temps réel, le résultat de ses interventions. En d'autres termes, dans un tel environnement simulé, le concepteur mettra en pratique son savoir-faire tout en ayant les outils nécessaires pour y aboutir.

L'idée est qu'un tel changement de pratiques pourrait contribuer à proposer une autre approche dans les méthodes de travail et particulièrement dans la manière de percevoir l'objet conçu, mais aussi à aider notre réflexion, notre vision et notre appréciation de l'espace à concevoir.

DONG W. et GIBSON K., citent que :

« Over 30 years ago, Ivan Sutherland created his first digital two-dimensional drawing. During the past three decades, the growth of computer-aided design has been a rapid, natural progression – an evolution of drawing delineation. Just as stone, papyrus, mechanical pens, and T-squares before, the desire for better communication and documentation techniques led engineers and designers to the digital environment. Computer graphics happens to be the most recent advancement in a long history of drawing, a history which continues to evolve ». (*DONG Wei et GIBSON Kathleen, 1998*)

De nos jours les approches conceptuelles par méthode traditionnelle en comparaison aux méthodes de conception par l'outil informatique représentent une « révolution numérique ¹ » où le progrès technique constitue le domaine prometteur à la conception architecturale.

¹ Révolution numérique : extrait de l'article, AA 325, p80, Dec.1999.

La conception en 3D par les outils de la CAO, marque un potentiel qui n'est actuellement qu'à ses balbutiements, mais en perpétuels changements et évolutions grâce aux recherches faites dans ce domaine, et aux nouvelles performances technologiques de l'outil informatique.

Dans notre recherche il est question d'une étude sur la perspective dans le processus de conception et sur les outils de visualisation par les techniques de la CAO.

1. 1. 5. Hypothèse de recherche :

Nous aurons à constater, à travers une étude exploratoire, que les méthodes de représentations graphiques d'espaces tridimensionnels établis à partir de projections bidimensionnelles où des projections basées sur des vues planaires (dessins en 2D), présentent des contraintes au niveau de l'exploration formelle. Ceci a été énoncé dans notre problématique. Rappelons que dans notre recherche, il est question de mettre en avant un outil présenté comme un assistant à l'architecte- concepteur, et que de nos jours, il est largement mis en avant les corrélations entre l'informatique graphique : la CAO en particulier, et l'architecture, et ceci précisément pendant la phase de la conception. L'arrivée des nouvelles techniques avec la conception assistée par ordinateur, la réalité virtuelle et les nouvelles exigences en conception architecturale, nous orientent vers de nouvelles possibilités. Nous nous sommes orientés tout au long de notre étude, sur la représentation 3D d'un espace, dans notre cas : « la perspective » et sur l'implication de la CAO lors de la conception. Il est cité qu'*en architecture, la représentation visuelle de l'espace est à la fois un outil d'analyse de l'espace, un outil de conception et un outil de communication* (Birady, 2004). Notre hypothèse est basée sur la relation de la CAO pendant la phase conceptuelle en architecture, et l'hypothèse est la suivante :

« Pour plus de résultats pondérés et de cohérence dans la prise de décision : la visualisation 3D doit nécessairement accompagner la conception architecturale tout au long de son processus d'élaboration et de son développement ».

Pour valider cette hypothèse nous proposerons une étude de cas, dans laquelle nous mettrons en application des simulations de situation afin de noter les influences de la visualisation pendant le processus de conception.

1. 1. 6. Méthodologie de recherche :

La mise en place d'une méthode d'analyse nous permettra de répondre à notre question de recherche. Morin (1977), Iordanova (2000), indiquent que la méthode est ce qui nous aide à penser nous mêmes. À ce propos Morin cite : *«Nous avons besoin d'une méthode de connaissance qui traduise la complexité du réel, reconnaisse l'existence des êtres, approche le mystère des choses»*.

Tout au long de la première partie de la recherche, nous avons opté pour une recherche exploratoire, ce qui nous a permis de découvrir les faits inhérents à notre problématique. Barth (1993), indique que la fonction heuristique réfère à une démarche de recherche inductive correspondant à un processus d'inférence du général à partir du particulier. Ainsi, [...] la recherche exploratoire est orientée vers l'observation de la réalité en vue de définir les principaux éléments d'un problème ou d'une situation (Passini, 1996 ; De Paoli, 1999; El-Khoury, 2004) et, dans ce cas, l'information est recueillie, et l'hypothèse peut être formulée. C'est ce que nous avons fait en formulant notre hypothèse, et dans la partie suivante nous procédons à l'identification de nos variables. Toutefois, avant d'identifier ces dernières, nous allons indiquer les moyens disponibles pour la validation de notre hypothèse, et déterminer les éléments qui pourraient répondre à nos attentes en termes de mise en épreuve. Le choix du moyen dans ce cas, serait comparable au choix des outils pour la réalisation d'une mise en épreuve.

Pour revenir à la première partie de notre travail, nous rappelons que nous avons élaboré une étude exploratoire sur la perspective. Nous allons voir que l'application de la perspective dans l'art et en architecture a soutenu un changement évolutif en matière de technique de représentation. Nous avons évoqué, les premières analyses sur la perspective basée sur l'optique, puis les premières règles et lois de la perspective,

engageant une retranscription de règles géométriques pour la création de décors tridimensionnels. L'illusion de la troisième dimension crée alors une nouvelle expression figurative et marque un tournant dans le domaine de la représentation graphique. De la perspective linéaire à la perspective curviligne, les artistes et architectes de l'époque découvrent une science, développée plus tard en une nouvelle discipline : «la géométrie descriptive». Représenter en 3D, à travers cette dernière, était devenu une technique fondée sur des règles mathématiques et correspondait à un savoir faire communicable pour tout artiste, architecte, designer ou ingénieur qui souhaiterait représenter et voir en 3D. Les nouveaux paradigmes en représentation spatiale et en visualisation, notamment les développements vers la réalité virtuelle, tels qu'évoqués dans nos chapitres subséquentment, avaient conduit à la représentation spatiale, issue d'une volonté d'expression de la forme (en 3D) telle que perçue dans la réalité, vers un outil graphique au service de la visualisation spatiale. Nous sommes alors projetés vers la compréhension, l'interprétation et l'appréciation de l'espace de figuration, cet environnement particulièrement visuel dans lequel tout artiste, architecte, designer exprime sa création. Le virtuel prend place au profit de la création spatiale. Nous passons de la représentation spatiale à la création spatiale : «la conception».

Dans notre étude, il a été noté que les développements mathématiques et les recherches vers de nouveaux modes de figuration, notamment la perspective, ont conduit à l'informatique graphique. Nous rappelons aussi, que les lois de la géométrie descriptive sont régies par des formules mathématiques qui sont à la base de la géométrie spatiale euclidienne, au privilège de la figuration spatiale. Nous parlons alors, de modélisation : la création d'objet ou de décors en trois dimensions. La perspective est partie intégrante de cet environnement spatial virtuel dans lequel tout concepteur peut créer une forme en trois dimensions. Nous basculons alors de la simple représentation graphique en perspective vers un espace virtuel de conception en trois dimensions.

Que nous parlions d'une simple représentation en perspective (3D sur un plan) ou d'une modélisation, l'appréciation demeure visuelle. Dès lors, nous nous interrogeons par la question suivante: y-a-t-il une influence entre visualisation 3D et développement d'une conception architecturale ? Pour répondre à cette question nous avons étudié en

premier lieu, quelques moyens de modélisation pour la réalisation d'une conception architecturale. Le médium choisi nous servira d'outil pour tester la mise en application de notre étude de cas. Pour ce faire, et selon le point abordé ultérieurement, dans notre étude sur la modélisation déclarative et les procédés de conception par cette démarche, nous retiendrons que la modélisation déclarative permet la prise de connaissance rapide des solutions proposées et aussi le fait que le choix d'une ou de plusieurs solutions peut se faire par le rapport: conception / re-conception. Nous citerons entre autre : la possibilité de recourir au choix automatique d'un point de vue et la possibilité d'explorer visuellement un grand nombre de solutions potentielles (Robert Maculet R. et Daniel M., 2003). Pour réaliser notre mise en épreuve, et conséquemment à l'analyse élaborée précédemment sur différents logiciels en modélisation, nous retenons le logiciel POV-Ray. Nous rappelons que les critères pour le choix de ce logiciel ont déjà été indiqués et nous soulignons que ce dernier ne constitue qu'un outil dans notre démarche.

Dans notre étude, nous avons retenu comme exemple-test, le cas du projet Pessac de Le Corbusier (ayant fait l'objet de critiques) pour mettre en place une méthode d'analyse de la démarche de conception de ce dernier, en vue d'illustrer les changements provoqués par l'usage des technologies numériques en conception architecturale. À travers cet exemple nous élaborons une recomposition architecturale afin de noter les influences de la visualisation 3D, -qui pourraient être générées pendant la conception architecturale. Nous avons choisi de procéder à une recomposition architecturale plutôt qu'à une conception architecturale, ceci étant dans un objectif de mise en épreuve. En procédant par une recomposition architecturale, en premier lieu: nous pouvons garder des paramètres identiques à ceux abordés par la conception architecturale initiale (même démarche que celle adoptée par le concepteur), et en second lieu : nous pouvons retracer et garder une conception fidèle à celle de Le Corbusier. Par cette démarche nous souhaitons évaluer l'influence générée par l'usage des technologies numériques d'un point de vue qualitatif et noter l'implication de la visualisation 3D durant ce développement. Il nous semble important de préciser que parler de recomposition architecturale ne signifie pas faire de la : conception, mais l'objectif que l'on s'est fixé par une telle substitution est la «requalification des

éléments architecturaux». Telle que déjà énoncée, notre démarche consiste à réétudier le parcours de l'élaboration de la conception de Le Corbusier dans un but de reconstituer une situation équivalente à celle initiale et de noter ensuite les influences de la visualisation 3D et l'environnement 3D (perspective) sur la prise de décision pendant un processus de conception similaire. Autrement-dit : sans changer l'aspect général du bâtiment, nous allons noter les changements potentiels qui pourraient être portés, au moment de la conception, d'un point de vue qualitatif. Nous allons voir, par l'introduction d'une variable telle que la prise en compte de l'ensoleillement (par simulation), pendant le développement du modèle et par la visualisation : les résultats des effets de cet ensoleillement sur le modèle. Cela pourrait induire à procéder à un nouveau paramétrage de ce modèle, autrement dit : au changement de la forme.

Chapitre 1. 2. PROCESSUS DE CONCEPTION EN ARCHITECTURE

1. 2. 1. Le processus de conception en architecture :

Il est le moment de créer et de générer une œuvre architecturale. C'est aussi l'action de réaliser une forme pour aboutir à un objet ou à un bâtiment. Selon J.-L. Moigne, un processus est défini par:

« [...] son exercice et son résultat : il y a processus lorsqu'il y a fil du temps T, la modification de la position dans un référentiel «Espace-Forme» d'une collection de «produits» quelques identifiables par leurs morphologies, par leur forme F [...]» (1990) ; (Iordonova I., 2001)

Parler de conception architecturale reviendrait donc, à définir un processus, qui pourrait être vu comme un enchevêtrement d'actions (Tidafi, 1996). Tidafi dénote qu' : *«Une action est ce qui permet à une personne de réaliser une intention, comme amorcer un projet d'architecture ou construire un mur» (1996)*. Il corrobore son opinion en qualifiant le processus de conception de : *«récuratif» (1996, p15)*, parce qu'il déclare: *« un bâtiment est obtenu après plusieurs allers-retours entre un problème et sa solution» (1996, p15)*.

Dans la même approche : De Paoli souligne que nous pouvons distinguer deux particularités à la conception : *«la résolution d'un problème, et son évaluation» (1999)*. Il indique que:

«[...] les réflexions des chercheurs sur la conception mettent en évidence deux caractéristiques importantes pour la résolution de problèmes en architecture. D'une part la recherche d'une solution dépend non seulement des problèmes normatifs ou culturels (caractéristiques externes), mais aussi de caractéristiques «internes» et pour évaluer une solution, les acteurs du processus de conception doivent accepter le choix avant la réalisation de l'œuvre (Davidson, 1988). D'autre part ces réflexions soulignent le fait que l'architecte travaille avec un degré d'incertitude toujours présent» (De Paoli, 1999).

Nous comprenons alors que la conception génère l'action de réaliser, en architecture ou en design, et que cette action qui permet la matérialisation de l'idée conçue, amène entre autre : à produire la forme. Elle est le but du processus architectural, et son expression est la faculté de comprendre le rapport entre les

choses, les idées et les objets auxquels elle se rapporte. Elle est une création ou encore une invention (De Paoli, 1999).

Il indique ensuite que :

« [...] le processus de « conception » en architecture suppose autant ² de points de vue que d'observateur, autant de démarches que d'auteurs. Ce sera à nous d'analyser les orientations pour repérer quelques démarches de la conception architecturale» (1999).

Dès lors, nous pouvons en déduire que la conception architecturale est une production intellectuelle qui met en rapport à la fois la confrontation de l'idée créatrice et sa production matérielle : par la forme, par l'image ou par la composition volumétrique d'objets physiques en 3D (maquette volumétrique).

Nous pouvons donc considérer que le processus de conception génère l'action de réaliser une forme ou un objet modèle et l'évaluation du résultat d'une action : «La forme» ou l'«objet modèle», en vue d'opter pour une solution. L'évaluation du résultat d'une action, par le concepteur, durant le processus de conception, serait basée sur un médium permettant la visualisation de ce résultat. Bailey (2000) note que les architectes conçoivent en pensant visuellement. Cette activité visuelle fait usage d'images. Le concepteur ne comprend une idée que s'il la met sur papier « pour voir si ça marche » (Bailey, 2000). Ce procédé de réflexion par les images est utilisé comme un principe de base par les concepteurs pour une prise de décision que Laseau (1989) et Bailey (2000), qualifient de : « pensée graphique », au moyen d'un dessin ou tout simplement d'une esquisse (Lockard, 1982 ; Bailey, 2000). Cette façon itérative d'essai d'idées et d'élaborer le processus de conception en utilisant des images, dirige et aide principalement la prise de décision de l'architecte, et devient donc un des outils des plus importants que ce dernier met à sa disposition dans le processus de conception par le croquis à main levée (Bailey, 2000). Les concepteurs esquissent pour explorer les solutions de leur conception, enregistrer leurs idées, ou les illustrer et les communiquer avec les autres.

² [Nous rajoutons à cette déclaration la compréhension suivante]: Autant d'opinions et de réflexion que d'intervenants, autant d'approches que d'acteurs concernés.

L'acte de conception est important non seulement comme un véhicule pour la communication, mais aussi, il aide les concepteurs à voir et à comprendre les formes qu'ils ont réalisées. (Edwards, 1979 ; Gross et Do, 1995).

Cependant nous notons que l'architecte concepteur ou le designer peut recourir à d'autres médiums pour la visualisation et l'évaluation de sa conception.

B. Zevi nous a déjà fait remarquer que, pour la production matérielle, l'architecte utilise une méthode de travail appelée « représentative ». Plusieurs chercheurs voient dans la représentation une traduction de l'idée (De Paoli, 1999).

Cette représentation contiendrait la forme : « l'action réalisée par le concepteur » et son évaluation visuelle pour la prise de décision. Nous voyons, dans ce qui suit, cette notion plus en détail.

1. 2. 2. Le processus d'aide à la décision en conception architecturale; représentation et perception :

De Paoli (1999) déclare que Ph. Boudon et F. Poussin nous proposent d'utiliser plutôt le *« terme de figuration, à la place de représentation, parce que ce terme désigne à la fois l'acte de figurer et son résultat: la figure produite »*. Avec l'apparition de l'outil informatique, la figuration n'en continue pas moins de jouer un rôle de tout premier plan. Il rajoute que :

« La mise en image du projet représente une phase clé des logiciels de CAO appliqués à l'architecture. Pour ces logiciels, les figures produites par la machine ont souvent une fonction de proposition et se présentent comme un support pour le raisonnement. En cela, l'ordinateur confirme le lien essentiel qui existe entre figuration et conception » (1999).

Ce qui signifie que : comprendre les méthodes de figuration est, pour l'architecte qui utilise le dessin comme moyen d'expression, une partie intégrante du processus de conception indépendamment de l'outil (De Paoli, 1999). Nous comprenons donc, qu'il est possible qu'il n'y aurait aucune interaction entre espace d'expression et le concepteur, lorsque ce dernier réalise sa conception sur un médium bidimensionnel traditionnel (espace papier), toutefois, en omettant le fait que ce dernier devrait percevoir les figurations qu'il aurait produites et donc évaluer ses résultats. De Paoli, souligne cet aspect. Il indique que *« la perception d'un objet est une préoccupation*

fondamentale dans la représentation de l'espace architecturale par l'intermédiaire d'un écran» (1999). Il en résulte qu'il serait possible d'envisager l'idée que le médium de visualisation prend part dans l'approche d'une telle figuration architecturale. Nous parlons bien évidemment de médiateur par lequel l'information visuelle est transmise puis analysée par l'observateur. Ce dernier, que nous pouvons assimiler à un concepteur, procède à l'analyse et au décodage de l'information visuelle transmise pour parfaire une décision. Quelques chercheurs rajoutent que :

«Cet espace dans lequel l'être humain se promène en faisant appel à tous ses sens pour percevoir et comprendre le bâtiment. Ces sens participent à la visualisation de l'œuvre architecturale parce que cette œuvre aura des dimensions, des proportions, et aussi une odeur, un son, une texture. Ces sens font que le bâtiment est perçu d'une façon dite sensible» (Moore et Allen, 1981 ; De Paoli, 1999).

Il est souvent déclaré que : «l'architecture est appréhendée dans le temps par l'homme en action» Arnheim (1977). Ceci rejoint l'idée qu'un processus de développement architectural est issu d'une boucle : décision-résultat (conséquence) conduisant à une réalisation. De Paoli, rajoute que cela signifie que : «l'architecture, ou la conception en architecture, sont le résultat de plusieurs images selon une approche séquentielle. Ces images, résultats d'une conception, ne sont pas perçues avec la même compréhension» (1999). Il écrit d'autre part que, Simon, déclare que :

«L'architecte pour «voir» la conception s'appuie sur les rendus et les maquettes pour prédire comment sera le modèle réel une fois construit. Ces maquettes lui permettent aussi de voir les rapports d'échelles et les relations entre les composantes, relations que les plans ne pouvaient pas détecter» (1973), et «que dans le monde réel il se trouve des situations non prédictibles» (De Paoli, 1999).

De ceci, nous en déduisons que pour appréhender une réalisation projetée, l'architecte fait appel à la visualisation souvent par des mediums en 3D (ou projetant en 3D) et pour pouvoir anticiper sur ses créations. Cette technique lui permettrait donc d'anticiper le résultat souhaité, au profit d'une évaluation visuelle, en simulant la situation désirée.

1. 2. 3. L'action et la prise de décision lors de la conception architecturale :

L'action et l'évaluation caractérisent la conception architecturale. Nous avons vu que le fait de réaliser une forme : «l'action», produit une solution donc un résultat, et que ce résultat est sujet à une évaluation, une analyse que le concepteur opère pour prendre une décision quant à l'aboutissement de sa forme. Wael (2005) déclare que les capacités de conception des architectes peuvent être classifiées en cinq catégories : La conceptualisation, la forme, la représentation, la prise de décision, l'acquisition des connaissances et la capacité de récupération «*Knowledge Building and Retrieving capabilities*». Cette dernière met en avant le concepteur et serait basée sur un principe d'une boucle réciproque-influence liée entre la conceptualisation, la forme, et la représentation. Il indique que la prise de décision permet aux architectes-concepteurs, pendant le processus de conception, de comprendre, spécifier et évaluer pour décider comment seront les formes et comment elles doivent être conçues. Dans un sens, cette capacité aide les architectes-concepteurs à déterminer qu'elles seraient architecturalement «acceptables ou pas» (Wael, 2005). Le choix de l'issue d'une conception architecturale est lié à l'interprétation et à l'évaluation du concepteur, cependant, nous savons, par la définition de plusieurs chercheurs qu'il y a différentes phases de la conception Tidafi (1996), De Paoli (1999), Iordanova (2000), Gorczyca (2001), Dorta (2001) et que chaque phase nécessite la résolution de problèmes. Cette résolution affecte les qualités des différentes solutions et génère une influence dans le développement de la conception en général (Wael, 2005). Comme mentionné précédemment, la conception est figurée sur un médium. Wael précise que le choix des médiums sur lequel le concepteur opère sa conception a un impact important sur la capacité de prise de décision, l'aidant à augmenter son niveau d'idéation et réaliser le design conceptuel. Il déclare que les médias numériques améliorent la conception puisque le concepteur peut percevoir, explorer et donc concevoir (Wael, 2005).

«Architects may seize the advantages of each type of media, by which a better position is offered to make design decisions. This could be achieved through acknowledging the characteristics and qualities of each digital or manual medium» (Wael Abdelhameed-A., 2005).

Toutefois, Wael (2005) note que les médias numériques altèrent la conception architecturale. La conception est retardée à une phase ultérieure pour la prise de décision. Le concepteur passe de l'image mentale à la figuration sur un médium. Il y a un délai pour la prise de décision lors du processus, elle n'est pas instantanée. La forme est produite par le logiciel, ce qui retarde la prise de décision aux phases ultérieures. Il dénote que ce délai a pour résultat un impact négatif sur la capacité de Prise de décision et son rôle dans le processus de conception. Selon Wael (2005), l'usage des médiums numériques et traditionnels (manuel) améliorent le procédé de prise de décision dans les termes cognitifs, qualitatifs et productifs par la transition et la réinterprétation. Toutefois, nous avons noté précédemment que les médiums traditionnels bidimensionnels démontraient une contrainte pour le concepteur notamment l'effort constant d'analyse et de décodage de l'information (Dorta, 1999) pour la transcription et la visualisation en trois dimensions. Nous mentionnons aussi que, dans notre étude, nous nous situons à la phase de conceptualisation de la forme déjà réalisée, et par conséquent, nous n'aborderons pas la question de ce moment de transition entre «l'image mentale» et la figuration.

Selon Velez (1993); Dorta et Lalande (1998), les contraintes des systèmes de représentations bidimensionnelles et tridimensionnelles traditionnelles sont la lenteur d'exécution et les caractéristiques de rétroaction pour la prise de décision durant l'étape de choix d'alternatives de conception. Le concepteur doit, quelquefois, attendre jusqu'à la construction pour obtenir une réponse qui lui permet de conforter ses hypothèses de conception. Velez (1993) ; Dorta et Lalande (1998) indiquent qu'une modification de la fréquence et des caractéristiques de la réinterprétation durant le processus de conception, suscitée par l'usage de la Réalité virtuelle, par exemple, conduirait à une augmentation du cycle formulation/correction des hypothèses de conception. Pour le concepteur, les capacités de perception et de traitement de l'information sont limitées. Le maintien d'une charge globale à un niveau inférieur à la limite de ces capacités est recherché afin d'éviter une dégradation majeure de la performance par rapport aux objectifs essentiels de la tâche de conception. En décrivant le rôle du stimulus visuel pour le concepteur, ils mentionnent que dans la conception, la prise de décisions, selon la formulation des

hypothèses de design, est un élément primordial. Ces hypothèses seraient considérées comme des attentes pouvant être contrôlées par la qualité et la redondance des stimuli donnés par la RV. Selon, Dorta et Lalande (1998), l'impact de la RV sur la perception visuelle réside, plus spécifiquement, sur les caractéristiques de ces stimuli.

«Redundancy implies combining several stimuli resulting from the perception of given information. The quality of stimuli provided by VR is due to having a realistic representation. The characteristics of this representation produce better quality stimuli than drawing for the manipulation of design hypotheses». (Dorta et Lalande, 1998)

Toutes ces approches nous amènent à la conclusion suivante : l'action de conception et la perception- visualisation pourrait avoir une corrélation lors du processus d'évaluation de la conception. Nous notons aussi qu'il y a une différenciation entre l'élaboration de la conception sur un médium bidimensionnel et sur un espace tridimensionnel, et qu'il pourrait y avoir un impact lors de la prise de décision durant le développement de la conception architecturale. Lebahar (1983) ; Dorta (2004) indiquent que, pour l'architecte, dessiner des croquis à main levée est un médium de communication. Nous noterons donc que pour le concepteur, représenter : c'est ce qui lui permet de transmettre une information. Ils rajoutent que : par des représentations Euclidiennes, dans un but de réaliser des plans précis et des projections pour obtenir des perspectives, l'architecte fait une comparaison mentale entre un groupe d'hypothèses et des solutions possibles en les exprimant directement à la main (Lebahar, 1983 ; Dorta, 2004). Ce qui signifie que le concepteur procède à une «visualisation interne» (visualisation de l'image mentale) pour produire une représentation sur un médium «externe». Les hypothèses et les solutions qu'il produit sont par conséquent alimentées par une évaluation interne et externe. Par ailleurs Lebahar et Dorta nous indiquent que le concepteur procède à une comparaison mentale à partir de représentations figurées sur un médium. Il y a là donc, une exploration que l'on pourrait qualifier de «visuelle».

Dans la partie suivante, nous allons élaborer une étude exploratoire sur la perspective à travers l'histoire pour la compréhension de la figuration spatiale et du fondement de la représentation tridimensionnelle et de ses portées sur l'exploration visuelle.

PARTIE 2 : LA PERSPECTIVE, LA CAO, LA RÉALITÉ VIRTUELLE ET LA VISUALISATION

Chapitre 2. 1. LE RECOURS À LA PERSPECTIVE AUX SIÈCLES PASSÉS :

2. 1. 1. Émergence des premières idées de perspective :

Depuis l'antiquité et jusqu'au Moyen-Âge, lorsqu'un artiste voulait figurer un décor de paysage, il en superposait les éléments dans son dessin, en deux dimensions, afin de donner l'illusion de la profondeur : la troisième dimension. Cette manière de faire nous démontre que le souci de produire des images représentant des dessins tridimensionnels était une préoccupation du passé née dans l'antiquité, et sans doute était déjà apparue la pensée de la représentation perspective. Mais les premières réflexions théoriques en rapport direct avec la perspective architecturale dataient déjà de l'époque antique où, vers le sixième siècle av. J.c (VI^es av. J.c), Euclide avançait la théorie de «*l'angle visuel*». Nous constaterons, dans ce qui suit, que de cette théorie témoignent les premières déductions liant un rapport géométrique à la perspective : la vision de l'espace et de ses objets, engendre un sujet d'analyse et d'interprétation. À ce moment de l'histoire, le rapport entre la perspective, les objets, et l'espace réel, résultait d'un raisonnement qui reposait sur l'observation établissant une relation entre la variation de la taille des objets en fonction de la distance du point de visée. Toutefois, selon Veltman (1986), il apparaît que dans cette théorie, Euclide avait proposé deux suppositions portant un sens contraire aux principes connus de la perspective linéaire développée quelques siècles plus tard. Dans sa théorie, Euclide annonçait que les distances verticales et horizontales altéraient toutes deux à la fois l'angle visuel et donc la taille apparente de l'objet. Cette théorie contredisait la loi du rapport inverse : $\text{taille}/\text{distance}$ qu'exige la perspective linéaire. Pourtant, elle avait de profondes implications dans les relations de base entre la vision, la représentation et le monde de mesure. Notons que, quelques siècles plus tard, vers le deuxième siècle (II^es), cette théorie, liant un rapport d'équation entre l'angle visuel et la dimension apparente d'un objet, avait été critiquée par Ptolémée qui avait désapprouvé un tel rapport

d'équivalence (Veltman, 1986, p.x). L'incidence de cette relation, entre la vision des objets et l'espace, en représentation architecturale, a été référée par la suite à la période romaine au temps de Vitruve. À cette période, il y résultait les premières implications de cette vision dans la représentation en architecture avec l'apparition des termes de «plan» et «d'élévation». Vitruve renvoyait à la «scénographie» en démontrant une coordination systématique entre le plan et l'élévation dans laquelle le sens de «scénographie» était synonyme de «perspective linéaire». À ce rapport nous mentionnons le passage où Vitruve cite :

« La scénographie fait voir l'élévation non seulement d'une de ses faces et des côtés, mais encore des parties enfoncées, et cela par le concours de toutes les lignes à un point central ». (Vitruve. Extrait de la traduction française de Perrault C., 1673).

Panofsky (1924) et White (1967) évoquent le passage où Vitruve dit : «La scénographie est le tracé de la face et des côtés latéraux et le renvoi de toutes les lignes au centre du cercle».

«Sceographia est frontis et laterum abscedentium adumbratio ad circiniquae centrum omnium linearum responsum» (Vitruve, DA).

Raynaud (1998), dans ses recherches sur la perspective curviligne et la vision binoculaire, élaborées sur la base des recherches faites par Panofsky (1924) et de White (1967), sur l'origine de la perspective, indique que la perspective émergente à cette époque, conviendrait à une terminologie de «perspective linéaire binoculaire» et que le terme de «perspective linéaire monoculaire» conviendrait au tracé usuel, promu, quelques siècles plus tard, par les peintres de la Renaissance. Néanmoins dans notre recherche, nous utilisons le terme simplifié de «perspective linéaire». L'objectif n'étant pas l'identification des différents types de perspectives, mais il est question, de l'évolution de ces techniques et leurs rapports entre la vision et la représentation.

Les premiers théoriciens de la perspective confortaient leurs premières bases de l'optique. Raynaud (1998) déclare que les traités du Moyen-Âge dédiaient des développements conséquents au problème de la vision binoculaire, tous vraisemblablement influencés par Alhazen. En effet, Ibn Al Haitham, dénommé : *Alhazen* (IX^e s), au neuvième siècle, s'était penché sur la question de l'optique, et dans

son étude approfondie, il avançait des explications détaillées développant la raison pour laquelle l'angle visuel tel qu'énoncé par Euclide ne pouvait pas être le seul facteur dans la perception de la dimension apparente de l'objet. Ses explications ont été reportées quelques siècles plus tard, vers le treizième siècle, dans quelques uns de ses écrits sur l'optique.

Ces premières théories sur la perspective étaient basées sur l'observation de la pratique, leur objet d'étude était le monde réel, et leur objectif était l'affirmation d'un lien entre : représentation géométrique et monde réel. Pour ces premiers théoriciens de la perspective, il était donc possible de transcrire l'information à partir de données réelles tridimensionnelles vers un espace comparable en deux dimensions. Ces théories et principes allaient être poursuivis, par la suite, aux siècles suivants, par des démonstrations. La mise en place de moyens et dispositifs, pour appuyer les premières théories, allait faire révéler les premières démonstrations scientifiques et règles géométriques de la perspective. Nous en prenons compte dans notre recherche, car ceci nous renvoie à des dispositifs de base, déduisant la perception d'un objet ou d'un espace pour en créer une image référée dans un espace bidimensionnel.

2. 1. 2. Illusion d'optique et trompe-œil :

Les témoignages des grands penseurs de l'époque antique attestent que l'être humain a pris conscience qu'il était sujet à des illusions visuelles depuis longtemps et l'exemple qui est couramment cité en ce sens, est celui de l'effet visuel produit par la perception du «temple du Parthénon» en Grèce et la «colonne de Trajan» en Italie. Le trompe-œil apparaît dans ce cas comme un moyen d'user d'une technique qui permet à l'artiste d'employer des artifices pour corriger l'image de la troisième dimension, et ainsi réduire les effets déformants de l'illusion optique à laquelle est sujet l'être humain. Même si en architecture la connaissance de l'illusion d'optique et l'usage du trompe-œil étaient utilisés depuis l'époque antique, leur application dans l'art pictural est survenue bien après. Dans la partie suivante nous expliquons en détail l'émergence et la mise en pratique de l'illusion pour la création de la troisième dimension, en représentation, à travers l'art pictural.

2. 1. 3. Démonstrations scientifiques :

Selon Veltman (1986), le *Carnet* de croquis composé vers 1230 par Villard de Honnecourt, démontrant comment les voussoirs d'arc, en pierres taillées, devaient être découpés, illustre à cette époque une méthode similaire à la méthode utilisée quelques siècles après dans la période de la Renaissance pour démontrer la perspective. À l'aide d'un clou et d'une ficelle tendue vers le fronton de l'arc, Villard de Honnecourt exposait une méthode comparable à celle démontrant un point de fuite. Toujours dans ce même *Carnet*, Sanson P. (1997) indique que Villard de Honnecourt avait élaboré un dessin comprenant une représentation de trois éléments figuratifs pour lesquels les éléments dessinés donnaient une impression d'être empilés les uns sur les autres. Pour Sanson, ces éléments, tels que disposés, illustraient clairement cette notion de compartimentage de l'espace du dessin. Il indique que :

« [...] Même si les visées didactiques du Carnet peuvent aussi expliquer cette juxtaposition; seul le socle, indépendamment des deux personnages et même de la draperie qu'il supporte, s'essaye à une maladroite restitution des volumes par une sorte de mise en perspective au moyen d'une projection conique à partir d'un point de vue origine des génératrices » (Sanson P. 1997).

Cela signifie que cette projection graphique démontrant une notion de tridimensionnalité, soutenait un premier dispositif pouvant exprimer et communiquer la vision de la « profondeur spatiale ».



Figure 1. Dessin figurant dans le *Carnet* de Villard de Honnecourt.

Mais les premières méthodes de démonstrations scientifiques sur la perspective en représentation architecturale n'ont été élaborées qu'à la période dont a été témoin l'architecte Filippo Brunelleschi. L'appareil de Brunelleschi était la parfaite démonstration entre «*ce qui est vu*», donc perçu, et «*ce qui est représenté*». Les règles géométriques qu'il avait démontrées pour la peinture de décors architecturaux étaient très précises pour cette époque et établissaient l'efficacité de la représentation bidimensionnelle dans la création de l'illusion de la tridimensionnalité. Par ces règles, il avait établi la relation entre les principes géométriques et la perception visuelle, et ainsi, l'élaboration de quelques concepts de base sur la perspective. Ces règles constituaient, par conséquent, des éléments de base pour représenter la spatialité. Selon l'étude de Sanson (1997), traitant de l'historique des données iconiques relatives à l'espace : parler de *représentation de ce dernier, qu'il soit réel ou projeté*, reviendrait à parler de «*figuration*». Rappelons que dans cette partie de la recherche nous traitons des applications en Art dans un premier temps, car ceci tel que vu précédemment, était le premier domaine où les représentations tridimensionnelles étaient apparues avec des applications concrètes. Nous voyons plus loin, dans notre discours, que le terme «*figuration*», appliqué au domaine de l'architecture, fait référence à un dispositif d'expression, générateur d'idées. Nous nous basons aussi, sur l'interprétation de Tidafi (1996), où il cite que le terme «*figuration*»:

« [...] invite plutôt à penser comment réaliser une action pour obtenir un résultat et non le résultat de cette action seulement. [...] [Il] permet d'exprimer des intentions et des idées sans s'attacher uniquement à ce que sera une solution concrétisée » (Tidafi, 1996).

La perspective était un moyen de figuration, et ses règles établies permettaient la reproduction ou la composition d'objets ou d'espaces en trois dimensions. En relevant ses méthodes et ses règles, nous pouvons mieux comprendre comment un tel moyen pouvait contribuer à la figuration spatiale.

2. 1. 4 Recours à la perspective dans l'art de la peinture et en architecture :

Au début du quatorzième siècle (XIV^es), soit un siècle avant la découverte de la perspective, les peintures de Giotto de la *Arena Chapel in Padua* et les fresques dans les

assises ont été reconnues comme deux premières tentatives plausibles pour reproduire un espace à trois dimensions dans le tableau. Depuis les premiers développements, la construction perspective a été aussitôt appliquée à l'iconographie de plusieurs disciplines, passant de l'art à l'architecture, et de la géométrie à la science, vers la recherche du réalisme en représentation. De part sa tridimensionnalité, le monde de nos expériences, a mené les artistes et les architectes durant plusieurs décennies à l'utilisation de la représentation perspective pour créer l'illusion de la tridimensionnalité (Bertol, 1997).

«[...] *Due to the three-dimensionality of the world of our experiences, artists and architects have for centuries used perspective representations to create the illusion of three-dimensionality*» (Bertol. D, 1997).

L'imitation de la nature s'appliquait à la majorité des œuvres artistiques : passant de la peinture à la sculpture. Mais n'ayant aucun moyen pour exprimer la profondeur dans leurs œuvres, les artistes étaient confrontés à une difficulté dans les essais de représenter des paysages naturels ou des décors architecturaux. La distinction entre le monde physique tridimensionnel et les médias de représentations bidimensionnelles (papiers, textiles), à cette époque, avait provoqué l'approfondissement vers la découverte d'un moyen de reproduction de cette troisième dimension manquante. Plusieurs peintres avaient essayé d'exprimer des décors à trois dimensions en ayant recours aux projections axonométriques. Mais en dépit d'un grand souci du détail dans la représentation, les tableaux manquaient de réalisme à cause des représentations erronées de la profondeur. L'absence de maîtrise de la représentation de cette troisième dimension, avait été alors la préoccupation majeure du monde des arts.

Sanson (1997), atteste que parmi les peintures ou dessins qui sont des manifestes de la perspective naissante, les scénographies urbaines et théâtrales de la Renaissance, à point central de convergence, évoquent certes Vitruve. *La Città ideale* du panneau dit d'Urbino exprime parfaitement cette «*conception scénographique*» (Sanson P., 1997).



Photo : www.cittadelle.musei.bnl.it

Figure 2. "La Città ideale" du panneau dit d'Urbino, attribué par certains historiens d'Art à Giuliano da Sangallo. La composition exprime la conception scénographique de la représentation perspective.

2. 1. 5. Conception de la notion de perspective :

Après avoir mentionné le fait que les figurations du réel s'inscrivent dans la mouvance de l'histoire des arts et de la représentation picturale, nous nous orientons vers la grande révolution dans les techniques de représentation (Sanson 1997). Et en ce sens, Francastel (1970) cite :

«Le nouvel espace n'est pas seulement géométrique mais aussi mental. Dans ce nouveau continu, qui insiste sur le problème des positions fixes des objets, ce qui change ce n'est pas uniquement la perspective. On passe assurément d'un système de représentation que, suivant les thèses de PIAGET, on peut considérer comme projectif - ou correspondant au second degré du développement de l'esprit enfantin - pour aborder un système perspectif, euclidien - ou du troisième degré selon PIAGET. [...]

Désormais, on insiste à chaque instant sur la distinction entre le contenant et le contenu, trait fondamental de l'abandon des représentations topologiques et de l'adoption d'une vision euclidienne. Il en résulte une opposition entre un contenant immobile et un contenu mobile.» (Francastel, 1970, p 177)

En 1415, l'architecte Filippo Brunelleschi peint une vue du baptistère de Florence sur un miroir pour procéder à une expérimentation. Korkos (2005) a retracé cette expérimentation et explique le procédé :

« [...] Il (Brunelleschi) perce un trou à hauteur de la porte, se place face au baptistère et le regarde à travers le trou pratiqué dans son miroir peint. La face peinte du miroir fait face au baptistère. Il place ensuite un second miroir, plus petit, en face du miroir peint qu'il tient devant son oeil. Ce second miroir l'empêche désormais de voir le baptistère en entier. En revanche, il reflète maintenant une partie de l'image peinte sur le premier. Brunelleschi voit donc, à ce moment, une partie du vrai baptistère ainsi qu'un reflet partiel de sa peinture. En bougeant ce miroir et en se déplaçant, il va pouvoir déterminer un seul endroit où le reflet de sa peinture et le vrai baptistère se complètent parfaitement. » (Korkos, 2005)

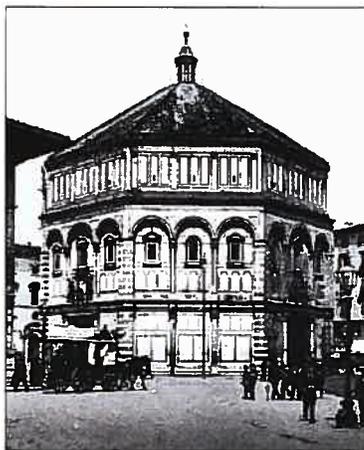


Figure 3. Photo du baptistère de Florence, XIXème siècle

Korokos (2005) indique que ce point, est celui où Brunelleschi s'était placé pour réaliser sa peinture selon le principe suivant:

« Il avait considéré que son oeil était une flèche visant un point face à lui, sur la porte du baptistère. Il traça ce point sur sa feuille, puis une ligne horizontale passant par celui-ci : la ligne d'horizon (en bleu). Ensuite il traça, à gauche et à droite, les lignes du toit, des deux étages et du bas de la construction (en rouge). Ces lignes se rejoignirent en un point à gauche et un point à droite : les points de fuite» Korokos (2005).

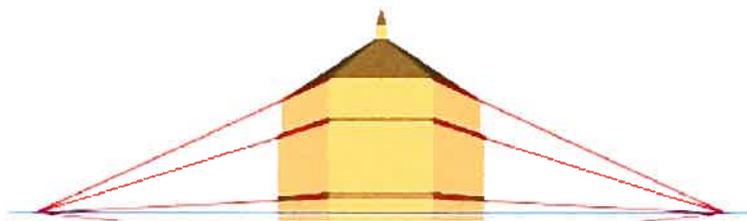


Figure 4. Les points de fuites. (Baptistère de Florence)

Par cette expérimentation, Brunelleschi venait de réaliser le principe fondamental de la perspective : *le regard, la hauteur de l'oeil*, détermine un point par lequel passe une ligne, *l'horizon*. Sur cette ligne sont disposés les points de fuites servant à déterminer la profondeur des objets. Malheureusement, si l'on observe les peintures de l'époque, nous sommes obligés de constater que cette découverte restera largement incomprise voire ignorée (Korokos, 2005). La peinture réalisée à cette même période (en 1435), par Paolo Uccello témoigne cette opposition.

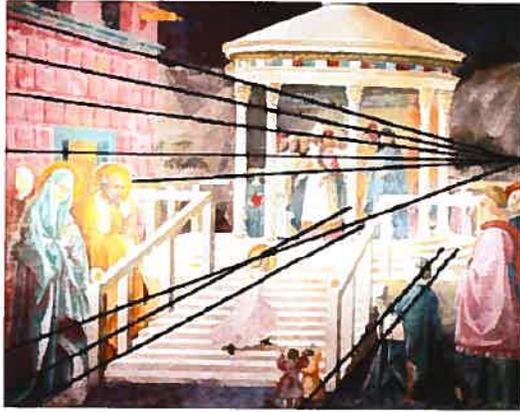


Figure. 5. La présentation de Marie au temple par Paolo Uccello, 1435.

Korokos (2005) traduit cette œuvre et explique :

« Le mur de gauche est construit en partant d'un point situé à l'extrême droite. Uccello a emprunté cette technique aux Romains de l'Antiquité, qui appliquaient un principe édicté par Vitruve (Ier siècle après J.-C.) dans son traité De Architectura. Pour le reste, il faut bien reconnaître que c'est le plus grand désordre : les marches de l'escalier sont parfois parallèles, parfois pas, l'une d'entre elles rejoint par miracle le point de fuite et le pauvre belvédère est complètement tordu. Bruneschelli a été oublié, toutefois à la même année (1435) l'architecte, Leon Battista Alberti, publie un traité dédié à Brunelleschi et intitulé Della Pittura (de la Peinture). Dans ce livre, Alberti pose les bases de la perspective artificielle centrale.»

Le principe de Brunelleschi et le système de Battista présentent donc deux différences: le premier a admis qu'on pouvait placer sur la ligne autant de points de fuites que nécessaire, alors que le second n'en utilise qu'un. Ce dernier a cependant saisi toutes les implications mathématiques, et élaborera la théorie qui a pendant des siècles, guidée les artistes dans la représentation tridimensionnelle de l'espace (Korokos, 2005).

«Les recherches en matière de représentation perspective de la Renaissance portent en elles le renouvellement, certes des arts graphiques et picturaux, mais aussi de la création architecturale de cette période. Les plus grands acteurs de cette période vont souvent être à la fois ingénieur, architecte et artiste. Alberti, Brunelleschi, Durer, Piero Della Francesca, Michel-Ange, Jean Pèlerin Viator et Léonard de Vinci, pour ne citer que les figures les plus emblématiques, produisent des oeuvres architecturales ou picturales qui sont influencées par leurs recherches en matière de figuration³» (Sansou 1997).

³ L'auteur fait référence à la figuration dans un rôle incitatif à la création en architecture

Les premiers écrits et règles cohérentes sur la construction de dessins en perspectives étaient apparus vers 1435, élaborés par l'artiste peintre Léon Batista Alberti dans son traité *«Della Pittura»*. Néanmoins, d'autres artistes peintres tels que Giotto au quatorzième siècle (XIV^es), puis Piero Della Francesca au début du quinzième siècle (XV^es), avaient montré une attention particulière à la reproduction de décors architecturaux tridimensionnels par une image en deux dimensions : et des essais de produire des vues en perspective. Giotto a été un des premiers artistes peintre à traiter du problème de la tridimensionnalité dans le domaine de la peinture. Son disciple Lorenzetti, était considéré comme étant le premier artiste qui avait défini le point de fuite. Dans son tableau de peinture *«Annuciation»*, était illustrée cette volonté de faire converger les traits vers un point. Un siècle plus tard, Piero Della Francesca dans son traité *«De Prospectiva Pingendi»*, avait introduit l'art des ombres et de la lumière dans la peinture (Veltman, 1986).

Il n'en demeure pas moins que les premiers écrits sur la perspective ne furent clairement présentés pour la première fois que dans les traités d'Alberti. Les lois de la perspective y avaient été discutées dans un ordre systémique, au moyen de principes géométriques.

Au delà de sa large utilisation dans le domaine de l'art, la perspective est devenue une science où les règles géométriques sont en relation avec les règles de l'optique, extraites de la loi d'Euclide sur la vision. Les termes de *«Pyramide de la vue»*, le *«point central»* et *«le plan de l'image»* révèlent des concepts fondamentaux dans la construction graphique. Le but de la perspective selon la définition d'Alberti était de traiter l'image plane bidimensionnelle comme étant une fenêtre dans laquelle des décors en trois dimensions y apparaissaient. Chaque objet tridimensionnel était délimité par des surfaces, et chaque surface était simplifiée en des polygones plans reproductibles selon la projection perspective. Chaque surface pouvait être mesurée à l'aide de rayons visuels connecté à l'œil, et les points définissaient le périmètre de la surface. Ces graphiques et aides visuels étaient utilisés par la suite dans d'autres traités et illustrations tels que ceux élaborés par Albrecht Durer et Jacopo Barrozi da Vignola.

Un autre thème abordé dans le traité d'Alberti, était *«la construction graphique»* notée *«Construzione Legittima »*. Ceci consistait en une série de dessins d'un plancher

en damier démontrant plusieurs étapes conduisant à sa représentation. Dans ce traité, la mesure entre l'œil, l'image plane et l'objet de représentation devait être calculée précisément car, élaborée cette mesure constituait la base du produit de la construction perspective. Ce système de déduction confortait le témoignage que la dimension de l'objet représenté diminue proportionnellement selon une distance orthogonale entre cet objet représenté et l'observateur. Les paramètres de cette représentation sont : la hauteur du point de vue, qui fournit le point de fuite, et la distance par rapport au plan de l'image. Les éléments à représenter sont adaptés par la suite à l'échelle de l'image. Le concept de l'échelle, qui fait partie actuellement de notre connaissance la plus fondamentale en conception (Bertol. D, 1997), était un concept totalement nouveau à cette époque, précisément lorsque cela n'était pas appliqué dans un contexte autre que dans des plans et élévations. Dans «*Della Pittura*», l'utilisation des instruments de perspective, le 'voile' «*Velo*» et le 'cadre carré' «*Quadratura*» étaient utilisés comme moyen d'aide à la construction d'une représentation en perspective. À partir de ce cadre et du voile, une grille proportionnelle pouvait être dessinée sur un papier. Chaque point d'intersection entre l'objet et le voile était repéré sur une grille dessinée sur le papier, offrant ainsi un système d'aide à la représentation de l'objet. Ce processus de représentation a été illustré et décrit plus tard dans les cahiers écrits par Leonard de Vinci, et dans le dessin illustrant ce processus de représentation établie par Albrecht Durer.

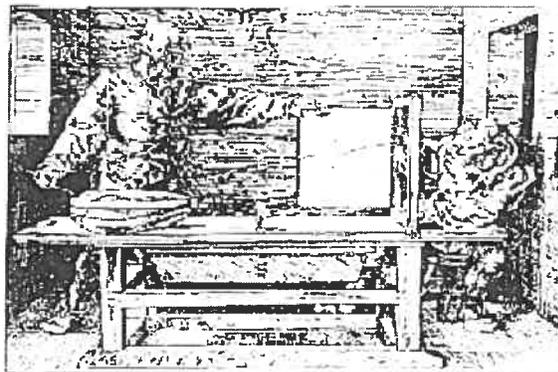


Figure 6. Le "Portillon" de DÜRER est l'ancêtre des perspectographe ; la machine dont il nous a gravé le principe simule l'intersection des rayons lumineux issus d'un objet --un luth-- et convergeant en un point avec le plan de projection. Figure extraite de l'article "Perspective", in *Encyclopaedia Universalis*, Paris : 1975 & 1989.

L'établissement logique des règles de la perspective et la relation entre la géométrie et la perception visuelle avait mené à la recherche d'une identification entre la représentation et la vision. Cette recherche avait été abordée par Brunelleschi, puis rejoint par Alberti. Toutefois, ces travaux d'investigations sur la vision n'étaient pas nouveaux, puisque tel que mentionné au départ, déjà à l'époque antique, Euclide avait écrit «*Optique*» en se basant sur des observations intuitives de la vision. Ce sujet était traité à cette époque antique dans le domaine de l'astronomie, alors que ses instruments d'observations l'ont été au moyen âge : époque pour laquelle beaucoup de lois sur la perspective ont en été déduites (Veltman, 1986).

2. 1. 6. Vision nouvelle de la perspective :

Au quinzième siècle (XV^es), la perspective était utilisée par plusieurs artistes, Alberti, Piero Della Francesca, Masaccio, Francesco di Giorgio Martini, Paolo Uccello et Donatello, qui avaient présenté à travers leurs œuvres des exemples sur comment la science de la perspective pouvait devenir un art. Dans leurs œuvres, les artistes avaient souvent recours à l'utilisation de la couleur pour créer un effet plus réaliste d'espaces en trois dimensions. Des contrastes de couleurs : du plus clair au plus obscur, permettaient d'identifier les volumes, les vides, et les surfaces courbes.

Ces vues exposaient des représentations schématiques de décors tridimensionnelles. Les représentations perspectives offraient un moyen pour l'exploration d'espaces architecturaux, fournissant ainsi une simulation visuelle la plus complète, et permettant de présenter une conception architecturale avant sa véritable construction. L'influence de la perspective en architecture n'était pas seulement limitée à la représentation de l'urbain et des espaces intérieurs, mais était devenu intégré dans la conception du bâtiment lui-même (Bertol. D, 1997).

La composition des espaces architectoniques à la période de la renaissance était organisée selon une perspective à un point de vue central (perspective linéaire). Le palais 'Rucellai' à Florence (Alberti – 1446 et 1451), et la villa 'Poggio da Caiano' (Michelozzo - 1480), Florence, (fig. 7), illustrent cette notion.



Figure 7. Villa Medicea di Poggio a Caiano, Michelozzo, 1480, Florence

Issue d'une recherche vers le réalisme et l'illusion de la profondeur exprimée dans les peintures et les fresques, à la fin du quinzième siècle (XV^es) est apparu le développement d'une orientation vers une nouvelle utilisation de la perspective : le «*trompe œil*» auquel nous avons fait référence au préalable. Le tableau de peinture de la «*Scuola di Atene*» à Rome (Raphael), en était un exemple. En retraçant les lignes et les arêtes des éléments architectoniques de ce tableau de peinture, on constate qu'elles convergent vers un point de fuite central (voir figure 9).



Figure 8. Raphael, Scuola di Atene, Rome, 1509.

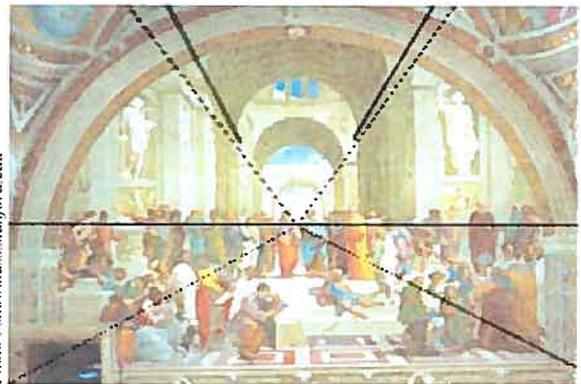


Figure 9. Point de fuite central

Autre que le recours à la peinture en construction, les pratiques des traditions médiévales avaient aussi mené à la découverte de la perspective et de ses lois géométriques. La fascination des formes géométriques figure à cette origine de la

découverte. Selon Veltman (1986), la perspective linéaire pourrait être vue comme une particularité significative des exemples de jeux géométriques à cette époque.

Léonard De Vinci et Albrecht Durer étaient parmi les premiers à approfondir les lois sur la perspective. Ils avaient utilisé des appareils de leur propre fabrication dont le principe était le même : L'œil placé derrière un œilleton, l'artiste dessinait ce qu'il voyait sur le tableau. La formule citée par Durer influença de beaucoup les artistes à travers le temps. Pour Durer, plus la peinture était réaliste, plus l'oeuvre de l'artiste serait une réussite.

« [...] et sache que plus exactement tu approches de la nature par la voie de l'imitation, plus belle et plus artistique deviendra l'œuvre » (Citation de Dürer, 15^e siècle, reprise par Veltman, 1986).

Les expériences entreprises par Léonard De Vinci, à cette époque, étaient de nature quantitatives et systémiques, abordant un ensemble d'éléments dans leur globalité. Il y figure parmi ses travaux des descriptions détaillées de la *«Fenêtre perspective» (The perspectival windows)*, des instruments de dessin de perspective qui figuraient dans les traités dirigés par ses prédécesseurs, Alberti et Piero Della Francesca. De Vinci y avait fourni sa propre vision de l'instrument *«Voile» (The Veil)* avec des rapports de dimensions détaillées.

De Vinci avait défini quelques principes de dessins en perspective, dans quelques uns de ses traités. Sa passion de l'anatomie humaine, de la vision, et de la géométrie l'avait conduit à déduire des notions et des règles relatant de la question de la perspective. Il développa quelques théories notamment celles abordant la question de l'horizon et de la courbure de la terre.

Les principes de la perspective, selon De Vinci, lui constituaient un point de départ pour ses dessins d'architecture qu'il voyait non pas comme un simple moyen d'aide technique au dessin mais plutôt un moyen d'approche à la créativité visuelle dans l'intention de discerner de nouvelles formes (Veltman, 1986, p.126).

C'est bien à cette époque que, grâce à ce chantier de restitution de la vision humaine, l'image devient une donnée scientifique.

Après étude de son incidence sur la création picturale et architecturale, tous les analystes s'accordent en effet pour identifier cette période de l'histoire de la représentation comme étant un saut qualitatif. Son aptitude à reproduire la vision humaine permet à la peinture et aux arts graphiques de pérenniser des scènes visuelles importantes pour la mémoire collective et donc l'histoire (Sanson P., 1997).

D'autre part, vers la fin du quinzième siècle Piero della Francesca dans *De Prospectiva Pingendi* proposait une nouvelle recherche où la dimension euclidienne s'enrichissait de notions de géométrie projective et perceptive, de relations entre physiologie et espace entre ce que l'on voit et ce que l'on ne voit pas. (Aprea M., 1997). Mais les lois de la perspective géométrique que l'on connaît de nos jours, n'avaient été connues d'une façon définitive que vers la fin du dix-septième siècle (XVII^es) et le début du dix-huitième siècle (XVIII^es), par le fondement de la géométrie projective.

2. 1. 7. Fondement de la géométrie projective :

Dans le monde Euclidien les lignes parallèles ne se rencontrent pas. Nous savons que les rails d'un chemin de fer par exemple, gardent leur distance parallèle, mais que nous les percevons toujours comme étant des éléments convergents. Telle était la caractéristique la plus fondamentale de la vision qui semblait contredire l'explication géométrique la plus élémentaire. Mesurer et percevoir représentent des approches différentes à la connaissance empirique, alors que percevoir reste régie par les lois similaires à celles de la perspective fondamentale, l'acte de mesurer respecte les lois de la géométrie Euclidienne (Veltman, 1986).

Les principes de la perspective avaient mené au fondement de la géométrie projective qui a été développée par la suite par le mathématicien français J. V. Poncelet. Monge présente lui-même la géométrie descriptive comme «*une espèce de langue nécessaire à tous les artistes*» (Monge, 1820) faisant ainsi ressortir une fonction d'outil de communication rationnel entre les différentes méthodes d'élaboration des projets techniques. La constitution de ce nouveau langage graphique consacre cette évolution depuis le quinzième siècle (XV^es) et particulièrement au dix-huitième siècle (XVIII^es), ouvrant ainsi d'autres champs d'applications aux siècles suivants (Giedion, 1990).

«Ce fut à Florence, au début du XV^e siècle, que fut créé, par la découverte de la perspective, un nouveau langage plastique. Pendant les cinq siècles qui suivirent, la perspective fut l'un des éléments constitutifs de l'histoire de l'art, le credo incontesté auquel toute représentation picturale dut se soumettre. ... La perspective n'a pas été la découverte d'un seul homme; elle a été l'expression d'une époque entière. Nous retrouverons ultérieurement une situation analogue quand nous en viendrons à parler du cubisme. Là aussi, à la conception nouvelle de l'espace, issue de notre époque, répondra tout un mouvement, et non une oeuvre isolée. Ce qui est significatif, dans les deux cas, c'est la démarche parallèle de l'art et de la science, mais ce fut dans l'élaboration de la perspective que leur collaboration fut la plus étroite». (Giedion, 1990, p56).

2. 1. 8. Champ d'application et forme d'expression de la perspective :

Le dix-neuvième siècle (XIX^es) confirme la distinction entre projet d'architecture et projet d'exécution, entre les documents de représentation en dessin libre (esquisses, croquis), et documents techniques, élaborés avec la rigueur du dessin linéaire conventionnel. Et C'est avec les axonométries d'Auguste Choisy qu'a été établie la jonction dans un même dessin, des données d'informations rationnelles, et celles symboliques de figurations. Par ces axonométries isométriques, où la même échelle est respectée dans les trois dimensions, le lecteur était en mesure de voir, le plan, l'extérieur de l'édifice et son élévation. Cette représentation axonométrique exclue les déformations dues à la convergence des lignes de fuite de la perspective, et garde à l'objet ses rapports de formes et ses dimensions, ce qui donne la possibilité de voir l'ensemble du projet et sa totale composition volumétrique.

Cette nouvelle possibilité a constitué une des préoccupations de l'architecture moderne au début du vingtième siècle. À cette période la perspective linéaire a été abandonnée par les peintres cubistes. La préoccupation de Picasso, sur la perception totale a influencé les architectes tels que Gropius et le Corbusier qui ont complètement adopté le dessin axonométrique (Dorta, 2001, p.33). Par opposition à la perspective linéaire, qui encourage à regarder à l'intérieur et à l'extérieur des espaces architecturaux, l'axonométrie oblige l'observateur à regarder d'un point surélevé, provoquant ainsi l'érosion visuelle des coins du bâtiment (Porter, 1979).

L'axonométrie ou perspective isométrique, est une représentation en perspective de droites parallèles (en 3 dimensions). Elle représente les objets volumiques vus par un observateur supposé situé à l'infini. Projection cylindrique oblique, l'axonométrie est très utilisée en architecture : elle est l'héritière des perspectives cavalières. Les volumes apparaissent déformés mais les dimensions sont conservées. Afin de faciliter la compréhension de l'articulation de bâtiments complexes, on réalise souvent des axonométries spécifiques à chaque niveau (P. Sanson, 1997).

Ce passage d'un type de représentation à un autre, selon les tendances et les besoins en visualisation tridimensionnelle, s'est poursuivi au moyen d'autres outils marquant une nouvelle étape dans l'application de la perspective et dans la visualisation 3D. Les changements d'applications et de méthodes des approches théoriques et pratiques sur la vision en trois dimensions, au moyen de la perspective et sa représentation ont entraîné dans le temps une évolution des moyens et outils de représentation applicables à tous les domaines et cela, grâce aux techniques et aux technologies nouvelles : particulièrement à l'informatique.

- **Synthèses et discussions :**

Il est apparu à travers ce portrait sur la perspective et les techniques de représentations spatiales que la figuration du monde réel (tridimensionnel) constitue, non seulement un outil de visualisation du projet architectural, mais aussi un médium pour la conception. Le dessin en 2D est alors poussé au rapprochement de la figuration spatiale. On constate aussi l'appropriation et le fondement de nouveaux moyens graphiques vers une évolution des techniques de représentation et de visualisation dans la conception architecturale.

Chapitre 2. 2. L'INTRODUCTION DE LA CAO EN ARCHITECTURE :

En rapport aux premières apparitions de la perspective comme moyen de représentation et de communication, un aperçu sur le développement de la CAO comme moyen de transcription et de transmission de l'information serait adéquat pour une compréhension appropriée du changement de paradigme, principalement basé sur une transformation d'outils et une évolution des connaissances.

2. 2. 1. Apparition du Dessin et de la Conception Architecturale Assistée par Ordinateur :

L'origine du dessin et de la conception assistée par ordinateur «DAO» et «CAO», remonte au début des années quarante (40) (Milne M., 1969). Lors du développement des recherches opérationnelles dans le domaine des mathématiques appliquées, les recherches scientifiques et les expérimentations, par leurs progressions et approfondissements, avaient suscités l'émergence de «l'architecture réalisée par ordinateur» (*Architectural computing*) (Milne M., 1969). Ces recherches opérationnelles en mathématiques appliquées, avaient été entreprises durant la seconde guerre mondiale. Destinés dans un premier objectif, à l'amélioration de la prise de décision, par la construction de modèles mathématiques en simulations (développement des unités centrales, et de l'intelligence artificielle), ces tests et recherches ont été la source principale de l'apparition des premiers programmes informatiques destinés au dessin architectural assisté par ordinateur.

A l'entrée des années soixante (60), aux États Unis, le chercheur Ivan Sutherland avait abouti au développement du premier système graphique interactif «*Sketchpad*» (1963). Tel a été nommé le premier système, qui a permis aux rayons du tube cathodique du moniteur (écran) d'être utilisé pour la projection de dessins sur tableau électronique (Bertol, 1997). Par l'introduction de ce système Sutherland avait l'idée de rendre l'ordinateur accessible à une nouvelle classe d'utilisateurs : les artistes et les dessinateurs (Blackwell A., & Rodden K., 2003). Le concept a été poursuivi et développé, par la suite, par quelques entreprises. Les programmes de dessin assisté par

ordinateur ont vu le jour et sont apparus dans un premier temps, dans le secteur de l'industrie : dessin automobile, aéronautique, de l'optique et des composantes électroniques. L'adaptation de tels programmes dans le domaine industriel a amorcé une croissance, et une amélioration grandissante de la production : plus de produits et une meilleure qualité. La rapidité d'exécution, la répétitivité et l'automatisation ont donné avantage à ces secteurs industriels qui, avec l'intégration des programmes informatiques dans leurs procédés de production, visaient la précision et la production en série.

Inspiré par cette introduction de l'informatique dans l'industrie, et par ce constat d'amélioration et de performance, est apparu alors un mouvement qui avait généré l'idée que le dessin architectural pourrait être constitué par un «processus systématique et analytique», au départ dans un but d'automatisation : le «mouvement de la méthodologie du dessin» (*Design method movement*).

« [...] The design task would no longer be described to a 'knobs and dials' person to be executed in his secret vernacular. Instead, with simple negotiations, the job would be formulated and executed in the designer's own idiom. As a result, a vibrant stream of ideas could be directly channeled from the designer to the machine and back.

The second obstruction overcome by such close communion is the potential for reevaluating the procedures themselves. In direct dialogue the designer can exercise his proverbial capriciousness. At first the designer may have only a meager understanding of his specific problem and thus require machine tolerance and compatibility in his search for the consistency among criteria and form and method, between intent and purpose ». (Negropont N., 1970)

Ce n'est que vers la fin des années (60), que le domaine de «l'Architecture réalisée par ordinateur» (*Architectural computing*) avait constitué un réel objet d'étude de quelques institutions. Cependant vers la fin des années (70), l'adaptation de ces programmes de dessin assisté par ordinateur en architecture avait commencé par susciter des ambiguïtés et des appréhensions chez les architectes. L'adaptation de tels systèmes avait provoqué des débats et critiques sur leurs applications et leurs utilités en architecture. Cross (1977) déclare que :

« The more realistic threat of CAD is that computer power will equal design power: those who can afford the expensive computer systems will come to

dominate the design process. This computer – strengthened design power will be centralized in large organizations, and the scope for the majority of private individuals to influence the design of the built environment will be greatly reduced » (Cross, 1977, p 440).

Alors que d'autres architectes débattaient sur le futur et le potentiel d'un tel outil, Mitchell W. (1977) recommandait l'innovation et le développement des techniques de la DAO et de la CAO, en annonçant, que la puissance de cet outil n'est pas seulement dans la documentation, mais qu'elle s'étend aussi jusqu'aux méthodologies appliquées dans la conception. La pratique de l'architecture est dotée d'un nouvel outil qui a élargi le champ de l'innovation et de la création, en menant ses protagonistes vers d'autres manières de penser l'architecture.

« [...] the theory and practice have developed to the point where it can confidently be predicted that, during the 1980s, everyday use of CAD techniques will radically transform the practice of architecture » (Mitchell W., 1977)

La conception architecturale réalisée par ordinateur (*Architectural computing assisted design*), n'arriva réellement dans le domaine professionnel que vers le début des années (80). Ces premiers programmes d'interface utilisateurs alphanumériques, étaient présentés comme des outils d'aide aux dessins d'architecture, mais leurs applications dans le domaine de l'architecture étaient limitées, et les architectes avec l'apparition d'un tel outil d'aide au dessin voyaient en ce dernier un système rigide, plus adapté à l'industrie et aux ingénieurs qu'aux architectes. Un outil qui à cette époque, présentait des limites au niveau du développement artistique et créatif, que l'architecte recherchait (Kemper, 1985).

Toutefois, Dyer J.C (1985) indique que les outils du DAO et de la CAO étaient introduits comme des moyens d'aide aux architectes et non pas comme moyens pour remplacer la créativité et l'expertise des architectes.

« We introduce the system as a tool, to be used wherever it could be beneficial. The last thing we wanted to do was walk in and present CADD as a replacement for the creativity and expertise of our architects » (Dyer J.C, 1985)

Vers le début des années quatre-vingt (80), avec l'arrivée des stations individuelles «ordinateurs», l'utilisation de programmes de *DAO*, était de plus en plus répandue au

niveau des entreprises d'architecture. Des programmes de dessin mis sur le marché, étaient conçus spécialement pour une utilisation ajustée à ces nouvelles stations : des programmes tels que «AutoCAD»⁴ adapté pour IBM-PCTM ⁵ (*ordinateur personnel*), «PCAD» par la suite «CAD Apple»⁶ pour Macintosh⁷. Toutefois, ces programmes n'étaient pas toujours spécialisés à l'architecture et s'ouvraient toujours à une utilisation générale, destinée à divers domaines.

Outre le développement de tels systèmes d'interface utilisateurs d'alphanumérique (*Alphanumerical user interfaces*), étaient apparus les premiers programmes d'interface utilisateur graphique (*Graphical user interfaces*), qui avaient été introduits dès le début des années quatre-vingts. Le développement croissant, des programmes à interface utilisateurs d'alphanumérique, et des nouveaux programmes à interface graphique en architecture, au début des années quatre-vingts, avait généré les premières orientations du dessin d'architecture, à la conception architecturale, avec l'apparition de «l'objet» (Penttilä H, 1999).

« [...] First there was digital text, then somebody created a digital line – a most simple and perhaps therefore also very efficient graphical entity to express architectural ideas with bits and bytes.

An object is a natural step in the chain of digital data structures 'evolution: alphanumerical – vector – object. An object gathers "related things" into a single conceptual entity, which can be used in design». (Penttilä H, 1999)

⁴ AutoCAD: A full-featured CAD program from Autodesk that runs on PCs, Macs and Unix workstations. AutoCAD is a de facto standard with numerous add-ons available for enhanced functionality (*Computer Desktop Encyclopedia copyright ©1981-2005 by The Computer Language Company Inc*).

⁵ IBM PCTM (Personal Computer): is a trademark of IBM (*International Business Machines*). The predecessor of the current personal computers and progenitor of the IBM PC compatible hardware platform, it was introduced in August 1981. The original model was designated the IBM 5150. (Norton, Peter (1986). *Inside the IBM PC. Revised and enlarged*. New York. Brady)

⁶ CAD Apple: CAD program designed for Apple Computer, Inc. which is a manufacturer of desktop and laptop computers (*Computer Desktop Encyclopedia copyright ©1981-2005 by The Computer Language Company Inc*).

⁷ Macintosh: A family of desktop and laptop computers from Apple, introduced in 1984. It was the first computer to popularize the graphical user interface (GUI). (*Computer Desktop Encyclopedia copyright ©1981-2005 by The Computer Language Company Inc*).

Ces programmes de *DAO* avaient amorcé le cheminement vers la conception assistée par ordinateur, des programmes capables d'exécuter des tâches de dessin et de conception, élaborés dans un cadre de représentation graphique en architecture. Ces programmes, tels que le «*CADD*» (*Computer aided design and drafting*) qui étaient proposés, comme un outil de dessin, et de conception architecturale telle que la représentation graphique : élaboration- conception, et exécution de détails techniques. Partant d'esquisses dessinées manuellement par les moyens traditionnels (crayon, papier), ces croquis étaient alors acheminés aux architectes en *DAO et CAO* pour le développement de la conception et la production des plans d'exécutions. Les esquisses et schémas étaient remaniés, modifiés et réorganisés, jusqu'à l'aboutissement final des plans et des détails techniques.

Ces plans d'exécution élaborés à l'aide de la *DAO* et de la *CAO* se présentaient déjà comme étant des plans facilitant la représentation de formes complexes, en assurant une meilleure clarté et lisibilité des plans conçus. Ces outils de *DAO et CAO*, avec leurs capacités d'utilisation de techniques, de combinaisons et de multiplications de dessins, représentaient un avantage tel que la rapidité et l'assistance à la représentation et la visualisation en architecture.

Les nouveaux programmes de *DAO et CAO*, présentaient quelques techniques novatrices : la variation d'échelle, par un zoom de réduction ou d'agrandissement, ce qui permettait d'obtenir la précision dans les rendus, et constituait la différence entre le dessin élaboré manuellement et le dessin assisté par ordinateur. Le dessin n'était plus inactif (statique et figé), tel que sur un support traditionnel (papier ou autre), mais offrait plus de possibilités, du point de vue visuel et conceptuel. La possibilité de rapprochement et d'éloignement du dessin avait introduit une autre notion dans la représentation graphique du dessin d'architecture.

Ces techniques et avantages avaient commencé à montrer de l'intérêt au dessin et à la conception assistée par ordinateur, dans la représentation graphique, et à la visualisation en architecture.

2. 2. 2 Techniques de visualisation et d'aide à la conception :

D'autres développements sont apparus au début des années quatre-vingt (80) : l'utilisation des outils multimédias, introduits d'abord aux institutions éducationnelles, aux «*Studio-design*», dans un objectif de développement du processus de conception, et d'élargissement des outils de visualisation.

En 1983, un grand projet a été mis en place aux MIT⁸, par le laboratoire «Media-Lab», avec la collaboration du DEC⁹ et IBM, nommé projet «Athéna» visant l'implantation de plusieurs stations de travail au sein de l'institution pour l'introduction des outils multimédia. Parmi les moyens mis en place par le laboratoire «Media-lab» au MIT, pour la visualisation : le système de visualisation de l'information «VIS»¹⁰. Le VIS, proposait l'accès à la visualisation de l'information à travers une distribution par système de réseau «LAN»¹¹ et des systèmes de diffusions vidéos. Un système qui permettait aux utilisateurs, la récupération d'images sources, et leurs distributions par le biais du système de réseau.

Le VIS reposait sur trois paramètres : *la projection d'une table électronique lumineuse (electronic light table)* «sur Moniteur», le système «*Rotch Visual Collection*», par le biais d'une table lumineuse standard, et *l'affichage des images*. Connecté d'une manière interactive, le système donnait accès à la récupération des images qui figuraient à l'écran.

Ce système avait permis le stockage et la constitution d'une banque de données d'images qui pouvaient être utilisées et distribuées par l'utilisateur à travers tout le système. Le concepteur pouvait constituer ainsi sa propre bibliothèque d'images.

2. 2. 3 Méthodes de visualisation par la modélisation et les outils de la CAO :

Le dessin et la conception assistée par ordinateur, ont présenté un autre avantage, avec l'introduction de la modélisation : produire des volumes tridimensionnels par

⁸ Massachusetts Institute of Technology.

⁹ Digital Equipment Corporation.

¹⁰ Visual Information System.

¹¹ Local Area Network

projection graphique. Un aspect de visualisation permettant de générer des vues axonométriques ou perspectives, d'une conception architecturale (projet, ensemble urbain, ou zone d'intervention pour une future projection). Une technique de modélisation qui offre aux concepteurs la possibilité d'opérer des changements d'une façon interactive et de tester des solutions et des combinaisons lors de la conception d'un projet.

Un groupe d'architectes spécialisés en CAO (le *BOHM- NBBJ*) en Ohio, établis au début des années quatre-vingt (80), exposèrent leur procédé d'utilisation. Ils indiquèrent que l'introduction de la couleur dans la modélisation volumique permettant de recourir à plusieurs techniques et de stimuler la créativité. En recourant à la couleur dans leur projet, ils identifiaient les implantations à réaliser des équipements existants, dans leur projet. Cette technique de représentation leur donnait la possibilité de tester des combinaisons et une variation d'implantations possibles pour leur futur projet.

« [...] Since the project is a state office building, private buildings are shown in gray tones and government building in darker granite tones ... all alternatives shemes were studied using the computer's ability to generate several views in a short period of time. The modeling techniques have been extremely successful in aiding clients in understanding and appreciating the contextual impact of their buildings ». (Kemper, 1985, P42)

Cette méthode d'introduction de la couleur en modélisation, comme moyen de représentation et de visualisation, a été proposée aussi sur d'autres systèmes : tel le système «SIGMA»¹², offrant la possibilité de représentation et d'analyse des relations fonctionnelles et spatiales entre différents espaces d'une conception architecturale (Kemper, 1985).

D'autre part l'introduction de la lumière en modélisation et la coloration d'objets par les techniques de la CAO donnent la possibilité de produire une lumière ambiante ou diffuse, et ainsi, l'application de l'ombre aux objets. Jordani D. (1984), note que

¹² SIGMA : Système Interactif Graphique pour les Méthodes d'Aide à la conception architecturale.

l'utilisation de l'ordinateur a engendré un changement fondamental dans la pratique de l'architecture.

Le concepteur ne serait ainsi, plus limité à son espace papier bidimensionnel dans la création spatiale et la composition de la forme. Cette notion de composer en trois dimensions dans un univers virtuel a généré une autre façon d'aborder la conception.

En fait, les nouvelles méthodes, développées par l'outil informatique de DAO et CAO, ont contribué à la révision des pratiques.

2. 2. 4. Développement des outils de visualisation, et d'aide à la conception :

Au début des années quatre-vingt dix (90), les outils en CAO et DAO étaient variés, présentant diverses méthodes et approches. La CAO avait élargi son champ depuis les années quatre-vingts.

« Computer- aided design (CAD) is use of a computer for creation, manipulation, analysis, and communication of an idea ... every thing from drafting a plan, to writing a proposal via word processing software, to searching the World Wide Web for product information » (Dong & Gibson, 1998, p 2)

Avec l'apparition de nouveaux programmes de traitement d'images, de la photographie à l'hologramme en passant par les vidéogrammes, ces outils ont changé la perception de l'environnement. Ce sont, dès lors, de nouveaux médias présentés comme de futurs outils de la communication : outils qui représentent les nouvelles technologies de la représentation graphique.

« [...] Visualiser, donc, ne sera bientôt plus l'exception mais la règle [...]. Le choix est suffisamment vaste pour que désormais l'intention, les outils, les techniques, et l'image forment une chaîne cohérente reliant deux interlocuteurs » (Gagnet, 1986)

Les photos montage, le vidéo montage, l'animation, l'image de synthèse et le traitement d'image sont de plus en plus développés et utilisés par l'architecte. L'outil

numérique de l'informatique graphique est utilisé comme un moyen de communication de l'idée et un moyen d'aide à la prise de décision.

L'ensemble de ces outils liés à la conception assistée par ordinateur a donné un nouvel aspect de visualisation en architecture marqué, par ailleurs par l'arrivée du monde cybernétique «virtuel».

« The visual communications language [graphics], incorporating text, images and numeric information ... may be called a universal language ».
(Dong & Gibson, 1998)

La décennie qui a précédé ce monde cybernétique a été marquée aussi par un accroissement de programmes et outils en CAO développés déjà dans les années quatre-vingt (80), sur plusieurs versions, puis améliorés et développés, en offrant plus d'outils et de possibilités en conception. Des programmes (logiciels) tels que: *Autocad, Archicad, 3D Studio Max, 3D Studio Viz, Light Wave*. Schmitt et al., indiquent que de tels programmes offrent aux concepteurs un moyen plus rapide pour la création et la visualisation des données. *« Such software can allow architects to rapidly create and compare alternatives and to visualize data in ways not previously possible ».* (Schmitt et al., 1995) Toutefois, il est à distinguer que représenter n'est pas concevoir, mais que ces deux actions constitueraient une manière de transcrire une information.

«The digital revolution has changed the working environment during the last two decades. The trends have merely added new features to existing trends than replaced some others». (Penttilä H., 1999)

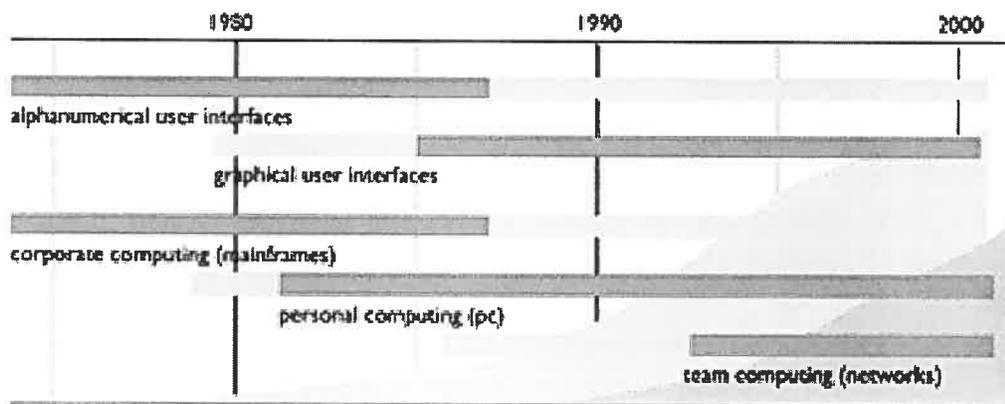


Figure 10. L'évolution des programmes de CAO, des 30 dernières années

Face à une telle croissance, et en présence d'une grande variété d'outils en CAO, disponibles sur le marché, les entreprises d'architecture utilisent de plus en plus de ces outils, pour la conception de plans, la modélisation, l'animation et le traitement d'images.

S'ajoutant aux outils de la conception assistée par ordinateur, les programmes de traitement d'images, de montages vidéo (tel que : Photoshop¹³, Combustion¹⁴), destinés à la composition architecturale en conception, ont été déjà introduits dans les écoles et universités, et commencent à être de plus en plus utilisés comme des outils d'aide à la conception architecturale.

La fin des années quatre-vingt dix (90), est marquée par la multiplication des médias numériques (modélisation, animation), des programmes qui ont augmenté et élargi les possibilités de visualisation en architecture, une visualisation constituant un important aspect, dans le processus conceptuel.

Dans notre recherche, nous allons étudier au préalable l'implication de la visualisation durant le processus de conception à travers un cas d'étude.

¹³ Photoshop: Adobe Photoshop is a graphics editor (with some text and vector graphics capabilities) developed and published by Adobe Systems. It is the market leader for commercial bitmap image manipulation, and probably the most well-known piece of software produced by Adobe Systems. It is usually referred to simply as "Photoshop". (*www.Wikipedia.org*)

¹⁴ Combustion: is a computer program "for motion graphics, compositing and visual effects". Discreet, (n.d). (*www.Wikipedia.org*)

Chapitre 2. 3. LA PERSPECTIVE ET LES MODES DE REPRÉSENTATION EN CAO ET EN RÉALITÉ VIRTUELLE :

2. 3. 1. L'exploitation de la perspective en architecture :

Nous avons vu dans le chapitre précédant, l'évolution de la perspective et notamment l'usage a son recours dans l'art et la peinture, puis nous avons introduit son utilisation en architecture. Nous notons que la perspective est présentée selon deux types : la perspective linéaire et la perspective non linéaire. Nous aborderons par la suite l'implication de la perspective dans l'espace numérique et l'effet que corrobore cette notion dans le développement conceptuel. Voyons, dans un premier temps, le développement de la perspective linéaire et ses principes.

2. 3. 1. 1. La perspective linéaire :

Selon Berdinski (1997), il y a deux méthodes pour convertir l'information spatiale tridimensionnelle à une image plate (deux dimensions). La première méthode est l'usage de la perspective linéaire normale, qui a été «redécouverte» à l'époque de la Renaissance, telle qu'indiquée dans nos chapitres précédents, et qui a été largement utilisé par les artistes et les architectes. Ces derniers avaient cru pendant des siècles que ce type de perspective était la seule méthode qui a permis de représenter le «vrai espace» en 3D sur un plan (Berdinski, 1997). Toutefois, Berdinski (1997) notait que, quelques auteurs de l'époque avaient porté une attention particulière aux inexactitudes de ce type de projection, et que ces inexactitudes résidaient dans la déformation considérable des proportions des objets représentés dans l'espace, ce qui est bien visible lors d'une représentation architecturale. Berdinski (1997) montre un exemple en indiquant que : si le vecteur de la vue représente la longueur d'une rue, l'image de la perspective linéaire semblerait environ une fois et demi (1,5 fois) plus longue que la vraie sensation humaine d'une rue «réelle» comparable. Il indique aussi qu'il y a une métamorphose irrégulière des lignes et des surfaces : lorsqu'elles sont représentées en trois dimensions, les lignes droites et les surfaces paraissent courbées. Par exemple, si nous représentons en perspective linéaire le sommet ou la base d'une colonne, les points de fuites de la perspective sont tournés d'une façon irrégulière vers la ligne

d'horizon et vers les côtés de l'image représentée (Berdinski, 1997). Il en résulte d'autres déformations en conséquences des premières citées précédemment. Berdinski (1997) conforte sa théorie en s'appuyant sur les travaux de l'artiste M. C. Escher (entre 1946-1956) qui avait prouvé visuellement la non-linéarité de perception humaine, nous avons aussi indiqué que Léonard de Vinci avait aussi abouti à une conclusion similaire : «la perspective courbe», (voir chapitre précédant).

2. 3. 1. 2. La perspective non-linéaire :

L'idée de la perspective non linéaire en architecture n'est pas plus récente que l'idée de la perspective linéaire. Nous avons déjà commenté, lors de notre exploration sur l'évolution de la perspective, les différentes démonstrations qui avaient mené leurs auteurs à aboutir à la conclusion de la «non linéarité de la perspective». Berdinski (1997) notait que : les représentations de la perspective non linéaire sont plus naturelles que les représentations de la perspective linéaire, au vu de la perception humaine. Il indique que le seul défaut des projections non linéaire est la déformation des lignes droites en raison des angles de différentes vues. Pour les représentations courantes en perspective l'angle de vue ne doit pas dépasser 40° (Berdinski, 1997). Il précise qu'habituellement les observateurs voient de telles représentations avec un angle de vue qui ne dépasse pas les 15° , et selon lui, il y a deux façons de corriger ces erreurs : la première est d'agrandir le format du plan de représentation et la seconde est, de diminuer la distance entre l'observateur et l'image représentée. Les travaux de Berdinski (1997) nous apprennent qu'il subsiste des déformations dans les représentations perspectives, et que souvent, les artistes et les architectes ont recours à d'autres techniques comme par exemple le recours à la représentation de l'effet inverse de la déformation perçue par la perspective, pour corriger les effets d'illusions d'optique et les irrégularités des tracés, afin d'aboutir à une représentation fidèle à la figuration spatiale réelle. Cependant nous comprenons que cette figuration du réel, basée particulièrement sur la visualisation spatiale, a poussé ses utilisateurs vers une

approche graphique de la compréhension de « l'espace » :¹⁵ lieu de création par excellence du concepteur.

2. 3. 2. L'évolution de l'usage de la Perspective en architecture, par l'introduction des technologies numériques, vers la réalité virtuelle :

Les approches graphiques pour la compréhension de l'espace tridimensionnel, amorcées par la mise en application des lois et règles de la perspective, tel qu'il a été mentionné précédemment, ont donné lieu à un nouveau paradigme dans la pratique de l'architecture. Nous avons déjà indiqué, qu'aux premières applications de la perspective en architecture, la technique de représentation perspective permettait la visualisation d'un projet ou d'une simple vue. En d'autres termes elle permettait la mise en scène graphique d'une image projetée : une figuration au profit de la compréhension d'une construction générée. Nous désignons cette dernière par le terme « construction » car cette technique de représentation, au moyen des outils traditionnels, comprenait la construction des vues perspectives. Des lignes de fuites et des lignes de constructions doivent être réalisées pour pouvoir aboutir à la figuration souhaitée. Au développement de cette technique de projection, la perspective est passée d'un outil de représentation, à un outil de conception. Au cours de notre étude exploratoire, nous avons illustré par des exemples le fait que certains architectes-concepteurs procédaient à leur conception en réalisant des vues en perspective pour appréhender leur création dans un contexte spatial tridimensionnel. Une telle technique suggérait plusieurs vues et des allers-retours constant entre conception-figuration durant le développement conceptuel pour aboutir à une figuration finale. L'espace graphique étant figé, la boucle conception-figuration suggère : temps, incertitude et erreurs d'exécution. Les représentations en perspective étant sujettes à des erreurs lors de la construction (projection graphique). Néanmoins le recours à la perspective a longtemps été pratiqué au profit de la visualisation, pour une figuration dans un espace en trois dimensions. L'introduction des outils numériques a marqué le prolongement de

¹⁵ Nous avons mentionné : « l'espace », mais nous aurions pu tout autant mentionner : l'objet, toutefois, l'objet représenté est toujours contenu dans un espace.

cet espace d'expression, et un nouveau paradigme pour la pratique de l'architecture. La perspective est désormais partie intégrante des outils graphiques par les techniques de la CAO. L'ordinateur, à travers l'informatique et au moyen des logiciels graphiques, permet la figuration en perspective. Il calcule et génère automatiquement des vues en perspectives. Il est possible de figurer, concevoir et modéliser, en trois dimensions dans un espace numérique et de réaliser différentes vues en perspectives. L'interactivité entre le médium et l'architecte-concepteur prend place et la visualisation produite des figurations est quasi-simultanée.

L'introduction des techniques numériques a autant transformé la pratique de l'architecture que l'approche de la conception. L'espace d'expression du concepteur, à travers lequel il développe sa création, n'est plus réduit à un simple espace papier, il y a désormais : «l'espace virtuel»¹⁶. Nous explorerons plus en détail cet environnement et ses implications, mais nous notons dans ce qui suit que cet espace virtuel offre un nouvel environnement d'exploration pour le concepteur, et une nouvelle évolution de la perspective.

«Le dessin, soit à la main ou informatisé, accompagné des autres outils traditionnels de visualisation en design comme les perspectives ont de la difficulté à bien représenter les objets tridimensionnels. Même la maquette, en architecture, n'offre pas une représentation conviviale due au changement d'échelle. Le concepteur se trouve éloigné de la réalité de l'objet produisant ainsi des erreurs dans la compréhension de l'objet et de l'espace 3D» (Dorta et Lalande, 1998).

Nous avons montré que la perspective était passée de la perspective linéaire à la perspective non linéaire, plus connue sous l'appellation de «perspective courbe». Les implications de cette dernière étaient essentiellement la représentation et la figuration du réel pour la production d'images. Nous avons rappelé ses applications en architecture et nous avons vu que son implication était essentiellement visuelle. Cette représentation de l'espace en deux dimensions pouvait offrir «l'illusion» d'immerger dans un espace réel tridimensionnel. Par une nouvelle technique d'approche, Dorta (2004) aborde cette réalité, mais cette fois projetée dans un environnement virtuel. Il propose l'exportation d'une représentation perspective vers un environnement

¹⁶ Par «espace virtuel»: nous faisons référence à un environnement qui n'existe pas matériellement, mais qui est créé numériquement dans le cyberspace, au moyen de médiums numériques.

bidimensionnel panoramique (360°), comme base graphique, exporté dans un système de Panorama en Réalité Virtuelle par des programmes tel que le : système QTVR (Quick Time VR). Dorta T. & Pérez E., (2006) démontrent qu'un tel système pourrait être adapté pour un développement en conception dès les prémises de l'idée. Ils mentionnent toutefois qu'une telle technique présente à la base une représentation perspective déformée et qu'il est possible de corriger cette déformation par l'ordinateur en utilisant des programmes tels que : le QuickTime VR™ (cylindrique) et le QuickTime VR Cubique (sphérique), (Chen, 1995 ; Dorta T. et Pérez E., 2006). Cet environnement panoramique marque un nouveau potentiel d'exploration pour le concepteur, les images sphériques lui permettent une perception complète, en perspective, de l'espace de travail.

«Architects employ visual design thinking to visualize and understand [the] forms they work with» (Wael Abdelhameed A., 2006)

Ces aspects soulignent une évolution constante de la perspective et son rôle de médium visuel pour l'exploration de la forme et de l'espace au service de l'utilisateur : «L'artiste, l'architecte ou le designer». Ces quelques recherches que nous avons mentionnées précédemment, notamment celle présentée par Dorta T. et Pérez E. (2006) : *«Immersive Draft Virtual Reality»*, démontre un potentiel et une commutation vers une exploitation de la perspective en architecture, aux phases préliminaires de la conception. Nous pouvons remarquer, qu'il y a là une introduction de la notion «perspective» dans le processus de création puisque, par le biais de l'exploration qu'offre un tel environnement virtuel, en mode perspective, le concepteur procède à des évaluations visuelles de l'environnement figuré : comme stimuli. Nous en déduisons donc, que cette perception en 3D contribue à alimenter les figurations «internes» du concepteur, avec une dimension fidèle à une insertion dans un contexte spatial réel en lui servant de générateur d'idées.

Voyons, dans ce qui suit, l'implication de la réalité virtuelle en architecture.

2. 3. 3. La réalité virtuelle et la représentation architecturale :

Les pratiques courantes en architecture ont connu un changement depuis l'arrivée de l'ordinateur dans les bureaux des architectes et des entreprises. Le recours à l'ordinateur et à ses applications a augmenté depuis une trentaine d'année et particulièrement depuis ces dix dernières années. Bertol D., témoigne que l'ordinateur accompagne les outils traditionnels de l'architecte (papier, crayon, table à dessin), et que, dans certains cas, l'ordinateur s'est substitué au rôle de la table à dessin. Cette possibilité de dessiner et de concevoir qu'offre l'ordinateur, est effectuée avec l'aide des outils de la DAO - CAO.

« The scene today is quite different; in the architect's workspace the drawing board is accompanied, if not completely replaced, by a computer. Drawing boards and drafting equipment are no longer the tools of choice for the architect. Computer monitors and keyboards, diskettes, plotters, and printers are the work tools for the majority of architectural offices.

All this transformation can be summarized in the word CAD (Computer-aided Design). ». (Bertol D., 1997, p 43-44)

Les outils de conception et de dessin assisté par ordinateur, tels qu'exposés dans notre aperçu sur l'utilisation de l'ordinateur en architecture, sont apparus dans un premier temps comme des outils de dessins bidimensionnels reproduisant des éléments de base (lignes, droites ou courbes, cercles, rectangles). Selon Bertol D., la complexité de l'utilisation des outils de la CAO réside dans l'utilisation des surfaces ou des solides pour générer des formes tridimensionnelles. Toutefois, Il a été vu à travers l'histoire, que les architectes avaient souvent recours à des modèles physiques comme outils de visualisation et d'interprétation de données abstraites, avant l'apparition de l'ordinateur. Le recours à de tels modèles tridimensionnels permettait de voir l'ensemble d'un projet en simulation après construction. Ses modèles physiques démontrent néanmoins une limitation au niveau de la visualisation des espaces intérieurs. Bertol D, évoque cette limitation en indiquant qu'un observateur ne pourrait pas se projeter à l'intérieur de tels modèles et découvrir les espaces intérieurs le composant. Le recours à des rendus d'images en perspectives est alors employé dans le but d'avoir des simulations visuelles des différents espaces composant un projet selon

différents points de vues en perspectives. Ces différents points de vues (rendus d'images) en perspective présentent à leur tour une contrainte résultant de la vision unique qu'offre cette vue en perspective.

Dans la méthode traditionnelle, le moyen de représentation des idées de conception par les vues en perspectives, reste insuffisant et est souvent complété à la phase finale du processus de conception par des apports complémentaires. La raison est due à un temps trop long pour élaborer des dessins en perspectives proches de la réalité, et que ses perspectives représentent un seul point de vue. Quelques points d'observation plus représentatifs de l'ensemble de l'espace conçu sont choisis pour être représenté au moyen du dessin manuel (Dong, Gibson, 1998).

Avec la modélisation en 3D et les rendus d'images, l'utilisation de la perspective a changé. L'ordinateur calcule et génère automatiquement des vues en perspectives basées sur les informations de la modélisation. Ces multiples vues en perspectives peuvent être générées et visualisées durant le processus de conception, et avant que le dessin final ne soit produit (Dong, Gibson, 1998). D'après Bertol. D, la perception de l'architecture n'est pas statique, comme celle de la peinture et de la sculpture, et le meilleur environnement architectural est fourni par le changement des perceptions offrant des vues successives (Bertol, 1996).

La réalité virtuelle forme le lien entre les éléments tridimensionnels et leurs représentations. Elaborée à l'aide de données informatisées cette représentation d'éléments tridimensionnels peut être visualisée depuis plusieurs points de vue de l'intérieur et de l'extérieur de l'objet. Plusieurs vues de rendus d'images perspectives peuvent être générées automatiquement avec l'aide de la réalité virtuelle. Les rendus d'images produites peuvent être visionnés d'une manière passive sans interaction, similaire aux rendus des représentations élaborées traditionnellement à la main. L'avantage serait l'effet temps réel qu'offre la simulation par ordinateur pour une meilleure évaluation de la conception. Cet effet présente une influence sur la perception du réalisme du modèle produit (Dorta, 2001).

Dans la création du «*Monde architectural virtuel*», la réalité virtuelle constitue un outil d'évolution pour la conception et la visualisation assistée par ordinateur. Elle tend à résoudre les limites non- résolues d'une visualisation du projet par la modélisation et l'animation réalisée par la CAO (Dorta, 2001). Bertol D. (1996), décrit que dans les scénarios de conception, les éléments qui comprennent la composition architecturale ne sont pas statiques mais changent et évoluent dans la dynamique du processus de conception. L'utilisation de la réalité virtuelle comme moyen de représentation peut fournir à l'observateur immergé dans cette réalité, une exploration de sa conception d'une façon intuitive, plutôt que de voir des plans ou des élévations. Le processus créatif qui était traditionnellement basé sur des esquisses bidimensionnelles, peut être élaboré dans un espace tridimensionnel, tel que produit par la réalité virtuelle (Bertol, 1996).

2. 3. 4. La conception immersive dans un environnement de la réalité virtuelle comme outil de représentation d'objet :

Dans la méthode de conception immersive, le concepteur se retrouve à l'intérieur de son produit de conception dans un environnement virtuel. Il modélise sa conception dans des conditions similaires à celles qu'il aurait lors de la création d'une sculpture. Souvent l'échelle réelle (1:1) est utilisée dans la réalité virtuelle immersive offrant la possibilité de concevoir les espaces sans fausses solutions par rapport à celles qu'aurait généré une représentation bidimensionnelle (Bertol, 1996).

« It can empower a designer with the ability to study designs as rapid as on thinks limited only by one's imagination » (Bertol, 1996).

Les outils utilisés sont des appareils de projection 3D, projetant une image en 3D de la conception à l'aide d'un système électromagnétique, produisant ainsi un rendu d'images stéréoscopiques en perspective. Plusieurs systèmes en RV (réalité virtuelle) constituant un tel type de projection ont été conçus. Il est à citer des systèmes tels que le HMD ¹⁷, BOOM ¹⁸ et le CAVE ¹⁹. Henry (1967), déclarait que la réalité virtuelle

¹⁷ HMD : Head- Monted Display.

¹⁸ BOOM: Binocular Omi- Orientation Monitor.

immersive permet de percevoir l'architecture dans de nouvelles orientations, augmentant nos habilités à simuler et à représenter la conception ; que l'interprétation de l'information spatiale, aux moyens de ces interfaces virtuelles, était peut-être aussi simple et intuitive que l'interprétation de l'espace réel. L'exemple de l'effet d'une vision en perspective dans la réalité virtuelle immersive augmente l'effet réel de l'environnement conçu dans lequel le concepteur se retrouve immergé.

2.3.5. La réalité virtuelle non-immersive comme outil de représentation :

Dorta T. (2001), notifie qu'actuellement, la réalité virtuelle non-immersive fait partie intégrale de la modélisation traditionnelle. Elle est due aux avancées technologiques dont la puissance de calcul des cartes graphiques et la visualisation en temps réel (RV) sont offertes comme une autre vue de l'objet, souvent dans une projection axonométrique ou perspective, en plus de permettre des projections orthogonales en 2D. L'approche actuelle dans le développement en informatique, avec des mises à jours continues et une course vers la performance du matériel, fait en sorte que l'expérience de l'utilisateur est mise à part, et que ce dernier prend ces nouveaux ajouts comme acquis, sans les apprécier à leur juste valeur (Norman, 1998).

Lorsque nous parlons de RV, nous parlons d'environnement 3D : c'est-à-dire, d'espace où l'être humain utilise ses habiletés et ses aptitudes à la compréhension spatiale pour s'orienter et réaliser des tâches (Dorta, 2001).

Il n'existe pas de définition unique de l'habileté spatiale. Cette dernière contient par ailleurs plusieurs aspects : l'orientation spatiale, la visualisation spatiale et les relations spatiales. L'orientation spatiale traite de l'habileté à déplacer et à transformer mentalement un stimulus, le tout, en gardant les relations qui lui sont propres. Elle comporte aussi la manipulation mentale d'un objet où l'utilisateur peut établir des rapports entre relations existantes dans un objet. Finalement, la relation spatiale est l'habileté à imaginer comment un objet peut apparaître selon différentes perspectives (Satalich, 1995 ; Dorta, 2001).

¹⁹ CAVE : Cave Automatic Virtual Environment.

2. 3. 6. La CAO et La RV, méthodes nouvelles et pratiques courantes en conception :

Plusieurs architectes se sont appropriés de nouvelles méthodes en conception architecturale avec l'aide des outils de la CAO et de la réalité virtuelle, depuis l'émergence de ces outils. Au départ comme moyen de représentation, et en finalisation, comme moyen de conception et de modélisation aux prémises de l'idée. Les exemples de projets d'architectes, tels que : Eisenman P., Gehry F. O., Lynn G., Hadid Z., et bien d'autres encore, illustrent cette prise de direction vers la conception à l'aide des outils de la CAO, aux phases initiales du projet. C'est le cas du projet du musée Guggenheim à Bilbao, le Walt Disney Concert Hall, de Frank O. Gehry, où l'implication de la CAO avait un rôle de premier ordre, principalement pour la réalisation de la couverture du musée. Gehry avait pour ce cas, utilisé le logiciel CATIA^{® 20} pour parvenir à modéliser en trois dimensions des surfaces curvilignes de la couverture. Mitchell (2001), cite que Gehry avait entrepris une exploration d'un univers formel, autant rigoureux et mathématiquement élégant, que celui de la géométrie grecque ancienne, mais qui avait été inaccessible avant l'introduction de l'informatique -graphique.

« Gehry embarked on an exploration of a formal universe that was no less rigorously logical and mathematically elegant than that of ancient Greek geometry, but which as a practical matter had been inaccessible before computer-graphics technology introduced it » (Mitchell, 2001).



Figure 11. Exemple du musée Guggenheim à Bilbao par Frank O. Gehry. Modélisation sur le logiciel CATIA V5.

²⁰ CATIA : is the CAD/CAM/CAE commercial software suite developed by *Dassault Systemes* and marketed world-wide by IBM (www.Wikipedia.org).

Il faut indiquer toutefois, que Gehry avait procédé en premier lieu à la composition de modèles physiques en trois dimensions, avant d'avoir recours à la modélisation par ordinateur. Cependant, le fait que Gehry soit passé du modèle physique (maquette) à la modélisation 3D, indique que la CAO lui a permis d'avoir une vision dans l'espace de son futur projet implanté dans son environnement bâti, et de procéder à son modelage tout en s'assurant de sa faisabilité. D'une manière progressive et séquentielle, son modèle 3D initial a été modelé jusqu'à arrivé au stade de la modélisation. Il faut préciser que dans l'utilisation des nouveaux logiciels appliqués dans la conception et la modélisation du projet du musée Guggenheim, F. O. Gehry a mis à profit les nouvelles tendances et performances en matière de composition par l'informatique graphique : celle de pouvoir dessiner des formes libres et dynamiques dans les trois dimensions, offrant ainsi beaucoup de liberté à la création de nouvelles formes architecturales de composition. Illustration – figure (11).

Pour aller dans le même ordre d'idées en matière de conception, Tidafi T., rappelle que :

«Cet outil d'aide à la conception n'est pas seulement un moyen de représentation et de communication. C'est d'abord et avant tout un outil de figuration et de modélisation» (Tidafi, 1996).

Nous prenons aussi le cas de l'architecte Peter Eisenman, toujours dans le cadre de cette partie d'analyse sur l'implication des outils de la CAO lors de la conception et les méthodes pratiquées par les architectes avec ces outils. Dans ces deux cas d'exemples, aussi bien dans le premier cité que dans le cas suivant, la réflexion sur la manière de procéder avec les outils de la CAO a un lien direct avec notre étude exploratoire sur la perspective, puisque telle qu'abordée dans les chapitres précédents, la notion de modéliser dans l'espace renvoie à la notion de tridimensionnalité spatiale, et par conséquent à la perspective.

Comme pour le cas de F. O. Gehry, l'architecte Peter Eisenman utilise à la fois les outils de la CAO et les outils traditionnels lors de la conception du projet (maquettes, dessin sur papier) précisément durant son processus d'élaboration de la conception. Durant chaque étape du projet, Eisenman utilise trois types de maquettes : des

maquettes physiques, des maquettes schématiques et des maquettes informatiques. Dans notre recherche, ce qui représente pour nous un premier intérêt d'étude, c'est la phase où Eisenman a recours aux maquettes informatiques (aux modèles 3D). Galofaro L. (1999), explique dans un écrit reporté sur la méthodologie de conception de l'architecte Eisenman, qu'il utilise les modèles 3D pour «*visualiser toutes ses hypothèses formelles*». Les maquettes informatique (ou modèles 3D) constitueraient un avant aperçu et un suivi de l'évolution du bâtiment, pour sa construction. Galofaro L. (1999), déclare qu'avec cette manière il serait possible de gérer le développement du projet par le contrôle de chaque changement en temps réel, et que ceci marque le début de la relation créative entre l'acte de perception -cognitive et l'intervention opérative – figurative. Rappelons que la «figuration» telle que la définit, De Paoli G. (1999), *consiste dans une série de scènes tridimensionnelles qui métaphorisent la réalité constructive et temporelle.*

Toutefois, il est à noter que la créativité du processus de conception dans le cas de la méthode d'Eisenman, ne résulte pas seulement de l'usage unique de la modélisation 3D, mais elle est le résultat du dialogue constant entre les différentes formes de représentations. Ceci n'exclut pas que, selon Galofaro L. (1999), Eisenman voit l'ordinateur comme étant un point de départ qui permet de générer constamment un changement de forme, un usage partiel qui rend possible le développement créatif. Eisenman déclare que, par sa possibilité de simuler la réalité, l'ordinateur a introduit une équivoque fondamentale sur la manière dont nous percevons les choses et sur ce que nous voyons.

« Because it defines reality in terms of media and simulation, it values appearance over existence, what can be seen over what is. The media introduce fundamental ambiguities into how and what we see». (Eisenman P., 1995)

Ces cas d'exemples nous mènent à un premier constat : la modélisation 3D au moyen de la CAO constitue un outil d'exploration lors de la conception d'un projet architectural.

2. 3. 7. Le «Morphage» : Représentation, modélisation et aide visuel au moyen des outils de la CAO :

La représentation et la modélisation de la forme par la technique de «Morphage»²¹ (*Morphing*) présente une autre approche à la conception architecturale. Cette approche est axée sur le modelage de la forme par : *transformation*, produite par un paramétrage de l'enveloppe formelle. La technique pratiquée part de la forme initiale d'un volume ou d'un objet, pour aboutir ensuite à un autre résultat de forme. Nous illustrons ce procédé dans la figure (12).

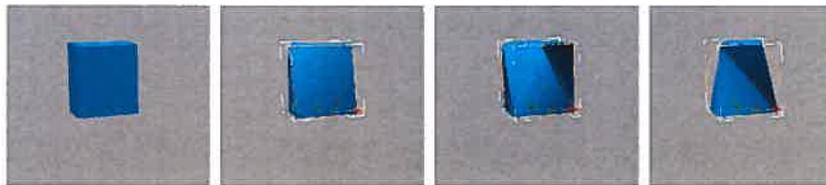


Figure 12. Le Morphage d'un objet résultant une nouvelle configuration de l'objet initial.

La visualisation au vu de ce procédé permet l'emphase visuelle pendant le paramétrage de la forme. Le concepteur pourrait démarrer sa genèse à partir d'une forme qu'il a modélisée au départ, puis une fois cette forme modélisée, une variété d'autres formes pourraient être obtenues au moyen d'une transformation paramétrée. Edelman S. (1999), décrit que le Morphage, en informatique-graphique, est obtenu par une transformation paramétrée issue du changement des coordonnées x , y , z , et du facteur (α) selon la formule suivante : $(\alpha) x + (1-\alpha) y$, $0 < (\alpha) < 1$. Elle aboutit par conséquent à un autre résultat par effet d'une «interpolation linéaire».

« [...] Si on arrange le nombre k n , transcrivant deux formes en deux vecteurs, x et y : toutes les formes qui sont dans ce sens entre $S1$ et $S2$ vont être transcrites par la formule :

$(\alpha) x + (1-\alpha) y$, $0 < \alpha < 1$. [...] Sachant que x et y incluent une dimension dans la structure fournie par cette interpolation linéaire [...]. » (Edelman S., 1999).

²¹ Morphage. (Fr), (*Morphing*): Technique d'animation par ordinateur qui permet de transformer progressivement une image en une autre (*Office Québécois de la langue française, 2006*). Morphage, *Morphing*. (An.): Terme anglo-saxon désignant la «Métamorphose» (transformation) d'une forme ou d'un objet en un autre (*Office Québécois de la langue française, 2006*).

En CAO, le Morphage est employé pour générer des formes ou des volumes complexes à partir de primitives géométriques simples. Nous voyons dans le chapitre suivant que de nombreux programmes à interface graphique (logiciels), offrent une gamme de ces primitives géométriques comme outils de base pour la modélisation d'objet et la composition de la forme. Le concepteur²² en dispose, génère l'objet ou la forme, et visualise son modèle. Nous pouvons prendre compte de cette technique lors de l'application de notre cas d'étude.

2.3.7.1. Paramétrage de formes spatiales distantes :

Dans cette même approche, en référence au paramétrage de formes et d'objets, Edelman (1999) indique que si l'on imaginait une série de points dans l'espace, distant entre eux, on pourrait les inter-relier pour générer une forme, un volume ou un objet. Dans ce cas précis la visualisation avec l'aide des techniques de la CAO, permettrait de simuler un environnement comparable où le concepteur produirait une série de points ou de formes [tels qu'illustrés dans la figure (13) et (14)], disposés à une certaine distance entre eux, qu'il pourrait inter-relier pour créer une forme cohérente. Le concepteur serait stimulé à percevoir une silhouette et reproduire une image qu'il aura pré-visualisée mentalement. Edelman (1999) le définit comme étant le «paramétrage de formes spatiales distantes».

²² Par le terme de, «Concepteur» : Nous voulons indiquer exclusivement l'architecte -concepteur, toutefois, nous utiliserons le terme simplifié de concepteur afin d'alléger notre texte, mais aussi du fait que cette problématique pourrait intéresser le designer, l'aménagiste et même l'urbaniste.

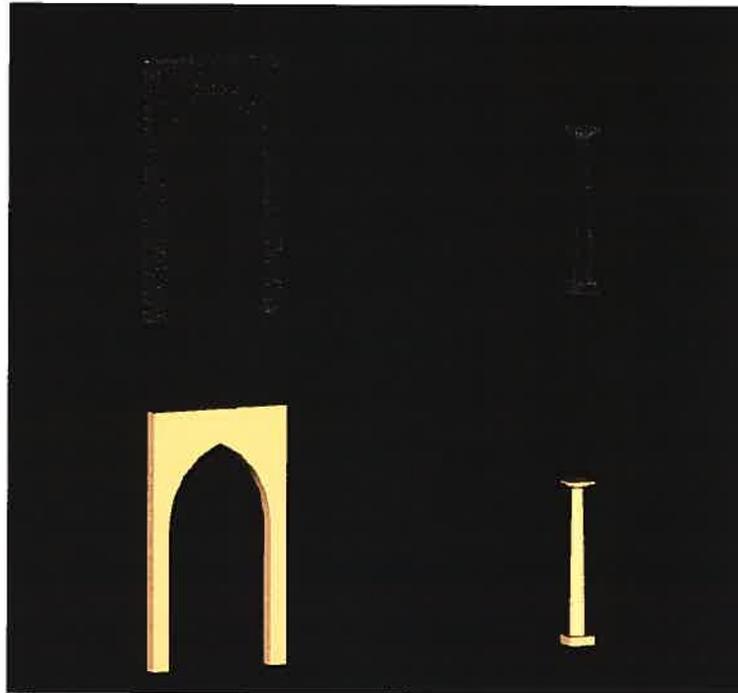


Figure 13. Paramétrage de formes spatiales distantes.

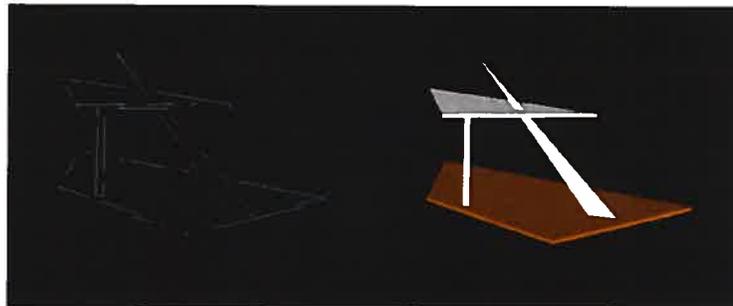


Figure 14. Paramétrage de formes spatiales distantes.

- **Synthèses et discussions :**

L'investigation élaborée en ce chapitre vise à la compréhension des systèmes de représentation et de visualisation en architecture. Dans cette démarche nous avons fait le parcours du cheminement évolutif des techniques de représentation et de visualisation du projet architectural dans sa globalité, et de la conception architecturale dans sa

spécificité. Le changement de pratiques par la disposition de nouveaux outils, a généré de nouvelles réflexions relatives à la manière de concevoir et de représenter un espace architectural. Les médias numériques ont provoqué la révision des méthodes pour la création en architecture. Il est un fait que la visualisation occupe une place de premier ordre en architecture, mais la question qui reste à poser est : y a-t-il un impact d'influence entre la visualisation 3D et la prise de décision du concepteur pendant le développement de la conception architecturale ?

Si à travers la réflexion développée précédemment, il en est ressorti l'utilisation de méthodes, de techniques et de procédés en conception par le biais de la CAO, la visualisation 3D, par contre, comme pratique et support à la conception architecturale reste à explorer. Au dire de certains concepteurs : (Gero J. S., et Bilda Z., 2005), la visualisation demeure uniquement un support de représentation de l'idée, issue de l'image mentale d'un concepteur, [lorsqu'il s'avère expérimenté], et les outils tels qu'offerts par les techniques de la CAO sont alors des moyens de retranscription d'une image déjà préconçue dans le mental du concepteur. La présente recherche s'oriente sur cette question du rôle de la visualisation lors de l'élaboration du processus de la conception.

Chapitre 2. 3. MOYEN DE MODÉLISATION ET DE VISUALISATION SPATIALE :

2. 3. 1. Introduction à la modélisation :

Il a été introduit au cours de notre étude exploratoire que la représentation perspective définissait une représentation d'un espace en trois dimensions sur un plan bidimensionnel et que l'évolution des techniques de représentation au moyen des outils informatiques avait abouti à la modélisation spatiale à travers la CAO. Cette modélisation constitue la représentation volumique d'un objet, d'un modèle ou d'un espace (scène 3D). Tidafi (1996) et De Paoli (1999) définissent la modélisation 3D comme étant un moyen de figuration. Rappelons aussi, que la «figuration» est :

«Le fait de figurer, de représenter (qqch.) - Fait de rendre sensible à la vue par des moyens graphiques, picturaux, plastiques, etc.» (Le Petit Robert, 2005).

Nous savons aussi que la «modélisation» : est une description, dans un langage compréhensible par l'ordinateur : de la forme, du mouvement et des caractéristiques d'un objet ou d'un ensemble d'objets qui crée un modèle (Encyclopédie Universalis, 1998).

Modéliser au moyen des outils informatiques serait donc la représentation perceptible graphiquement d'un objet ou d'un espace conçu ou à concevoir. Et dans ce sens, la modélisation interviendrait dans un premier lieu comme : un moyen de représentation et en deuxième lieu comme moyen de communication. L'élément sous-jacent de cette manière de faire en nous renvoyant à la définition citée au départ, est qu'elle constituerait aussi un moyen de transcription de l'information.

Marquons que l'évolution de la programmation informatique, des techniques de modélisation et des médias graphiques a contribué au développement de différentes manières en modélisation. Dans le cas de notre recherche nous nous orientons sur deux procédés en modélisation 3D : La modélisation déclarative et la modélisation en informatique graphique. Dans ce qui suit nous abordons une étude analytique sur ces deux méthodes afin de nous permettre d'établir la méthode d'application qui serait la plus appropriée à notre d'étude de cas.

Nous étudions, en premier lieu, les techniques de modélisation en informatique graphique à partir de quelques logiciels disponibles sur le marché et par lesquels la modélisation volumique est applicable dans la conception d'une scène architecturale (3D). En effectuant une analyse sur les techniques de modélisation à travers ces quelques logiciels, nous pourrions être mieux éclairés sur la méthode qui serait appropriée à notre cas d'étude.

2. 3. 2. Technique de modélisation en informatique graphique :

Nous effectuons une étude des techniques de modélisation sur quatre (4) logiciels à interface graphique orientée pour la visualisation et la création d'objets et de scènes 3D. Il s'agit des logiciels : 3D Studio Max²³, AutoCAD, FormZ²⁴, et LightWave²⁵. Notre choix a été inspiré par le fait que ces logiciels sont couramment utilisés pour la modélisation dans le domaine professionnel, et donc disponibles sur le marché. Ceci nous permet de noter d'un œil critique les pratiques à travers l'analyse des procédés par ces logiciels. L'intérêt est d'analyser l'approche à la modélisation par l'intermédiaire de ces logiciels pour en déduire le choix du médium qui s'adapterait à nos attentes et assisterait, d'une manière plus adéquate, notre approche méthodologique à notre étude de cas.

2. 3. 2. 1. Le cas du logiciel 3D Studio Max :

L'interface de 3d Studio Max[®] présente des outils de modélisation 3D basée sur des formes géométriques simples prédéfinies, telles que : des cubes ou des sphères à partir

²³ 3D Studio Max: Formerly known as "3D Studio," 3ds max is a 3D modeling, animation and rendering program from the *Discreet* division of Autodesk, Inc., San Rafael, CA Computer Desktop (*Encyclopedia copyright ©1981-2005 by The Computer Language Company Inc*).

²⁴ FormZ, (by AutoDesSys): is a general purpose 3D modeler, which combines surface and solids modeling, and includes drafting and rendering, all in a single integrated package (© *Cad Garage 2005*)

²⁵ LightWave: (or, more properly, LightWave 3D) is a computer graphics program for 3D modeling, rendering, and animation. Although the program originated on the Commodore Amiga, it has since been ported to support Mac OS X, Windows, and the render engine has also been ported to Linux platforms. It was once licensed by and is now entirely developed by NewTek (www.Wikipedia.org).

des quelles le concepteur pourrait créer sa scène 3D. « Il existe dans 3Ds Max 23 objets prédéfinis, que l'on appelle primitives. Ce sont des objets 3D possédant des formes simples et courantes. Ils sont paramétrables à souhait, selon leurs propriétés respectives »²⁶. Le concepteur procède par une manière similaire à celle d'un sculpteur : approximativement à l'aide de la souris ou précisément par paramétrage et en saisissant les données au clavier (largeur, profondeur, hauteur), l'objet prend forme.

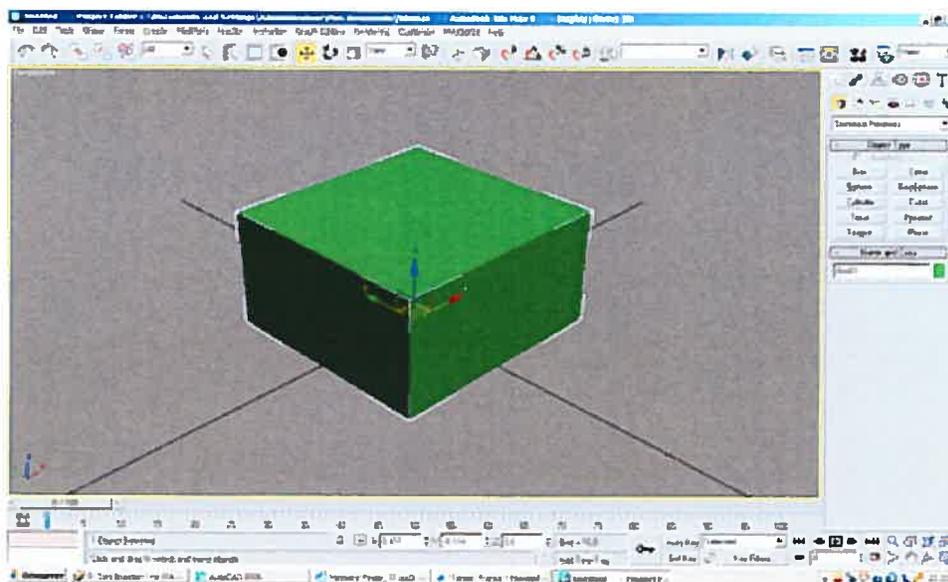


Figure 15. Interface graphique du logiciel 3D Studio Max[®] v. 9.0

La création d'objet géométrique est structurée par sept (7) types de géométries définis comme suit :

1. Les primitives²⁷ standards : Incluant cubes, sphères, cylindres, cônes, pyramide,
2. Les primitives étendues : constituées de groupes d'objets simples couramment utilisés en 3D. Ces groupes sont paramétrables et sont créés de la même manière que les primitives standard.
3. Les objets composés : sont des objets créés à partir de plusieurs objets, ils sont définis en dix (10) types d'objets composés, leur mode de composition se fait à l'issue d'un panneau de commande préétabli. Le procédé permet de créer des formes en

²⁶ Dans : La modélisation, 3ds Max 7 et 7.5

²⁷ Une primitive : est un objet en phase de création (LightWave 7.5© 2002).

opérant une série de commandes telles que «connecter», «maillage liquide», «conforme», «fusion de forme» ou des «opérations booléennes», «extrusion» et «maillage».

4. Le systèmes de particules : ce système d'objets permet de créer un grand nombre de petits objets animés aléatoirement ayant une durée de vie limitée.

5. Les Patch Grids : comprennent des *grilles surfaciques utilisables pour créer des formes semblables aux sols ou pour la modélisation d'objets plus complexes*²⁸.

6. Les NURBS ²⁹ : se sont des surfaces modifiables à l'aide d'enveloppes virtuelles. Le concepteur opère à des changements par le déplacement des points qui enveloppent la surface de l'objet surfacique.

7. Les AEC étendues (AEC Extended) : se sont des objets de décors constituant des objets-types destinés à l'usage architectural.

3d Studio Max[®] Présente ainsi un environnement favorable à la composition de scènes 3D. La modélisation est construite à partir de primitives géométriques prédéfinies, dites : objets, et l'interface utilisateur permet la visualisation du modèle créé d'une façon simultanée et interactive, ce qui confère au concepteur la possibilité d'évaluer visuellement le modèle qu'il a généré.

Nous notons aussi, que 3d Studio Max[®] possède une partie script : 3ds maxscript, dans laquelle il est possible de programmer des fonctions pour générer une modélisation. Toutefois, dans le cas de l'étude notre but vise l'analyse de l'interface graphique du logiciel.

2. 3. 2. 2. Le cas du logiciel AutoCAD :

Voyons le cas d'AutoCAD[®]. L'interface graphique présente deux entités d'objets pour la modélisation de scènes 3D. Les deux groupes d'entités comprennent : les objets surfaciques composés d'objets évidés et structurées de surfaces 2D, et les objets solides (objets volumiques). Les objets surfaciques peuvent être modélisés en tant qu'objets

²⁸ NURBS : Non Uniform Rational B-Splines.

²⁹ Dans : *AutoCAD 2000*, p745, une introduction à l'environnement 3D.

surfaiques 3D ou générés à partir de figures bidimensionnelles par «extrusion» ou «révolution» autour d'un axe en définissant une profondeur à ces figures. Cette technique se réfère à la technique de représentation traditionnelle de la troisième dimension. Le système de modélisation repose sur la définition d'un système de coordonnées utilisateur permettant de modifier l'emplacement du point d'origine de coordonnées (0.0.0), (x.y.z), ainsi que l'orientation du plan XY et de l'axe Z. Ceci permettant de s'établir sur différents plans et de procéder à la modélisation de l'objet. L'outil offre la possibilité de modéliser simultanément sur plusieurs fenêtres en espace objet, ce qui facilite considérablement le travail en 3D ³⁰. Le concepteur dispose de fenêtres pouvant être affichées en mosaïque, orientées selon différentes vues, que le concepteur choisit pour une visualisation interactive de son modèle.

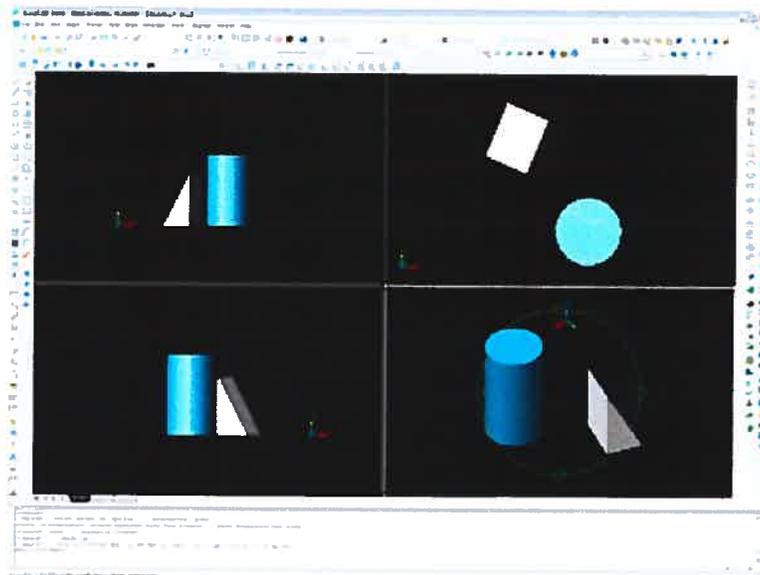


Figure16. Interface graphique du logiciel AutoCAD® 2006

AutoCAD permet, à l'aide de commande telle que : «3D orbite», la manipulation du modèle 3D d'une manière interactive. Visuellement, cette commande permet de changer la position et l'orientation du modèle selon différentes vues, opérant ainsi une interactivité simultanée sur la modélisation 3D. Autre fonction pour la modélisation du modèle 3D : la commande «VUE DYN» (vue dynamique) qui rend possible la visualisation du modèle à partir d'une projection en perspective. Nous notons que le

³⁰ Dans : *AutoCAD 2000*, 2002.

logiciel offre plusieurs accessibilités pour la visualisation en 3D de l'objet-modèle³¹ généré par un concepteur. Ce paramètre est notamment à considérer, car ceci rejoint nos préoccupations de recherche : l'interactivité entre la représentation et la visualisation de l'objet-modèle généré.

2. 3. 2. 3. Le cas du logiciel Form Z :

Dans Form Z[®] l'environnement de modélisation permet au concepteur de générer des modèles 3D à partir de figures géométriques bidimensionnelles ou sur la base d'objets 3D prédéfinis. Son interface expose un affichage en vue axonométrique préréglée en un angle de 30°x60°. Nous signalons qu'en terme de visualisation spatiale, la configuration de l'interface aurait fait l'objet de plusieurs questionnements de la part de ses concepteurs. Pour Yessios C., un de ses principaux concepteurs, une vue en perspective produit un meilleur affichage car elle permet aux utilisateurs de se sentir plus libres dans cet espace virtuel, «*Perspective makes it too easy for the user to get lost in space* » (Yessios C., 2001).

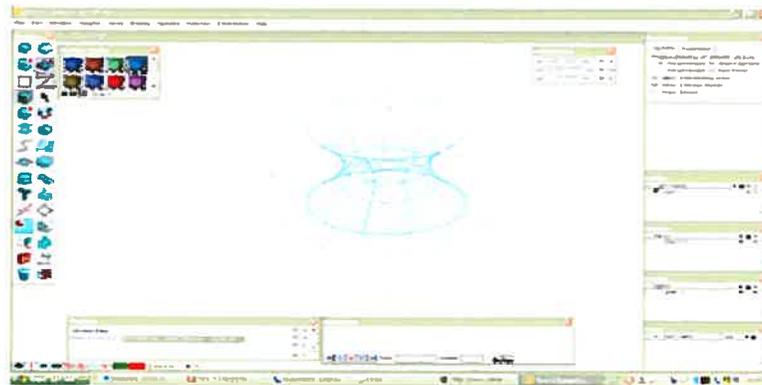


Figure 17. Interface graphique du logiciel FormZ.

Pour ce qui a trait à la modélisation d'objets, elle peut être effectuée par trois méthodes:

³¹ Nous parlons d'objet-modèle: du fait que de la combinaison d'un paramétrage et d'une série d'opérations, réalisées sur un même objet, peut résulter une forme unique ou identique à celle d'un autre objet. Nous en déduisons donc que, pour le concepteur, chaque objet peut générer une maquette ou un modèle.

- Pour la première, il est indiqué qu'au moyen de primitives géométriques le concepteur peut générer son objet –modèle. Et pour ce faire il dispose d'un menu incluant des objets prédéfinis pour la modélisation.
- La deuxième méthode considère que l'objet peut être généré directement par le recours à la combinaison de deux outils : un *modificateur* et un *opérateur*. Le «modificateur» indique au programme quel est le type d'objet qui pourrait être généré tandis que «l'opérateur» est l'outil de dessin qui détermine la forme de l'objet.
- La troisième méthode soutient qu'un objet peut dériver d'un autre objet ou seulement d'une partie de ce dernier. Il peut être le résultat d'une métamorphose opérée sur l'objet initial. Nous rappelons que nous avons fait une brève description d'une méthode dans le chapitre précédant, en nous référant au *Morphage*. Ceci dit, il est à indiquer que la plupart des outils de modélisation dans FormZ[®] sont orientés dans ce sens.

2. 3. 2. 4. Le cas du logiciel LightWave :

Sur LightWave[®] la modélisation se fait à l'aide de formes géométriques nommées : primitives, définies en des formes élémentaires telles que : les cubes, les sphères, les anneaux, les cônes, etc. ce sont des objets dont les dimensions n'ont pas été *définitivement fixées*. *Une primitive est reconnaissable aux repères qui l'entourent. Ils indiquent sa taille dans les trois dimensions et disparaissent une fois qu'elle a été validée*³². À ce moment précis elle devient un objet manipulable, définie par l'ensemble des éléments de base suivants : Sommet, Arrête, Face, Polygone. À la transformation ou au paramétrage de ses éléments de base, la primitive prend forme et génère en résultat un objet. Partant de ce principe : toute primitive simple peut être transformée en une autre primitive simple ou complexe, générant ainsi des objets de mêmes types ou de topologies différentes. Il est défini dans le lexique de LightWave[®] qu'il y découle deux topologies : les objets pleins et les objets troués. Bien qu'il soit envisageable que les objets troués puissent résulter d'objets pleins en passant par des opérations de découpage ou des opérations booléennes.

³² Dans: LightWave 7.5[®] 2002.

À part les primitives simples, nous retrouvons aussi un autre type de primitive : les NURBS. Une variante de courbes de Bézier³³ utilisées pour la modélisation d'objets galbés. À l'aide de points de contrôle, représentant les intersections des différentes courbes de Bézier composant la surface des NURBS, la déformation de ces primitives est ainsi possible. Dans LightWave®, le procédé de création ou de déformation d'une primitive s'exécute de deux manières :

- Une manière interactive : l'objet est tracé à la souris, directement dans les vues d'édition. Cette manière de faire est rapide mais présente des lacunes au niveau de la précision des résultats obtenus. Cependant, l'objet pourrait être créé et paramétré par la suite.
- Une manière paramétrée : l'objet est créé ou modifié en entrant des valeurs à l'aide d'une boîte de dialogue. La méthode est moins intuitive que la méthode interactive, cependant, elle est d'une absolue précision et permet de générer des objets à partir de formules mathématiques.

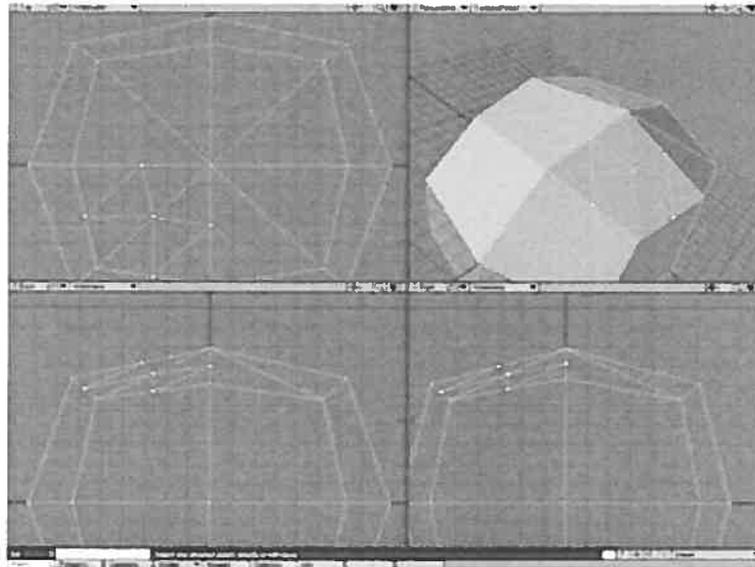


Figure 18. Interface du logiciel LightWave® 3D v 8.0

³³ Courbes de Bézier : du nom de Pierre Bézier, ingénieur à la régie Renault. Elle sont définies par deux points d'extrémités et des poignées de contrôle qui agissent sur des vecteurs appelés tangentes. Ils déforment la courbe à l'entrée et à la sortie du point tangent. LightWave 7.5®, p11, 2002.

En modélisant, à l'aide de l'une ou l'autre des deux techniques, le concepteur génère l'objet –modèle créant une scène 3D orientée selon différentes vues. Ces vues sont liées à des configurations prédéfinies dans LightWave[®]. Leurs éditions sont menées selon deux modes : Vues orthogonales, dépourvues de perspectives, et vues en perspective. Pour le premier : l'axe optique des caméras est parallèle aux axes positifs et négatifs de l'univers. Les vues montrent l'objet modèle selon ses différentes faces : dessus, dessous, de droite, de gauche, de face ou arrière. La description de cet environnement nous permet d'analyser l'espace visuel dans lequel le concepteur se trouve rapproché. Dans ce cas la visualisation de l'objet est limitée uniquement à des vues latérales. Il n'est pas possible de faire orbiter une caméra, qui rappelons-le : décrit le champ visuel dans lequel l'objet –modèle apparaît.

Le deuxième mode montre un environnement plus mobile par le fait que le concepteur peut faire orbiter la caméra autour de l'objet –modèle sous n'importe quel angle visuel. Les options de visibilité peuvent être paramétrées, par la suite, à l'aide de menu d'affichage pour en déduire l'orientation favorite désignée par l'utilisateur. Dans le cas de notre étude, désignée par le concepteur.

Nous poursuivons l'étude analytique sur les méthodes de modélisation en abordant dans ce qui suit la description de la modélisation déclarative.

2. 3. 3. La modélisation déclarative :

Nous tenons à indiquer que nous aurons recours au terme de : « modélisation » pour indiquer un 'moyen' de conception dont pourrait avoir recours le concepteur. Nous discernons bien dans cette idée que concevoir n'est pas modéliser. Nous notons toutefois, que modéliser est une action de figuration (Tidafi, 1996) et que concevoir dans un espace tridimensionnel, par les outils de la CAO mène à modéliser. Nous aurons à voir dans les chapitres suivants cette implication plus en détail. Il est donc pour nous, une condition que nous serions amenés à ne pas considérer puisque nous portons notre champ d'investigation sur un espace tridimensionnel virtuel et que la visualisation et la représentation dans cet espace, sont les sujets de notre préoccupation.

Dans ce qui suit, nous voyons la définition de la méthode de modélisation déclarative :

Elle repose sur une transcription de l'information par un langage texte sous forme de code et d'une interprétation du texte par l'ordinateur pour l'affichage graphique du résultat. El-Khoury, décrit : le langage symbolique, [...], en informatique, est un langage de programmation permettant de donner des instructions à un ordinateur, sous forme d'un code (El-Khoury, 2004). Nous comprendrons que dans ce cas, appliqué au processus de conception, ce langage symbolique serait : la description, qui au départ, est stockée comme idée dans le mental du concepteur, calculée puis traduite graphiquement par l'ordinateur : représentant le résultat solution. Visuellement une telle technique de modélisation permettrait au concepteur de suivre d'une façon progressive et évolutive les différentes phases de son processus de conception, en lui permettant de retracer les séquences de sa modélisation. Tidafi (1997) expliquait qu'un tel langage, est le langage le plus approprié pour la modélisation d'action. Moigne (1992), Iordanova (2000), notent que la modélisation d'action admettrait des opérations inter-reliées les unes aux autres, et que leur fonctionnement pouvait constituer le caractère complexe du modèle. La partie qui nous intéresse dans cette approche est que ce principe de modélisation d'action pourrait constituer une aide à la communication pendant la conception architecturale. On peut citer dans ce sens, l'exemple de Tidafi (1996), qui proposait un modèle, construit, en prenant comme base la définition d'actions, qui est capable de produire des figurations, dans ce cas précis : des maquettes digitales pouvant répondre aux finalités différentes des acteurs. De cette manière, les intervenants dans ce processus peuvent agir et réserver leurs finalités ou les unités de connaissances qui génèrent le modèle, sans devoir redéfinir le modèle, lui-même (Iordanova, 2000). Dans cette même optique, la communication durant l'élaboration de la conception architecturale pourra servir à aider et à faciliter la réalisation du raisonnement difficilement réalisable pendant la construction d'un objet architectural.

Lors de la conception architecturale, la solution peut être modifiée plusieurs fois en tenant compte de résultats virtuels, c'est-à-dire : de figuration du modèle révisé. [...] Un modèle est à la fois résultat et moyen durant la phase de conception (Iordanova, 2000).

Par ailleurs, pour l'architecte : pouvoir visualiser signifie, voir, analyser et interpréter des images ou des modèles «maquettes» qu'il perçoit ou qu'il conçoit. Percevoir et concevoir forment deux éléments de savoir interrelationnel dans le processus de conception. Bellagio et ? (2001) affirment et déclarent que :

[...] The central importance in designing is the interplay between two types of knowledge, conceptual knowledge and perceptually based knowledge. Visual and spatial reasoning are the cognitive and/ or computational processes that link these two types of knowledge [...]. (Bellagio et ?, 2001)

Par la modélisation déclarative, il est possible aussi de recourir à une prise de connaissance rapide des solutions proposées puis faire le choix d'une ou de plusieurs d'entre-elles pour continuer la boucle de « conception/conception ». On peut donc procéder à un choix automatique d'un point de vue et possibilité d'explorer visuellement un grand nombre de solutions potentielles.

Ce bref tour d'horizon de la modélisation déclarative nous montre l'importance du langage et de la modélisation conceptuelle pour passer du concept à l'objet (ou la forme). Cependant, nous devons noter qu'à l'heure d'aujourd'hui, la plupart des exemples traités avec cette approche correspondent à une exploration combinatoire et qu'il existe peu d'expérience dans la conception d'objets complexes (Maculet R. et Daniel M., 2003).

2. 3. 3. 1. Le cas du logiciel POV-Ray :

POV-Ray ³⁴ (the Persistence of Vision Ray-Tracer) permet de créer des images de synthèses par la technique du «lancer de rayons»³⁵. Le logiciel utilise la technique d'interprétation nommée le Ray-Tracing pour créer des scènes en trois dimensions et des images photo-réalistes. Il lit un fichier texte contenant de l'information décrivant des scènes et des objets pour produire une image selon un point de vue décrit aussi dans le

³⁴ POV-Ray : est un logiciel gratuit.

³⁵ Lancer de rayons : Ray-tracing (anglais).

fichier texte. Chaque point de vue permet de réaliser donc une vue perspective, l'image 3D de la scène et de l'objet réalisé.

Le *Ray-tracing* est une technique générale qui correspond à la géométrie d'optique de modelage d'un chemin de lumière réalisé suivant des rayons tels qu'ils réagissent par des effets réciproques sur des surfaces optiques. Le terme est appliqué pour signifier aussi une interprétation spécifique d'une approche algorithmique en infographies (3D) où les scènes visuelles mathématiquement modelées sont produites utilisant une technique qui suit des rayons d'un point de vue extérieur au lieu de provenir de sources de lumières.

Dans ce logiciel, l'image est générée par la lecture des informations décrivant les objets et les lumières dans une scène indiquée par un point d'observation d'une caméra. Contrairement à la plupart des logiciels de synthèse, couramment utilisés en modélisation, Pov-Ray ne dispose pas d'interface graphique. L'utilisateur a recours à des scripts de description pour générer des scènes 3D. En recourant à cette modélisation déclarative, l'utilisateur peut générer des objets et des formes sur lesquels il peut réaliser des opérations booléennes, opérer des changements, ajouter des éléments d'une manière interactive. Il peut garder la trace et réutiliser les objets-modèles créés. Les outils de communication traditionnels permettent difficilement de garder les traces du processus de conception. Ce qui reste d'un projet d'architecture, dans la plupart des cas, est une représentation visuelle du résultat final (Iordonova, 2000). Au moyen du procédé de modélisation sur POV-Ray, il serait possible de créer des phases –séquences lors de la modélisation et de revenir aux actions élaborées puisque dans ce médium il est possible de garder sémantiquement, sous forme de procédures, les objets modèles composés et d'en visualiser chaque action opérée durant le processus de conception. Ceci rejoint nos attentes et nos objectifs de recherche. Dans cet environnement, le concepteur peut développer son modèle, l'évaluer visuellement et le modifier en conséquence.

- **Synthèses et discussions :**

Parmi les logiciels à interface graphique étudiés, POV-Ray semble répondre aux premières attentes de nos objectifs en terme de conception. Nous avons étudié un éventail de techniques et de logiciels en CAO, visant à la figuration et à la communication architecturale, ce qui nous a permis de cerner notre outil pour la mise en épreuve. Et pour ce, nous allons détailler conséquemment notre démarche.

Partie 3 : APPLICATION DE LA MÉTHODE

Chapitre 3. 1. ORIENTATIONS ET APPLICATION DANS NOTRE CAS D'ÉTUDE :

3. 1. 1. La démarche de recherche :

Dans le cadre de notre recherche, notre première démarche consistait à mener le débat sur les aspects théoriques et pratiques de la DAO et de la CAO, en partant de l'outil informatique et en développant nos analyses et nos investigations sur ses missions en tant qu'assistant dès le début de la conception architecturale, et ceci en prenant en considération les moyens informatiques utilisés depuis leur création à nos jours, leur évolution et leur performances.

En deuxième temps, nous avons choisi un cas d'étude comme support d'analyse pour valider nos investigations et pour tester aussi notre hypothèse de recherche sur la base d'une application menée en conception architecturale. Pour cela, nous avons donc pris comme exemple un projet de Le Corbusier : la cité Frugès, à Pessac, pour lequel nous élaborons une recomposition architecturale, d'une unité d'habitation, en prenant comme critères de départ les concepts établis par l'architecte lui-même, dans sa définition du parti architectural et sa création des espaces architecturaux du projet en question.

Nous précisons que les unités d'habitations de ce projet ont été au centre de plusieurs critiques et ce, principalement du point de vue qualitatif. Dans notre étude, il sera question de recomposer une unité d'habitation en reconsidérant cet aspect. Nous savons que recomposer n'est pas concevoir, toutefois, nous indiquons que dans cette étude une telle démarche : procéder à une recomposition architecturale, implique l'élaboration d'un programme quantitatif et qualitatif par lequel nous pouvons mesurer nos résultats, ceci nous amène à déterminer comment et en quoi notre étude nous permet de tester notre hypothèse. Dans ce sens, notre démarche s'appuiera sur les éléments suivants :

1. À partir des concepts de l'architecte, nous allons procéder à une recomposition architecturale d'une unité d'habitation du projet de Le Corbusier et procéder à une

série de simulations de scénarios en modélisation. Les actions et modifications apportées à cet édifice, sous l'influence du facteur « visualisation », constitueront notre préoccupation première.

2. Pour cette simulation de situation nous allons tester la recomposition architecturale du projet initial, en prenant toutefois uniquement les critères programmatiques et conceptuels utilisés par l'architecte –concepteur comme savoir-faire de départ.
3. Notre choix pour cet édifice s'appuie sur plusieurs points, que nous exposons ci-dessous :

- D'abord par le fait que les œuvres architecturales³⁶, conçues par Le Corbusier, avaient donné naissance à une nouvelle tendance aussi bien au niveau architectural qu'au niveau des techniques de visualisation des projets, tels que nous les mentionnons dans notre étude. Les édifices de Le Corbusier figurent parmi les premières œuvres architecturales où la visualisation 3D apparaissait comme un outil pour la mise en évidence du projet, après –résultat, par le recours à la représentation axonométrique.
- Le concepteur de cet édifice, Le Corbusier, avait seulement recours à un médium bi –dimensionnel : l'espace papier (dessins en perspective), ou à des compositions volumiques à partir de modèles physiques «maquettes», pour visualiser le développement de son projet durant le processus de conception, mais qui ne permettaient pas d'opérer des modifications d'une manière interactive pour apprécier l'évaluation avant résultat de l'approche conceptuelle d'une façon quasi simultanée. Dans notre approche, nous procéderons à la recomposition de l'édifice avec l'aide d'un médium 3D opérant par les techniques CAO, puis nous évaluerons l'implication de la visualisation 3D pendant la composition architecturale.

³⁶ Œuvres architecturales ; projets d'architecture de Le Corbusier, célèbre par ses œuvres, ses concepts et ses principes de composition architecturale.

- Cette œuvre architecturale avait soulevé des critiques par rapport à l'aspect qualitatif des espaces. Par une recomposition, nous tenterons d'apporter une réponse à cette exigence.
4. Nous allons énumérer les exigences conceptuelles, spatiales, programmatiques, morphologiques (formes) prises par l'architecte- concepteur.
 5. Lors de cette expérience, nous écartons la sensibilité culturelle et psychologique du concepteur (Le Corbusier) et sur ces éléments, nous nous référons à notre délimitation de recherche sur le sujet évoqué.
 6. Nous procéderons à la modélisation en fonction du savoir faire, tel que nous l'avons précisé au départ de notre étude. Pour cela, nous avons précédemment choisi un médium et un type de modélisation.
 7. Nous aborderons la visualisation d'actions- résultat ³⁷ : changements de formes, rajouts d'éléments, retrait, introduction d'objets architectoniques. Génération de scénarios- figurations. C'est le moment adéquat pour une prise de décision avec l'aide visuelle par simulations de situations. Les actions avant résultats seront guidées à la base par les contraintes formelles, architectoniques ou visuelles auxquelles l'architecte- concepteur (Le Corbusier) a été confronté, lors de sa composition architecturale, pour aboutir à de nouveaux résultats.
 8. Nous établirons l'évaluation et l'interprétation de la forme et des scénarios 3D ³⁸ générés en fonction des critères établis au départ.
 9. Nous vérifierons la conformité des actions –résultats.

³⁷ Par Action- résultat : nous voulons indiquer la série d'opérations menant à un résultat à considérer.

³⁸ Scénarios (3D) : dans le domaine informatique (en intelligence artificielle), un scénario est défini comme étant une Technique de représentation des connaissances sous la forme de situations préétablies (Office Québécois de la langue française, 2001). Dans notre cas, nous pouvons définir qu'en résultat un scénario 3D constituerait une maquette numérique 3D (ou un modèle 3D).

10. Enfin, nous déterminerons l'implication de la visualisation 3D suite au résultat obtenu à chaque scénario 3D modélisé.

Une fois ces étapes terminées, nous pouvons constater que, la visualisation 3D de chaque simulation aurait permis de visualiser le résultat des actions élaborées et d'orienter progressivement les choix à entreprendre. Ce qui aurait permis de guider les décisions prises lors de la composition architecturale pour répondre à des exigences spatiales et qualitatives appropriées.

3. 1. 2. Les cinq principes de Le Corbusier en conception architecturale :

Le Corbusier, avait fondé cinq principes pour ses compositions architecturales. Leur issue finale devait affirmer et représenter ces critères inéluctables sur lesquels tout le développement du processus de conception était basé. La forme devait joindre en aboutissement ces principes qui sont représentés par : Les pilotis (1), le toit –terrasse (2), le plan libre (3), la façade libre (4) et la fenêtre en longueur (5). (Voir figure 19). Le Corbusier, défendait donc en ce sens un premier ensemble de typologie sur lequel il bâtissait ses modèles. Dans le modèle informatique que nous développerons, au chapitre suivant, nous identifierons ces concepts comme critères de base à notre modélisation. Nous pouvons reconnaître en ces principes, une typologie particulière sur laquelle le concepteur s’est basé. Jordanova (2000), indique que les concepteurs utilisent un pattern formel sur lequel ils établissent leur propre typologie pour la figuration spatiale. Ainsi, un ensemble d’objets –types en modélisation pourraient définir et renvoyer à un savoir-faire qui serait utilisé pendant le développement du processus de conception.

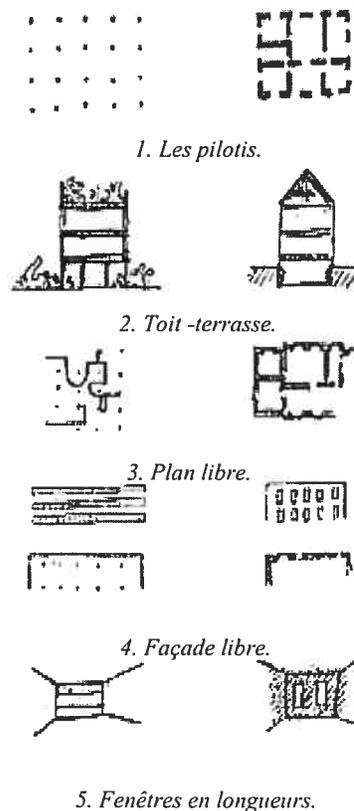


Figure 19. Les cinq concepts de Le Corbusier.

Nous considérerons donc cette typologie, comme étant déjà établie par le concepteur lui-même comme critère de départ dans la composition de la forme et durant le processus de conception. On en prendra compte pour nous guider dans notre propre approche. La typologie développée en tant que telle, apparaît comme une expression d'éléments types générant une typologie particulière conçue pour la figuration architecturale. Dans cette particularité, la typologie se conformera aux lois de composition, du savoir-faire, de l'art de bâtir, des normes de fonctionnement, et des normes du design [...]. (Iordanova 2000). En somme, nous indiquerons que le modèle informatique proposé sera défini sur la base de règles précises pour sa génération.

3. 1. 2. 1. Description des cinq concepts de Le Corbusier dans la composition architecturale :

Les cinq principes de Le Corbusier constituaient pour lui les éléments de base pour ses compositions architecturales. Néanmoins, pour nombreux de ses projets, la variation de la forme pouvait découler d'un système de modulation permettant la mise en place de trames et de modules pour l'organisation et la configuration spatiale. La visualisation en 3D de ses modules, au moyen de représentations axonométriques opérées par le concepteur, intervenait pour la configuration de l'espace et de la forme. Nous allons voir qu'un tel procédé a été mis en place par l'architecte dans le cas des unités d'habitations de Frugès à Pessac. Une série de modulations lui avait permis de générer ses volumes. Rappelons que cette méthode de conception a été choisie par le concepteur et que nous avons opté pour un tel projet comme exemple ayant fait l'objet de critique pour ses déficiences en conception et pour lesquelles nous corroborons une application similaire par l'introduction des technologies numériques.

Nous revoyons les principes de Le Corbusier retracés par Boesiger (1992). Celui-ci avait décrit par les schémas, indiqués dans la figure (20), quelques principales configurations de formes architecturales reflétant les cinq principes de Le Corbusier. Les schémas indiqués représentent une série de projets que Le Corbusier avait réalisés.

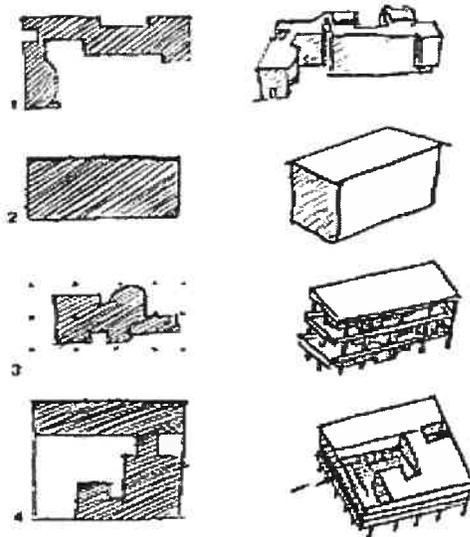


Figure 20. Illustrations de quelques configurations référant aux cinq principes de Le Corbusier.

La classification des éventuelles configurations de formes architecturales, s'appuyant sur l'analyse des projets réalisés par Le Corbusier, nous permet, dans notre recherche, d'identifier graphiquement (visuellement) les typologies sur lesquelles nous pouvons nous baser pour appliquer la figuration de notre modèle informatique.

3. 1. 2. 2. Transcription des cinq principes de Le Corbusier en modélisation déclarative :

Asojo A-O. (2001) a exploré, au moyen de la programmation fonctionnelle, un calcul procédural pouvant générer des modèles, en conception architecturale, sur la base de la transcription des principes architectoniques de Le Corbusier. Les modèles ont été générés sur la base de procédures transcrites sur l'AutoLISP ³⁹. Ainsi les procédures engloberaient une série de vocabulaire indiquant une liste d'objets –types, tels que : les pilotis, les dalles et les trames structurales, pour lesquels le programme devait interpréter et combiner en se rapportant aux cinq principes de Le Corbusier, comme conditions initiales, pour générer différents modèles.

³⁹ AutoLISP : est un langage de programmation ; un dialecte du LISP inclus dans le logiciel AutoCAD afin de permettre aux usagers d'ajouter des fonctionnalités aux logiciels : tels que des menus ou des procédures.

La variation volumétrique des modèles est obtenue en opérant une série de transformations impliquant soit un changement dans les distances entre les différents objets –types, soit un repositionnement de chaque élément engendrant la composition d'un nouveau modèle (voir figure 21). Toutefois, même dans une telle approche méthodologique, le concepteur reste à même au contrôle et au choix des différentes possibilités que lui calcule le programme. Les transformations engagées par le calcul du programme reste tributaire des axiomes choisis par le concepteur. Ceci rejoint la synthèse indiquée par Asojo (2001) : le calcul informatique opéré par le programme, pour les différentes configurations, génère des modèles informatiques similaires à la typologie architecturale de Le Corbusier. Cependant, les transformations déduisant le choix des modèles restent conduites par le jugement et l'appréciation visuelle encourageant ainsi la coopération entre le pouvoir du calcul informatique et l'imagination humaine.

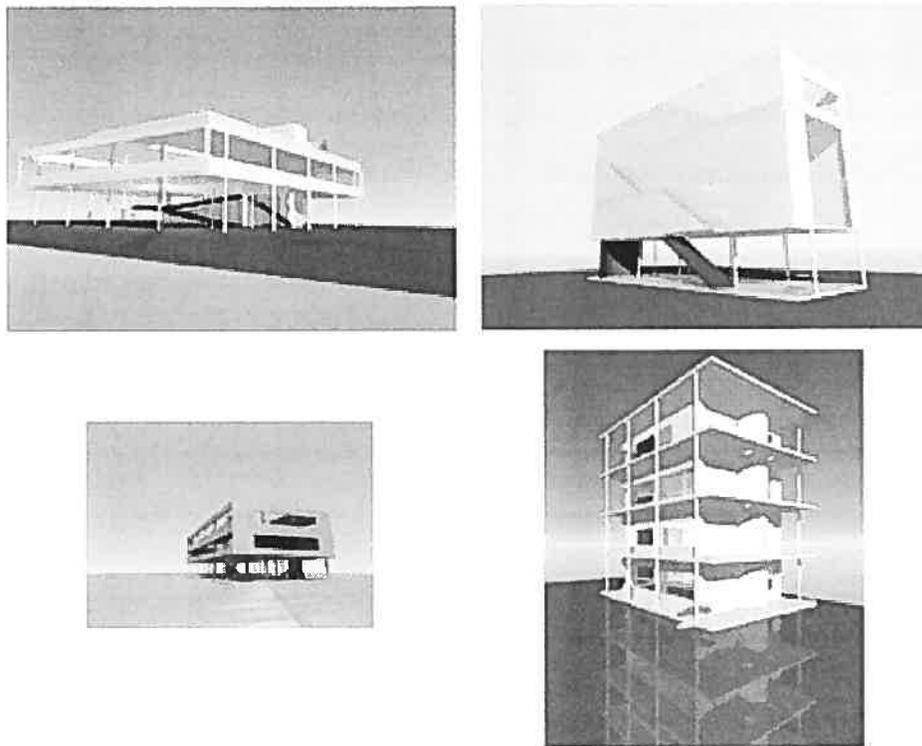


Figure 21. Modèles informatiques générés aléatoirement par programmation sur AutoLISP. Sur la base des cinq principes de Le Corbusier. Une approche méthodologique à la conception proposée par Asojo A-O. (2001).

3. 1. 3. Cas des unités d'habitation de Frugès, à Pessac, de Le Corbusier :

Nous présentons, dans ce qui suit, le projet de Le Corbusier qui nous sert d'étude de cas. Ceci nous permet de tester la méthode de modélisation par la mise en place de modèles informatiques, tels que présentés au début de ce chapitre. Le projet de la cité d'habitation de Frugès à Pessac, de Le Corbusier, fera l'objet de cette étude. L'application portera sur une unité d'habitation, pour l'étude des différents scénarios en modélisation. Au départ le modèle informatique conçu consiste en une recomposition architecturale du projet initial. Il sera ensuite mis à l'épreuve par la prise en compte des variables s'y référant. Nous identifions ces variables dans les points suivants.



Figure 22. Unité d'habitation de la cité ouvrière de Le Corbusier à Pessac (1925-1926)

3. 1. 3. 1. L'impact environnemental et la qualité spatiale des habitations :

Il est nécessaire de relier l'impact environnemental sur ces unités d'habitations et sur les raisons qui, après la réalisation du projet, ont amené les usagers des différentes unités d'habitations à procéder à des changements importants en modifiant les plans et l'aspect extérieur des maisons. Pourtant, Le Corbusier avait clairement pensé ses habitations mais vraisemblablement les gens trouvaient les fenêtres trop grandes et les espaces trop libres (Boudon Ph., 1977). L'étude à travers la recomposition architecturale permettra d'intégrer les changements apportés aux bâtiments à travers la visualisation 3D des variables, pour mieux comprendre le passage de la conception à la réalité.

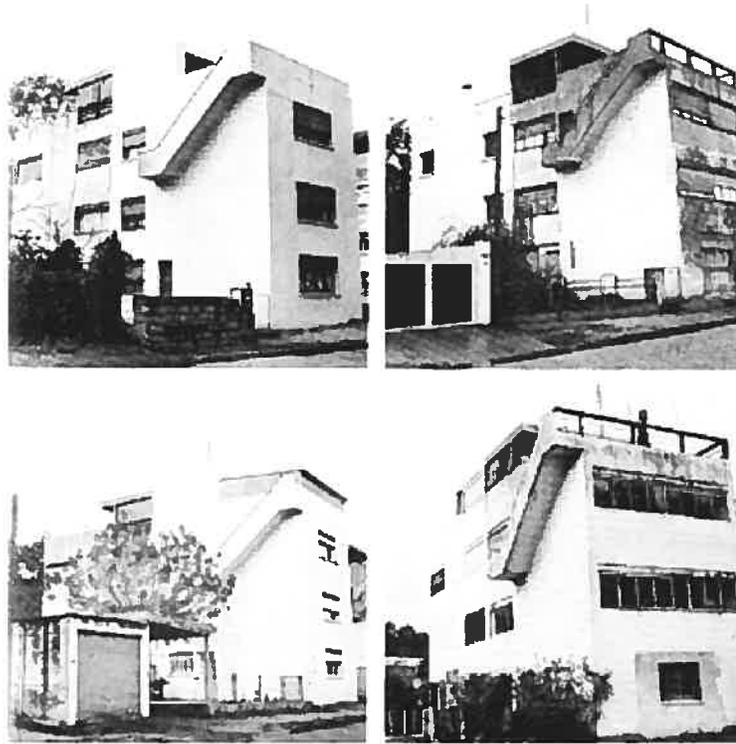


Figure 23. Les changements réalisés par les usagers sur l'aspect extérieur des habitations. (Unités d'habitations de Le Corbusier, à Pessac)

En Aquitaine, région de France, le climat est pluvieux, mais en été le soleil est fort présent. Le Corbusier a imaginé des orientations alternées qui répondaient astucieusement au besoin d'intimité entre maisons mitoyennes mais faisaient fi du

climat. Il n'a pas cherché à protéger les murs ou les fenêtres des intempéries : les matériaux utilisés étaient sensés résister à tout. Et il a réalisé des terrasses non couvertes inutilisables une grande partie de l'année (Boudon Ph., 1997). La prise en compte de ce paramètre constitue notre première variable.

3. 1. 3. 2. La relation entre conception spatiale et qualité de l'espace :

Indépendamment de ses cinq principes architecturaux, Le Corbusier avait mis en place, pour ce projet, un système de modulation par volume des différents blocs de la cité d'habitation. Il aurait composé les habitations en cellules produisant un ratio liant éléments architectoniques et unité architecturale. La longueur des fenêtres est subdivisée en un ensemble de dimensions et de rapports : 1, 1/2, 1/4. Et l'unité d'habitation est elle-même composée de plusieurs cellules (Voir figure 24).

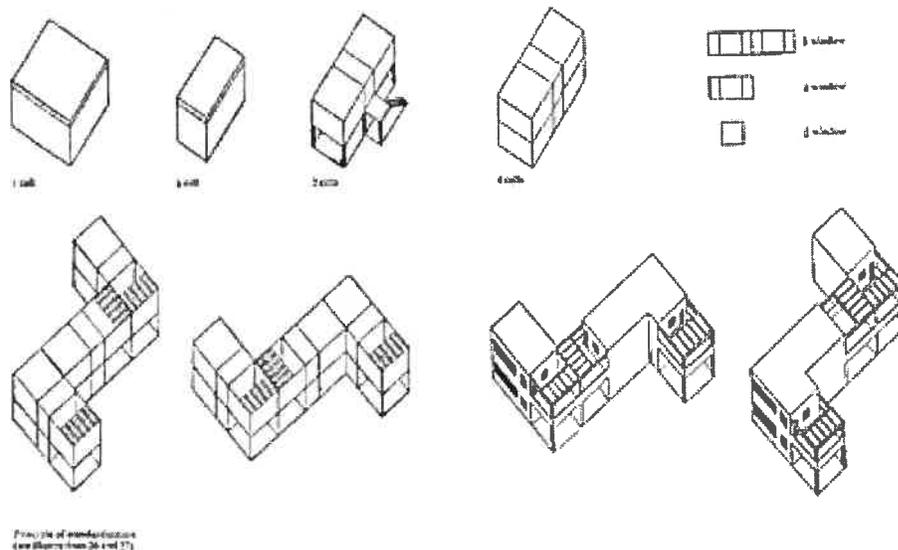


Figure 24. Principe de standardisation. Modulation des cellules. Projet unités d'habitations de Frugès, à Pessac.

Initialement, ce système avait permis au concepteur la standardisation de ses éléments architectoniques, pour passer par la suite à l'industrialisation. Toutefois, une question

nous interpelle : Mais n'était-il pas arbitraire d'attribuer des ratios dimensionnels pour des ouvertures, sans pour autant en visualiser l'effet porté sur la qualité de l'espace ?

- **Discussion :**

Dans le projet de Fruguès, les changements apportés par les habitants sur les éléments construits de l'espace habité et plus particulièrement sur les types d'ouvertures, ont eu pour cause les effets d'excès d'ensoleillement sur les espaces intérieurs vécus. Ceci nous permet d'en déduire que, les modifications apportées par les usagers sur les éléments du bâti, dans le but d'améliorer les conditions de vie au niveau du confort et de la qualité des espaces, sont le résultat d'un mal vécu. Par ces modes d'actions, on peut donc affirmer qu'une bonne maîtrise des impacts de l'ensoleillement sur l'espace architectural intérieur des habitations aurait sans doute abouti à de meilleures dispositions sur les dimensionnements des ouvertures et le traitement des façades, et, par conséquent, aurait contribué à l'amélioration des qualités architecturales du bâti.

Nous pouvons donc dire que la prise en compte de ce paramètre (l'ensoleillement) durant le processus de conception, serait une des variables à considérer lors de notre recomposition architecturale.

Chapitre 3. 2. DÉFINITION DES VARIABLES :

Nous avons indiqué précédemment que la visualisation de l'espace intérieur lors de la conception architecturale était un principe qui a été pris en compte par Le Corbusier dans ses compositions. Les vues d'intérieurs en perspectives qu'il élaborait pendant la conception des espaces architecturaux lui permettaient de concevoir et de visualiser les espaces générés pour évaluer le résultat. Dans notre application, ce principe reste une condition incontournable pour l'évaluation de l'ambiance spatiale et pour l'aboutissement à une qualité spatiale appropriée. Nous allons voir dans la partie suivante que cette application nous permettra de tester nos variables à travers notre modèle informatique.

Au cours de notre recherche et en terme d'aboutissement de finalité à nos investigations dans cette phase sur le cas d'étude choisi, nous mettrons en application les variables identifiées dans ce chapitre, et nous procéderons à leur application à travers le modèle informatique produit.

Nous précisons que le cas d'étude dans le cadre de la mise en épreuve de l'hypothèse de recherche peut inclure plusieurs variables induisant à ce test. Dans notre cas, nous indiquons que nous prenons en compte : l'ensoleillement lors de la conception architecturale, comme variable indépendante, et le paramétrage de la forme et de l'espace architectural sous l'effet de cette dernière, comme variable dépendante.

«Les variables sont des faits observés, et c'est par cette observation qu'on parviendra à vérifier l'hypothèse [s]» (Davidson, 2001).

L'observation de ces faits, suite à la mise en épreuve, nous mènera à déduire des résultats nous permettant la validation ou la réfutation de l'hypothèse de recherche. Cette approche est liée aux actions réalisées et vise à la compréhension des changements réalisés sur le modèle informatique adapté, suite à l'application des variables, et par cela, la notification des issues résultantes.

Nous précisons que la résolution de la prise en compte de l'ensoleillement comme variable telle que mentionnée ci-dessus, est raisonnée et commentée dans les dispositions suivantes.

3. 2. 1. La visualisation de l'effet de l'ensoleillement sur les unités d'habitations, et son influence lors de la conception architecturale :

Nous avons indiqué que Le Corbusier avait utilisé un système de modulation et de rapport géométrique pour la conception des habitations. Ricordeau C. (1995), ajoute que Le Corbusier avait aussi induit une expression particulière. En visualisant l'implantation des habitations et le rapport du plein et du vide sur les façades, il déduit qu'il en résulte une expression synthétique du «lié – indépendant»⁴⁰ (voir figure 25)

⁴⁰ Lié – indépendant : Expression déclarée par Ricordeau C. (1995), en analogie à la relation plein/ vide.

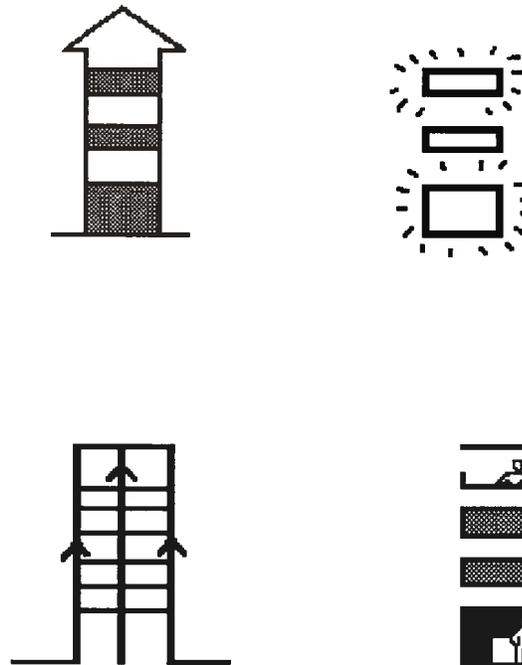


Figure 25. Expression synthétique du lié – indépendant. Les percements se tiennent sur un même alignement vertical qui les relie, et leur indépendance est assurée par la surface continue de béton blanc qui les sépare. (Ricordeau C., 1995)

Nous reproduisons en 3D dans la figure (26) cette synthèse d'observation sur les unités d'habitations de Le Corbusier. Nous pouvons visualiser la hiérarchisation indiquée par Ricordeau C. (1995).

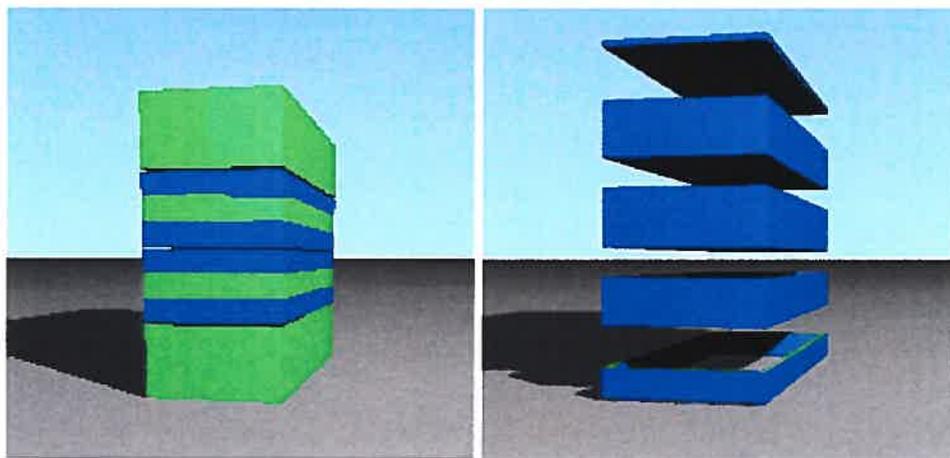


Figure 26. Représentation en 3D du rapports «lié – indépendant» de Ricordeau C., (1995).

Il est possible, par ce fait, d'apercevoir les sections concernées par les ouvertures et les sections concernées par le bâti. Ce repérage visuel, issu de l'analyse de Ricordeau (1995) est reconduit en 3D dans cette représentation (figure 26) et vise à nous éclairer sur la logique de composition de Le Corbusier. Nous pouvons considérer cette logique de composition lors de la mise en épreuve.

Ainsi, cette analyse oriente notre regard sur le paramétrage des ouvertures. En exposant ce rapport entre le plein et le vide, nous sommes amenés d'emblée à constater qu'il y a eu modification apportée au rapport entre plein et vide tel que standardisé par Le Corbusier. Les habitants des unités d'habitations de Frugès avaient effectué des transformations au niveau des façades. Les ouvertures ont été modifiées pour palier à une exposition inadéquate à l'ensoleillement. Des espaces excessivement chauffés en été, et des pertes de chaleur en hiver (Boudon Ph., 1977, p71). Cette variable, prise en compte lors de la conception, devrait rendre accessible l'anticipation des effets de cette dernière sur les espaces conçus, et donc d'être intégrée dans le développement initial du processus de conception. Hernandez G. (2002), précise que les rayons solaires (lumière) projetés sur un bâtiment peuvent être «volumisés» lors de la conception architecturale. Il décrit qu'à travers une telle étude, il est possible de visualiser en 3D et vérifier de quelle façon la lumière naturelle peut affecter un bâtiment.

« [...] cet exercice établit la façon dont la lumière naturelle peut affecter un espace en fonction du temps, ce qui permet de visualiser sa qualité et de définir la quantité de la performance visuelle, notions à l'aide desquelles le concepteur assurera un niveau convenable d'éclairage. Ce modèle détecte également les espaces qui, en fonction de leurs contraintes et caractéristiques morphologiques, auront besoin de l'éclairage artificiel » (Hernandez G., 2002).

L'évaluation anticipée de l'impact de l'ensoleillement sur un espace à réaliser permettra ainsi de dresser une apparence perceptible pour le concepteur au moment de l'élaboration de sa conception. La mise en place d'un environnement intégré par simulation des contraintes spatiales et spécifiques au cours de la réalisation du projet admettrait la prévision d'une situation permettant d'atteindre un niveau adéquat en terme de confort et de qualité spatiale. Nous pouvons conclure que la prise en compte de cette variable lors du développement du processus de conception du projet des unités d'habitations de Frugès, aurait permis d'évaluer les impacts de l'ensoleillement sur les

unités d'habitations, et d'éviter des correctifs tels qu'exécutés par les habitants après la réalisation du projet. Nous tiendrons compte de cette approche lors de la mise en épreuve, et nous évaluerons visuellement ce procédé appliqué sur une recomposition architecturale par modèle informatique des unités d'habitations.

3. 3. La méthode de modélisation et le modèle informatique proposé :

3. 3. 1. Première partie du cas d'étude :

En partant des schémas conceptuels, tels que détaillés précédemment par le constat de l'expression analytique énoncée par Ricordeau C. (1995), nous pouvons représenter visuellement l'emprise volumique issue des systèmes de modulation mise en place par Le Corbusier. Ceci permet, dans une première étape, de visualiser en 3D l'ampleur des actions menées par le concepteur. Nous expliquons ce raisonnement dans ce qui suit :

- Pour illustrer la volumisation de l'emprise de l'espace, nous construisons un modèle informatique qui provient d'une recombinaison originale de l'unité d'habitation. Pour ce faire, nous procédons au relevé des limites de l'enveloppe à partir du plan initial (voir figure 27), et à partir de ce relevé, nous reconstituons l'enveloppe, par paramétrage, à l'aide de la modélisation descriptive sur POV-Ray. À cette intention, nous rappelons que nous avons déjà décrit les apports de la modélisation descriptive telle que recourue dans POV-Ray.

La méthode que nous utilisons est comparable à une extrusion faite à partir du plan original conçu par Le Corbusier, étant donné que le plan initial nous avait servi comme repère pour déterminer les dimensions et les limites morphologiques. Nous procédons par la suite, à la représentation 3D de la méthode de composition de Le Corbusier pour ce projet en nous basant sur les concepts et les techniques indiquées précédemment. Nous parlons de «volumisation» de l'action pour indiquer le périmètre 3D sur lequel Le Corbusier avait fait son intervention.

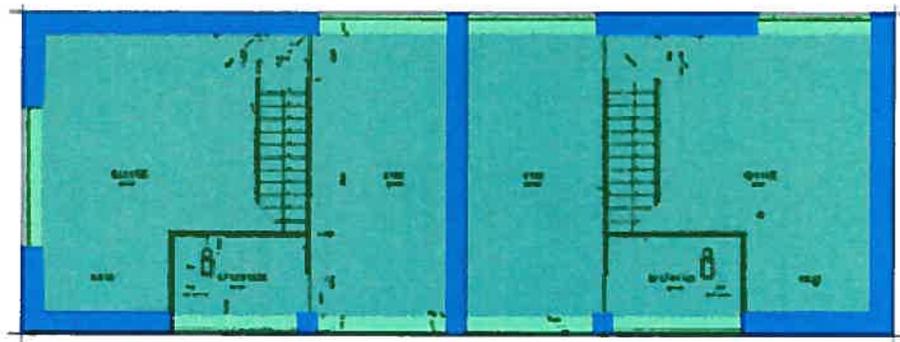


Figure 27. Plan initial de Le Corbusier. «L'unité d'habitation». Dimensions et morphologie

En premier lieu, nous procédons donc, à la recombinaison architecturale du projet initial d'une façon épurée, et sur laquelle nous corroborons nos démonstrations et appliquons nos variables. Nous voyons dans ce qui suit notre méthode de modélisation :

- Une première délimitation de la forme est indiquée par les limites extérieures des murs de la bâtisse. Ces limites restent construites sous une forme épurée car, tel qu'annoncé au départ, dans un premier temps, notre but est de reproduire, par un modèle informatique, le projet de Le Corbusier, tel qu'il a été réalisé. En seconde étape nous opérons des transformations sur le modèle, au moment de l'application des variables qui le régissent.

Nous indiquons aussi que, comme décrit dans nos précédents chapitres, notre intervention se situe au niveau de la phase de la conception. À ce propos, nous situons notre méthode de modélisation, en fin d'étape du processus de conception. Et pour cet état de fait, nous précisons qu'il n'inclut pas toutes les phases du processus. Dans notre approche, nous proposons un modèle informatique qui est particulièrement orienté sur la phase finale du processus de conception : «*The visualizing phase*». Dans cette étape, la forme, dans un ensemble général, est spécifiée et des changements peuvent encore être opérés. Pour reprendre les schémas de Gorczyca (2001) arborant le développement du processus de conception (voir figure 28), notre approche est adaptée entre la deuxième et la troisième phase de son schéma organisationnel. Gorczyca (2001), a subdivisé le processus en quatre phases :

- «La phase idée» où à lieu la description et le recours à «l'image mentale» (Tidafi 1996, Iordonova 2000).
- La «phase conceptuelle», avec la composition d'objets-modèles et la définition de quelques éléments architectoniques.
- La «phase de visualisation» qui est une interaction constante entre modèle 3D et visualisation des changements opérés sur ce dernier.

Nous nous rapprochons de cette dernière qui est une description organisationnelle du processus de conception, en soulignant que nos objectifs sont orientés vers cette phase : la visualisation de l'action pour l'évaluation du changement résultant. Il est alors pratiqué un aller-retour entre l'action-décision appliquée sur le modèle et concrétisée

par un changement au niveau de la forme ; et, la visualisation du résultat et ce : d'une façon séquentielle et évolutive. Nous apercevons et détaillons cette implication beaucoup plus dans la seconde étape du cas d'étude.

- Enfin, dans la quatrième phase du processus de conception, Gorczyca (2001) soutient une «phase technique» où le projet est développé en détails.

- «1. *Ideation phase: It is connected with rapid sketching as well as 'brainstorming'. Relevant features of CAAD application are: flexibility, easy tool access tool and fast modifications.*
2. *Conceptual phase: First imaginations are made more precise. Redundant elements and versions are removed. The most important element at this stage is an object-oriented structure, which supports creating and changing basic architectural elements. On the other hand the possibility of creating complex geometry is crucial.*
3. *Visualizing phase: At this stage a crucial element is a constant interaction between a 3D model and its visualization. Any changes made to the project have to be seen immediately on a display.*
4. *Technical phase: This stage is connected with dimensioning and describing details. All necessary data (2D and 3D) is placed into a project. At this stage relevant features are: data organization, attributes, intelligent description and specifications» (Gorczyca, 2001)*

A: Design to Construction, without 3D Computer Models



B: Design to Construction with 3D Computer Models

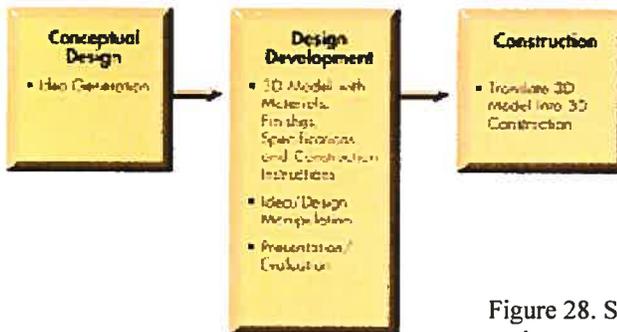


Figure 28. Schéma organisationnel. De la conception à la construction, avec et sans la modélisation 3D, (Gorczyca A., 2001 ; Kalay, 2004).

Notre modèle part d'une reconstitution architecturale d'un projet existant qui sert de support pour la mise en épreuve, dans le but de démontrer l'implication de la visualisation 3D dans la prise de décision lors de la conception architecturale. Ceci, en considérant qu'une telle reconstitution doit admettre des modifications par l'application de nouveaux paramètres que nous avons décrits au moment de l'identification de nos variables.

Revoyons la démarche pour la reconstitution du modèle informatique :

3. 3. 1. 1. Première étape :

- Dans une première phase, et pour une première application par l'outil informatique, nous avons généré les premiers blocs unitaires. L'unité qu'a conçue Le Corbusier est composée d'habitations jumelées. À cela, les blocs, représentant deux habitations jumelées, sont modélisés à la même étape (voir figure 29).

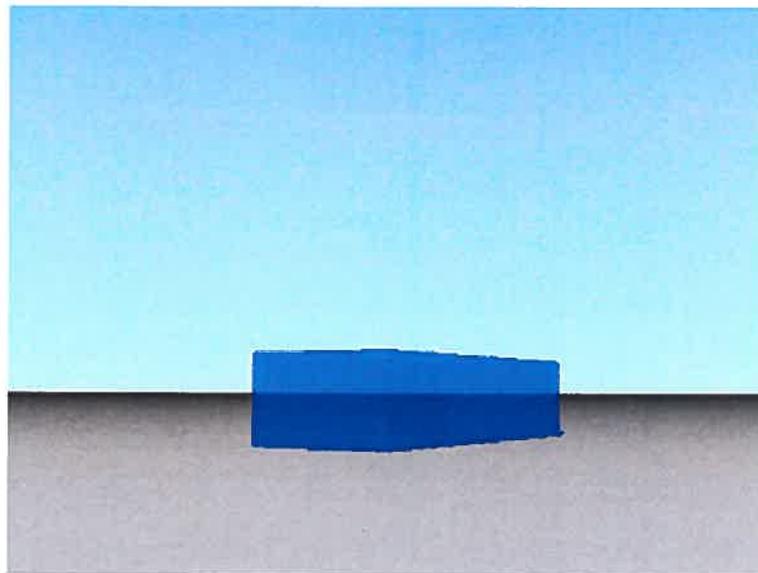


Figure 29. Reconstitution architecturale : premier bloc épuré

- Au second intervalle, nous modélisons les deux blocs supérieurs de l'unité d'habitation (voir figure 30).

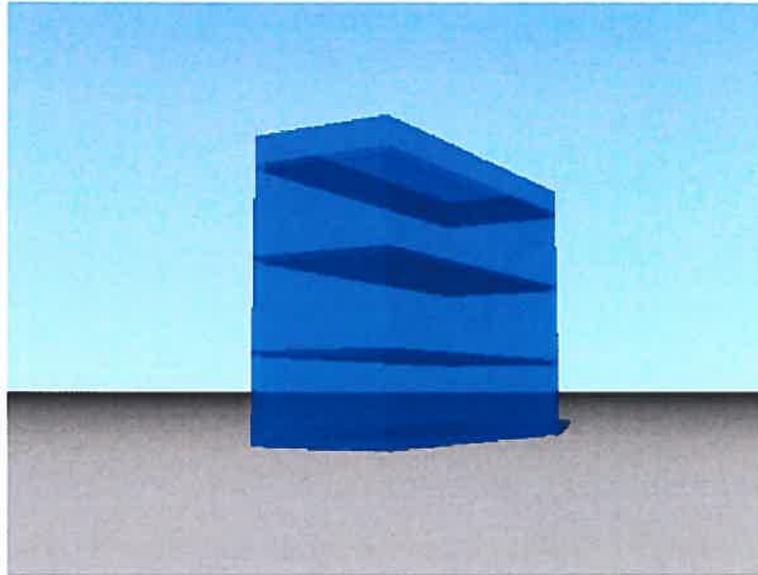


Figure 30. Reconstitution architecturale : superposition des blocs.

- Par la troisième étape où nous paramétrons les ouvertures, reportées telles que conçues initialement par Le Corbusier, nous y rajoutons quelques éléments architectoniques comme : les éléments d'escalier, l'élément de la buanderie et le mur intérieur qui sépare l'unité d'habitation en des habitations jumelées, pour avoir l'effet visuel de la configuration originale de l'ensemble de l'habitation (voir figure 31).

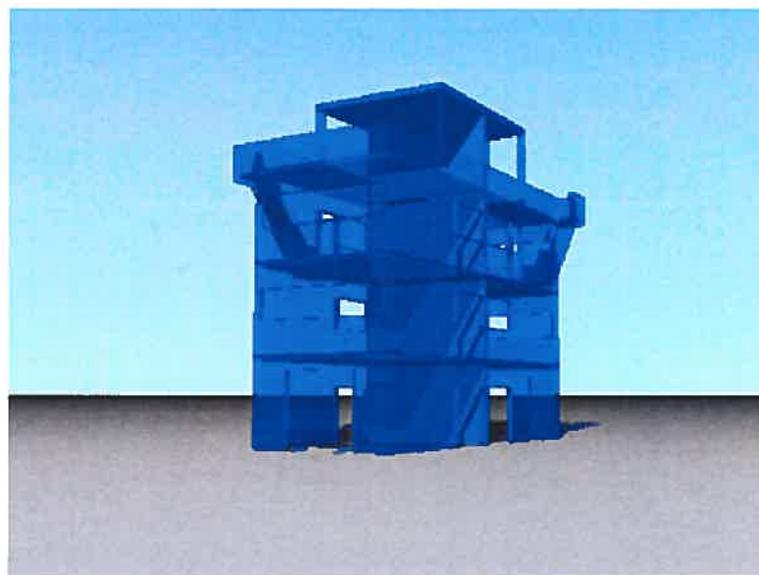


Figure 31. Configuration originale de l'unité d'habitation

3. 3. 1. 2. Deuxième étape :

- Considérant que Le Corbusier a modulé l'unité d'habitation à l'aide d'un système de volume, nous représentons visuellement ces volumes englobant les blocs d'habitations. Le modèle informatique que nous avons constitué au départ (à la figure 31), nous sert de repère pour la volumisation des modules représentant les blocs d'habitation. Dans la figure (32), le volume (vert) représente le premier module volumisé.

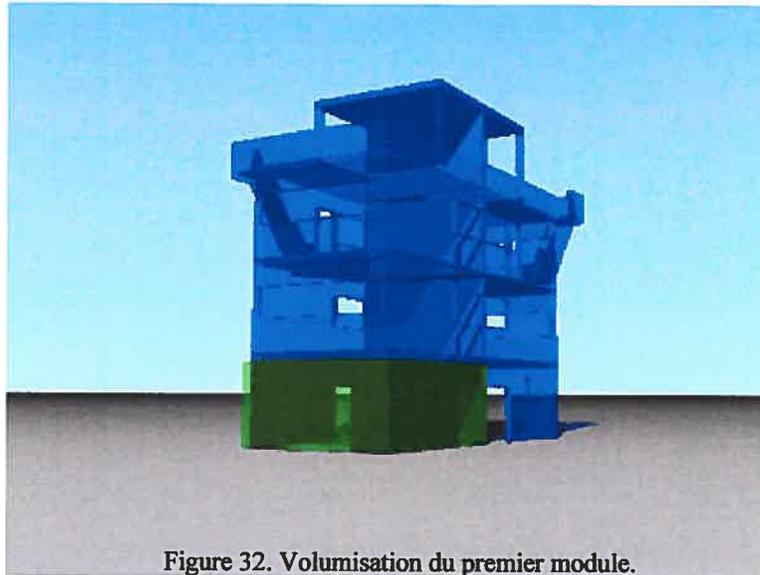


Figure 32. Volumisation du premier module.

- Dans une deuxième phase, nous volumisons les huit modules unitaires constituant l'unité d'habitation (voir tels qu'illustrés dans la figure 33).

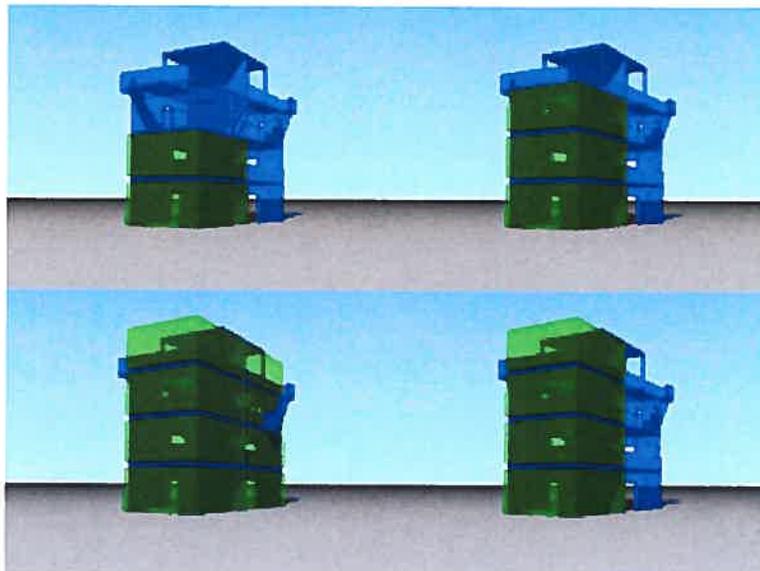


Figure 33. Volumisation des modules unitaires : étape par étape

Cette volumisation de modules unitaires nous permet d'avoir un effet visuel de l'emprise spatiale qu'englobe chaque bloc de l'unité d'habitation. Ces derniers, superposés sur le modèle informatique initial, nous octroient la possibilité de procéder au paramétrage de nouvelles formes (voir figure 34).

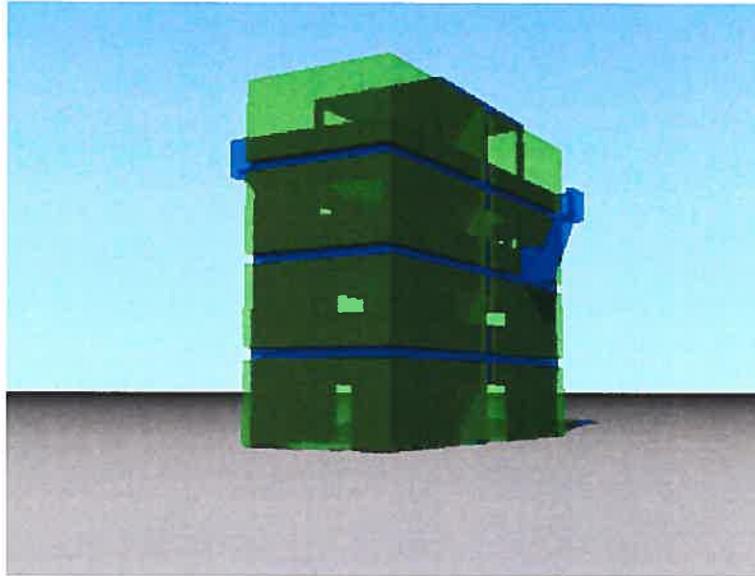


Figure 34. Représentation visuelle de l'emprise spatiale de l'ensemble des modules.

Le but de cette pratique est de produire une variété d'alternatives concernant le parti architectural. La forme, qu'aurait pu générer Le Corbusier en appliquant les mêmes contraintes (même concepts : système similaire et emprise spatiale comparable), en opérant une simulation de son procédé de conception, tel que cela ce pratique de nos jours sur un médium en CAO (dans notre cas sur POV-Ray). Nous partons dès lors, du modèle informatique représentant le projet original, en l'admettant comme élément de référence pour notre modélisation. Ceci nous permet d'avoir un repère visuel constant du projet original, lors du cas d'étude. Nous demeurons ainsi, dans le cadre d'un cachet architectonique, fidèle à la conception de Le Corbusier.

Rappelons aussi que, ce qui est en rapport avec nos objectifs de recherche, c'est de démontrer l'implication de voir et de concevoir en 3D lors de la conception architecturale. Notre but n'est donc pas de démontrer les différentes possibilités de formes que nous pouvons obtenir en abordant la conception avec la technicité des outils de la CAO. Le discours et l'intérêt porté à cette méthode informatique proposée, sont

orientés vers la mise en avant de l'influence de la visualisation 3D lors de la conception architecturale avec l'aide des techniques de la CAO. En ces termes la mise en épreuve, attestée par la méthode informatique proposée, est rattachée à l'aspect qualitatif de l'espace architectural généré. L'esthétique, le style et le choix du parti architectural demeurent des aspects non quantifiables, et restent liés au jugement et à l'appréciation de tout concepteur. Nous l'avons précédemment indiqué lors de la délimitation de la recherche. Nous écartons ainsi l'évaluation de ces aspects dans notre démarche.

Après avoir déterminé les intentions dans le fait de générer une variété d'alternatives liées à la forme, nous réalisons en conséquence, un jeu de volumes : en retrait ou en avant (balcon) et évaluons visuellement les formes générées (figure 35).

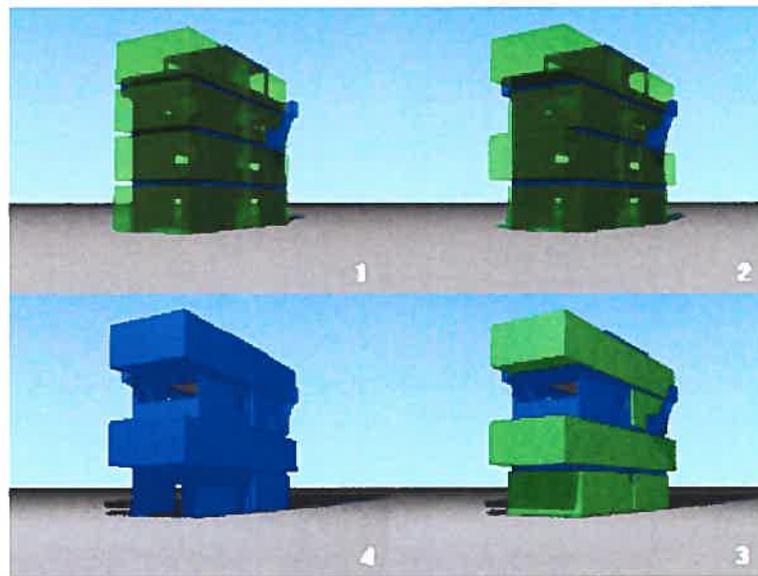


Figure 35. Paramétrage de volumes pour générer des formes.

À travers ce jeu de volume opéré par morphage au moyen de la modélisation descriptive sur POV-Ray, dans l'étude de cas, nous constatons un changement de la forme. Nous partons de la figure (35. 1) où les blocs modulaires sont à la forme initiale : les huit blocs alignés. À la figure (35. 2) : nous réalisons un jeu de volume par morphage. Nous indiquons cependant que nous aurions pu tout autant opérer par une autre technique pour obtenir un même résultat.

La deuxième et la dernière rangée de blocs sont alors étirées en balcon (en porte-à-faux).

Notons que les volumes ont été modélisés en transparence car ce qui est dans notre premier intérêt dans cette étape (figure 35. 1), c'est de garder en apparence le repère visuel modélisé au début de la mise en épreuve (le modèle informatique représentant le projet original).

Il est à remarquer qu'à cette étape, nous pouvons visualiser le résultat obtenu et prendre la décision de changer de forme ou de l'adopter. Nous parlons dès lors d'évaluation du résultat généré validé par une appréciation visuelle de la modification apportée. Nous avons réalisé une action induisant une prise de décision, pour la poursuite du développement de la composition volumique.

Prenons le choix d'approuver le résultat obtenu à la figure (35. 2) : la nouvelle forme, et continuons la mise en épreuve. Nous modifions la transparence de nos volumes en les rendant opaques, et nous poursuivons l'évaluation visuelle du résultat. Le changement apporté correspond à ce stade, à la figure (35. 3). Les volumes produits sont maintenant confondus avec le modèle informatique représentant le projet initial. À cette étape de la mise en épreuve nous supprimons le troisième volume et orientons un ensoleillement direct sur le modèle informatique généré. Cette simulation suppose une position du soleil à l'heure de midi orienté sur la façade est de l'unité d'habitation. Nous pouvons visualiser alors l'ombre portée obtenue par le décrochement des nouveaux volumes (figure 35. 3). Nous notons qu'à la réalisation de cette action et à la visualisation du résultat obtenu, nous pouvons décider d'opérer un nouveau changement ou de garder la forme obtenue à la nouvelle donnée de l'ombre portée sur le modèle généré et ce, suite à l'évaluation visuelle du résultat.

Revoyons maintenant la figure (35) de l'illustration (1) à (3) : nous visualisons séquentiellement l'évolution de notre composition volumique. À la figure (35. 4), nous supprimons le module placé à la base du modèle informatique ; apparaît alors l'ouverture déjà réalisée sur le modèle informatique original. Nous pouvons alors visualiser l'ombre portée sur l'ouverture et évaluer encore une fois le résultat. Après l'évaluation visuelle, nous pouvons décider d'accepter le changement réalisé ou de le modifier encore.

- **Discussions sur les résultats obtenus à la première partie du cas d'étude :**

Par les principes de modélisation décrits ci-dessus, nous avons essayé d'expliquer et de démontrer que grâce aux techniques de la CAO, le concepteur peut composer et contrôler par image de synthèse (3D) un ensemble de paramètres et de données numériques durant le développement de sa conception architecturale ; et donc, par le biais de manipulations, nous pouvons tester et visionner différents cas de figures d'une idée créatrice par simple lecture dans une réalité virtuelle avant de prendre la décision finale pour le choix du modèle de conception.

La visualisation spatiale en 3D, obtenue par une composition numérique en CAO, nous permet également d'améliorer le contrôle des variables et des rapports dimensionnels : proportions / échelles, et un équilibre des formes de composition et des relations espaces / volumes.

Notons maintenant en détail, les résultats de la première partie du cas d'étude:

- À chaque changement opéré, il y a eu nécessité de recourir à une évaluation. L'évaluation a été particulièrement visuelle. Nous sommes conscient et nous l'avons même indiqué précédemment que le choix, lors du développement de la composition, tel qu'il est montré à la figure (35), reste tout autant ouvert et lié au concepteur pour définir son parti architectural et décider de son résultat final. Mais ceci demeure ponctué par des prises de décisions à des séquences précises. L'illustration (35. 1) puis la (35. 2) et la (35. 3), à l'illustration (35. 4) marque les séquences de l'évolution de la composition produite. Nous pouvons donc, à ce stade, parler de composition séquentielle et évolutive, en premier résultat. Quant aux actions menées et aux changements générés, au terme de ses derniers, il y a eu corrélation entre évaluation visuelle de l'action et prise de décision. À ces constats, apparaît une première empreinte de l'implication de la visualisation lors de la composition architecturale.

Voyons dans ce qui suit, la deuxième partie de notre cas d'étude.

3. 3. 2. Deuxième partie du cas d'étude :

3. 3. 2. 1. Première étape :

Lors de cette deuxième partie du cas d'étude nous reprenons le modèle informatique développé au début de la première partie du cas d'étude et nous allons nous orienter vers le paramétrage des ouvertures. En procédant à une telle approche, nous nous basons une seconde fois, sur le schéma élaboré par Ricordeau C. (1995) : l'expression du «lié indépendant» (rapport plein et vide).

Nous reprenons le même procédé que celui développé précédemment, et nous volumisons à cette étape les percements que nous indiquons par des volumes sur toute la longueur du bâtiment. Nous notons que nous avons gardé les rapports dimensionnels initiaux, pour ce qui est en rapport avec la hauteur des ouvertures et ce, en fonction des données relevées à partir du projet original. Nous rappelons aussi dans cette seconde partie du cas d'étude, que notre but, en proposant une telle méthode informatique, est de mettre en avant l'apport qualitatif que pourrait induire une telle approche lors de la conception architecturale.

Dans la figure (36) nous illustrons notre procédé. Les percements de l'unité d'habitation sont volumisés en (jaune) sur toute la longueur du bâtiment.

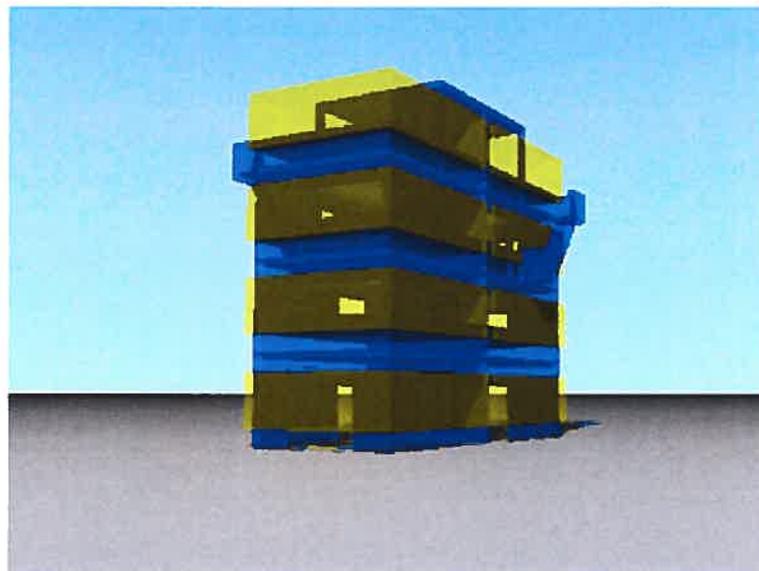


Figure 36. Paramétrage des ouvertures par volumisation.

Nous effectuons une opération booléenne, qui nous permet de soustraire les modules d'ouvertures volumisés avec les murs extérieurs du modèle informatique initial. Dans la figure (37. 1), nous pouvons visualiser le résultat. Le modèle 3D présente des bandes d'ouverture sur toute sa longueur. Nous décidons de placer des piliers à chaque angle du modèle. Nous passons à l'effet de cette action à la figure (37. 2).

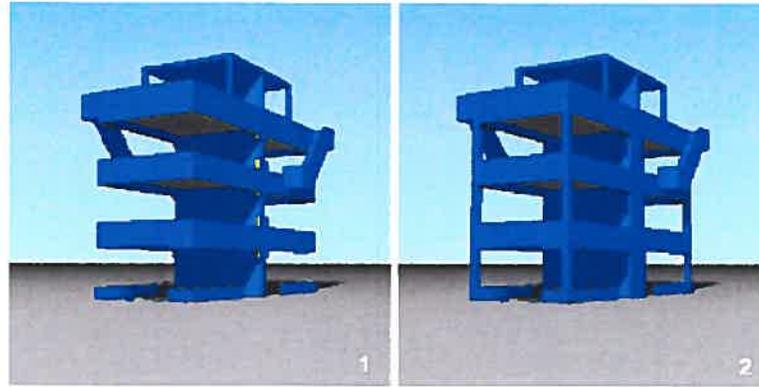


Figure 37. Paramétrage des ouvertures. Génération de diverses formes.

Visualisons maintenant, le résultat obtenu. La séquence réalisée à la figure (37. 1) et celle successivement complétée à la figure (37. 2) indiquent une évolution dans la composition. Dans cette deuxième partie du cas d'étude, et à sa première étape, nous constatons une seconde fois que : l'action produite concrétisée par un changement dans la forme du modèle a impliqué une évaluation visuelle pour permettre une prise de décision quant au fait de poursuivre, d'arrêter, de compléter ou de modifier le résultat obtenu.

Nous demeurons dans le paramétrage des ouvertures et dans l'évaluation visuelle, et nous passons à la deuxième étape de la deuxième partie du cas d'étude.

3. 3. 2. 2. Deuxième étape :

Initialement, le projet a été réalisé tel qu'illustré dans la figure (38). Toutefois, nous avons indiqué dans la partie précédente en présentant les variables que la grandeur des ouvertures a eu un impact négatif sur la qualité spatiale intérieure des habitations. La

figure (39) représente un modèle informatique indiquant un des types de transformations qui a été réalisé par les habitants.

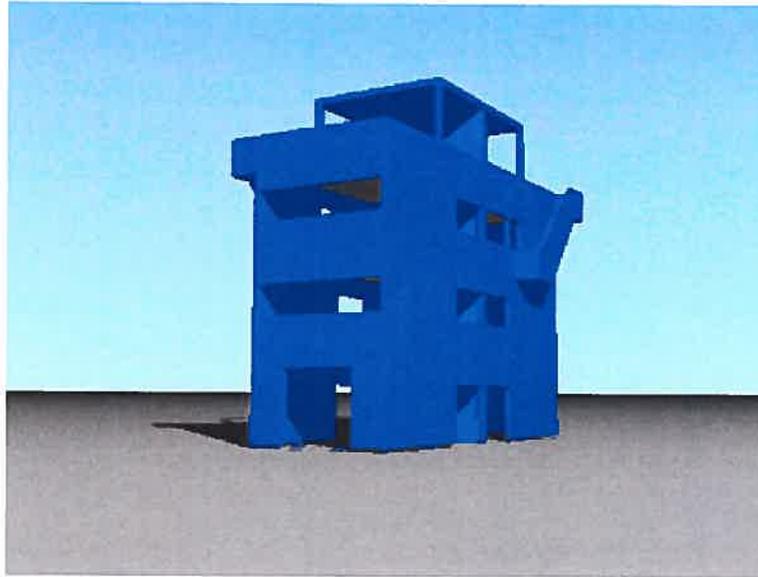


Figure 38. Modèle informatique représentant le projet original.

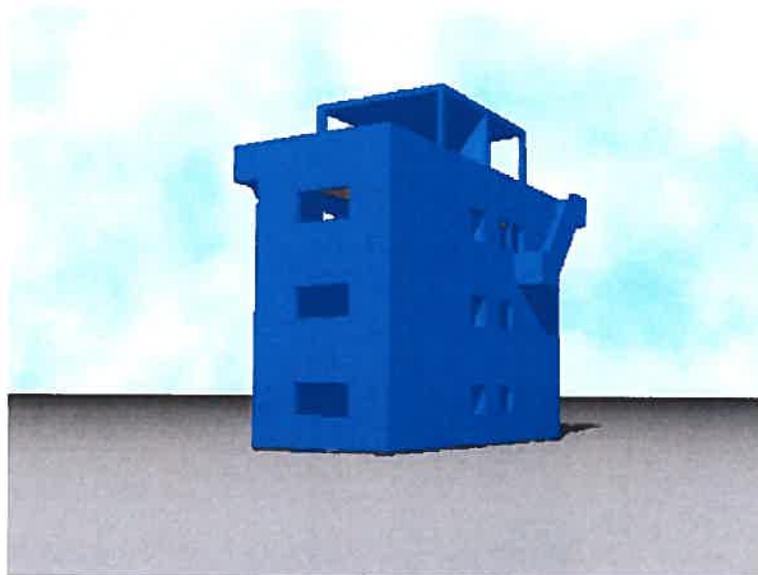


Figure 39. Recomposition. Modèle informatique indiquant un des types de transformations réalisées sur les ouvertures, par les habitants.

Nous avons indiqué aussi que les habitants avaient réalisé ces transformations principalement du fait que la dimension (trop grande) des ouvertures ne s'appliquait pas conformément aux exigences climatiques de la zone et ce, particulièrement l'été. Les espaces seraient très chauds en été (Boudon Ph, 1977).

«[...] il s'agit d'une personne qui, d'une part ferme ses volets, car la fenêtre en longueur, selon elle avec toute cette surface vitrée, laisse pénétrer la chaleur et arrive même à brûler ses rideaux. À l'inverse la fenêtre "occasionne l'hiver des pertes de chaleur"» (Boudon Ph., 1977, p72).

Nous tenons compte de cette variable (l'ensoleillement) dans le cas d'étude, et nous présumons que sur cet aspect, la méthode informatique proposée nous permettra de simuler et de visualiser l'impact de l'ensoleillement sur les espaces générés. Nous aurions à évaluer ainsi l'ambiance spatiale engendrée par l'effet de l'ensoleillement.

En positionnant notre caméra à l'intérieur de notre modèle informatique nous pouvons simuler et visualiser l'impact et l'ampleur de la lumière naturelle sur l'espace considéré.

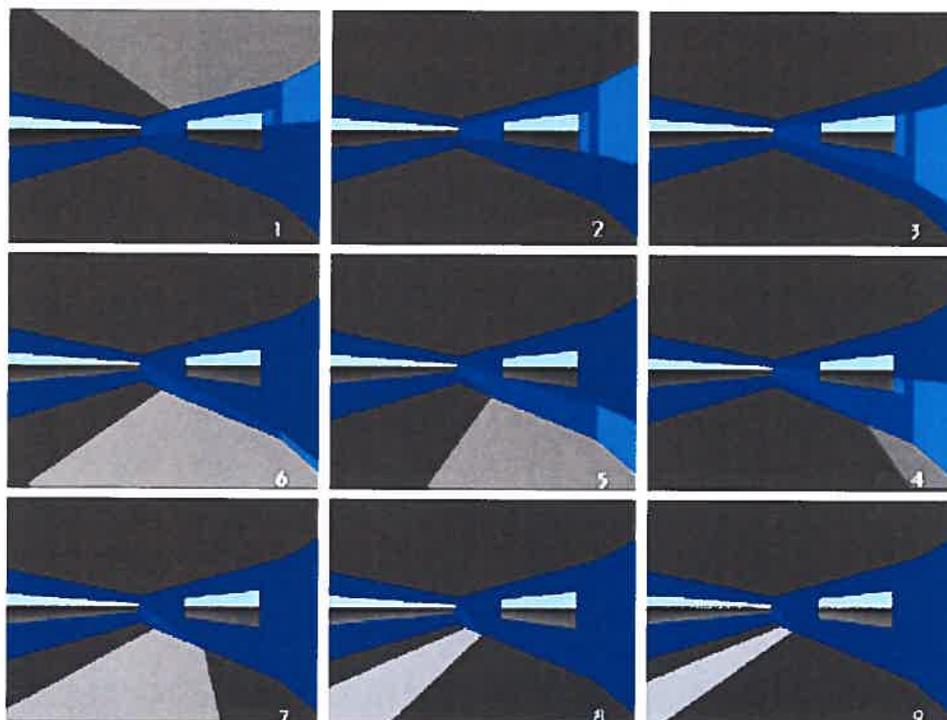


Figure 40. Simulation opérée sur le modèle informatique reconstituant le projet tel que réalisé. Effet de la lumière sur l'espace intérieur. Éclaircement provenant de l'est.

À la figure (40). Nous créons une simulation de l'impact de l'ensoleillement sur notre modèle informatique. À l'application de cette variable, nous pouvons visualiser l'ampleur de l'ensoleillement sur un espace intérieur où nous avons positionné notre caméra.

Dans un premier cas, nous simulons l'éclairage provenant de l'est. Les illustrations de la figure (40. 1) à la figure (40. 12), montrent l'impact de l'ensoleillement du lever du soleil à l'heure de midi en considérant que c'est en saison d'été.

Dans un deuxième cas, nous simulons l'effet de l'ensoleillement cette fois provenant de l'ouest. Après l'heure de midi jusqu'au coucher du soleil. Ceci est illustré dans la figure (41), dans l'illustration de (1) à (15).

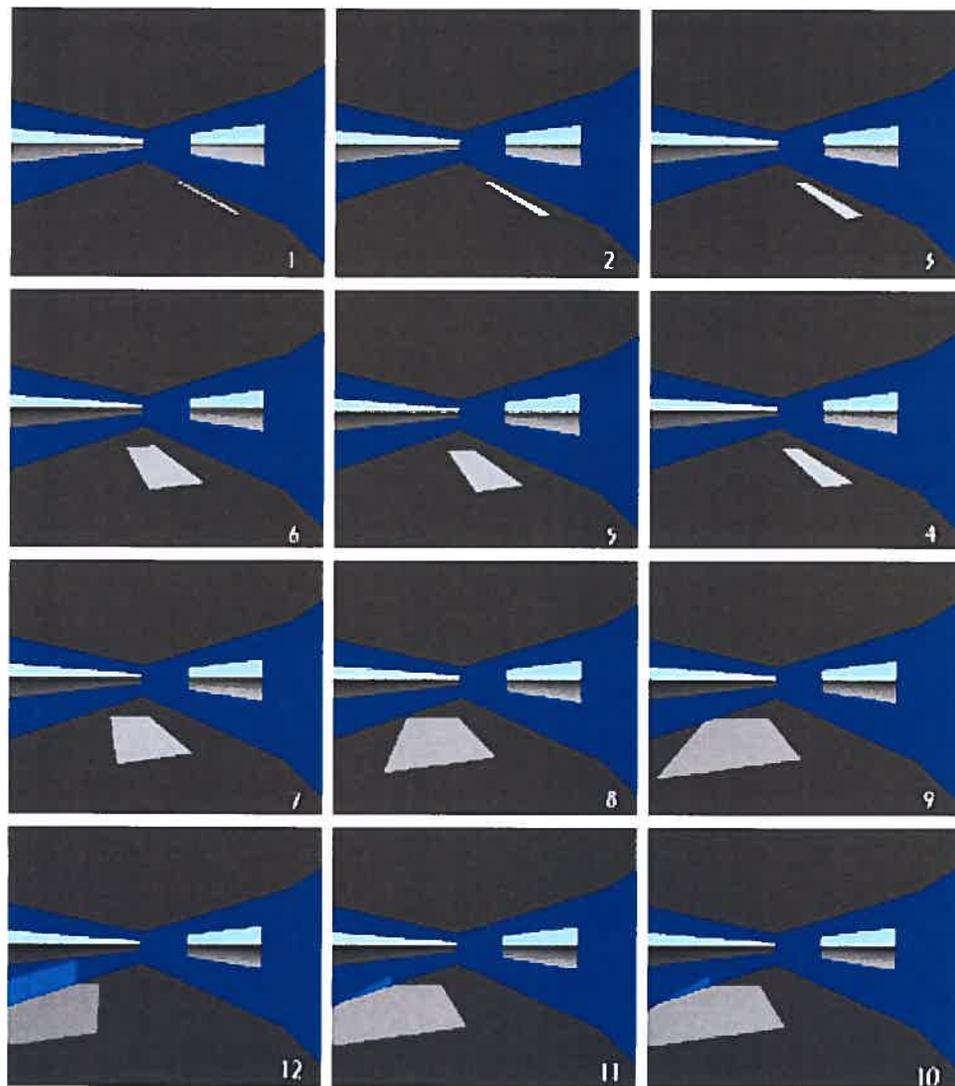


Figure 41. Simulation opérée sur le modèle informatique reconstituant le projet tel que réalisé. Effet de la lumière sur l'espace intérieur. Éclairage provenant de l'ouest.

À la lumière de ces illustrations, nous pouvons visualiser l'ampleur de l'ensoleillement diffusé dans l'espace intérieur. Il est à noter cependant que la quantification de la chaleur émise dans cet espace n'est pas le but de notre cas d'étude. Ce que nous évaluons est l'ampleur de la lumière naturelle émise dans cet espace. Nombreuses recherches ont été au centre de la question de mesurer le niveau de confort d'un espace en relation avec son orientation, aux dimensionnements de ses ouvertures ou aux matériaux utilisés dans sa composition. D'ailleurs, les techniques modernes en terme de quantification de la chaleur diffuse dans un espace et la résolution du niveau de confort, requièrent comme support d'étude les techniques de la CAO pour l'évaluation. Certes, il serait important de connaître et de déterminer le niveau de confort d'un espace, et ce au moment même de le concevoir, pour éviter des déficiences au niveau de la performance du futur bâtiment. Toutefois, dans notre démarche, la question relevée est axée sur la qualité de l'espace et son appréciation au moyen de l'évaluation visuelle lors de la conception. Il faut indiquer que, dans ce cas, le concepteur demeure libre de recourir à un complément méthodologique, quant à son procédé, pour déterminer le niveau spécifique du confort admissible. Nous pourrions même intégrer cette approche dans notre cas d'étude. Toutefois, ce paramètre n'étant pas le principal intérêt de l'objectif de recherche et de notre cas d'étude, l'intégration de ce paramètre aurait pour conséquence de prolonger seulement notre mise en épreuve. Nous rappelons que l'objectif principal du cas d'étude est de mettre à l'épreuve l'hypothèse qui traite de la visualisation 3D lors de la conception architecturale. Et ainsi de tester l'influence qu'exerce cette dernière à la prise de décision. La deuxième partie du cas d'étude nous permet de vérifier l'appoint de cette supposition.

Nous poursuivons cette deuxième partie et cette fois, nous procédons à la simulation de l'ensoleillement sur le modèle informatique en incluant un nouveau paramétrage des ouvertures : La reconstitution d'un des types des transformations réalisées sur les fenêtres par les habitants d'une des unités d'habitations. Nous simulons l'ensoleillement considérant que l'orientation du soleil provient de l'est, et en saison d'été. Telles que représentées dans le premier cas, les illustrations de (1) à (12) de la figure (42) reconstituent la simulation de l'ensoleillement du lever de soleil jusqu'à l'heure de midi.

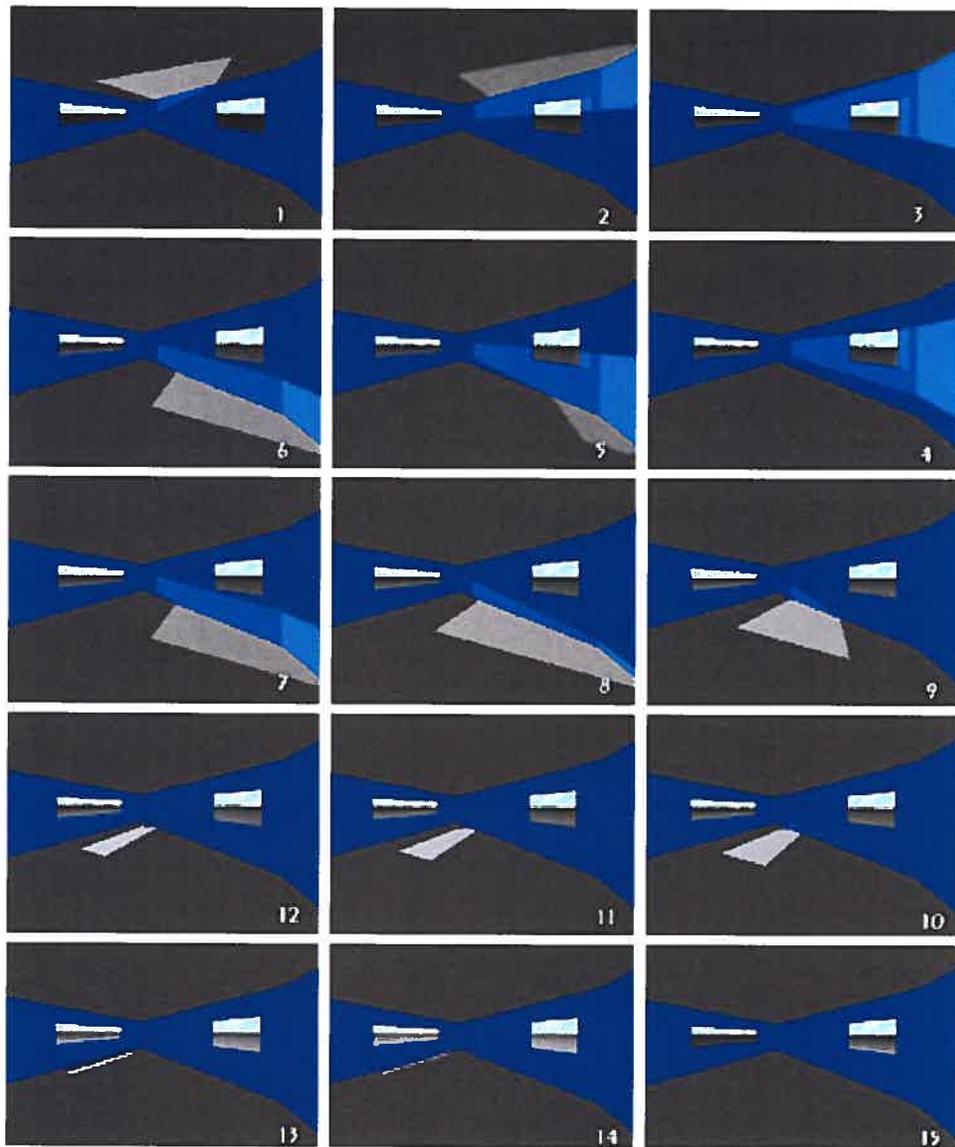


Figure 42. Simulation sur modèle informatique reprenant un type de transformations réalisées sur les ouvertures. Effet de la lumière sur l'espace intérieur. Éclairage provenant de l'est.

Dans un deuxième cas nous simulons l'effet de l'ensoleillement cette fois provenant de l'ouest. Après l'heure de midi jusqu'au coucher du soleil. Ceci est illustré de (1) à (9) dans la figure (43).

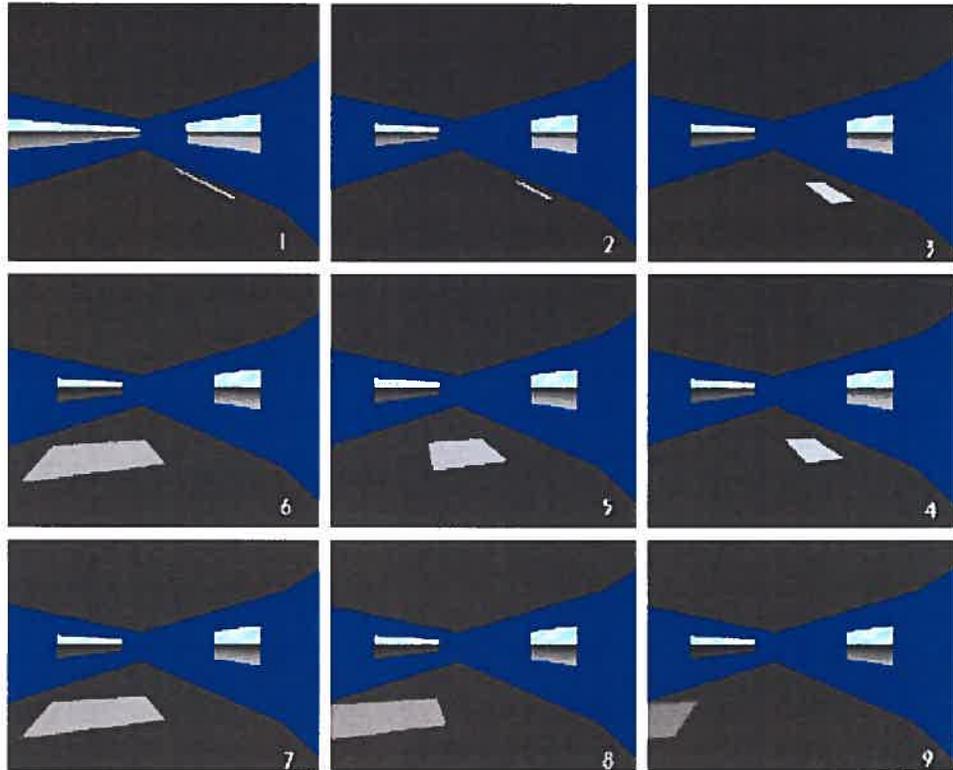


Figure 43. Simulation sur modèle informatique reprenant un type de transformations réalisées sur les ouvertures. Effet de la lumière sur l'espace intérieur. Éclairage provenant de l'ouest.

Cette simulation nous permet de visualiser l'effet de l'ensoleillement sur l'espace intérieur suite à la réduction des ouvertures. De la figure (43. 1) à la figure (43. 9), nous pouvons suivre le cours du soleil et voir l'ampleur d'éclairage qui est produit dans cet espace intérieur.

Nous constatons, dans cette deuxième partie, que nous pouvons tout autant procéder successivement au paramétrage des ouvertures (fenêtres, dans ce cas) qu'évaluer visuellement l'effet de l'ensoleillement sur l'espace intérieur que l'on a modélisé. L'espace généré demeurerait alors en évolution jusqu'à la décision d'entériner la forme finale obtenue.

- **Discussions sur les résultats obtenus à la deuxième partie du cas d'étude :**

Pour reprendre notre discours sur les différentes simulations graphiques illustrés ci-dessus, nous portons précision sur les faits suivants:

À travers les résultats obtenus par la simulation de l'impact de l'ensoleillement sur l'objet architectural nous pouvons déduire une amélioration des qualités architecturales quant aux espaces à concevoir et du niveau de confort recherché.

Comme nous l'avons déjà mentionné, une recherche à été faite dans ce sens par Hernandez (2003) et dont l'intitulé était : « La prise en compte de la lumière naturelle pendant la conception architecturale à l'aide des outils informatiques ». Cette recherche, menée par son auteur dans le cadre du groupe de recherche en conception assistée par ordinateur (G.R.C.A.O.) à l'Université de Montréal, prend comme support d'investigation les effets de la lumière naturelle sur l'espace architectural, ce qui est approprié au sujet traité dans notre démonstration. La prise en compte d'un tel paramètre pourrait modifier le résultat obtenu lors du développement d'une conception architecturale, puisque nous avons vu dans l'exemple étudié, que le concepteur (Le Corbusier) n'y avait pas eu recours et en résultat, il y a eu déficience dans la conception.

La simulation de l'effet de la lumière naturelle sur l'espace intérieur nous a permis d'évaluer visuellement l'ampleur de l'ensoleillement sur l'espace, et de paramétrer les ouvertures en conséquence. L'influence de la visualisation sur les actions engagées est en liaison directe avec l'évaluation portée séquentiellement au cours de l'évolution de la conception.

En conclusion à cela, nous disons que cette réflexion, appuyée par la mise en épreuve cherche à montrer que les moyens numériques de part leur précision et leur qualité fonctionnelle, sont une aide précieuse pour le concepteur, et restent un support fondamental pour minimiser les risques d'erreurs et pour assurer les qualités des espaces architecturaux conçus.

3. 4. Discussion sur l'étude de cas et conclusions à en tirer :

En définitive, nous pouvons témoigner que notre hypothèse de recherche est validée. Les variables, identifiées précédemment, nous ont permis de confirmer cette dernière. Nous rappelons que la simulation de l'ensoleillement lors de la conception architecturale, indiquée comme variable indépendante, a permis de notifier la corrélation entre : la visualisation 3D de l'objet modèle architecturale et son environnement, et le paramétrage de la forme et de l'espace architectural, étant considéré comme variable indépendante, dans le cas d'étude. Nous pensons ainsi, avoir atteint nos objectifs de recherche, à travers notre cas d'étude, car l'exemple a démontré que :

Pour plus de résultats pondérés et de cohérence dans la prise de décision, la visualisation 3D doit nécessairement accompagner la conception architecturale tout au long de son processus d'élaboration et de son développement. Nous pouvons considérer qu'avec l'aide des outils de la CAO, la visualisation 3D constitue un moyen participatif dans la prise de décision lors de la conception architecturale.

Notons cependant que l'étude aurait pu être réalisée en ayant recours à des maquettes physiques, et dans notre discours ceci irait dans un même sens puisque nous parlons de perspective donc d'un espace tridimensionnel. N'oublions pas qu'un espace virtuel comparable est intégré dans les techniques en CAO, et que, dans cette même dimension, la maquette physique intervient dans un espace comparable mais cette fois dans un espace réel et non virtuel. Nous notons par ce point deux dimensions : réel et virtuel, et rappelons que l'étude réalisée est orientée sur l'implication de la visualisation (3D) et l'interaction entre le fait de voir et concevoir en 3D, le médium virtuel dans ce cas intervient dans cette interactivité qui, rappelons-le, est au centre de notre discours et qui s'articule autour des points énoncés dans notre problématique.

CONCLUSION GÉNÉRALE :

Pour clôturer le discours sur le sujet de notre préoccupation, il nous semble important d'ajouter un dernier point de vue sur notre intérêt de recherche, qui rappelons-le, consacre le débat sur la question de : La perspective et la visualisation 3D par la technique de la CAO.

Tout au début de notre recherche, nous avons consacré la partie historique à la représentation graphique en partant de la 2D à la 3D par le biais de la perspective. Puis nous avons essayé de montrer comment la perspective avait évolué dans le domaine des arts graphiques et intégré les dessins techniques conventionnels pour devenir, par la suite, grâce aux théoriques et aux lois de composition, un outil de représentation, de lecture et d'appréciation d'une image en trois dimensions (3D), simulant une réalité future d'un objet ou d'un projet d'architecture. Mais si cette image 3D est tant appréciée par les architectes et les hommes de l'art, dans les rendus d'architecture pour ses qualités d'expressions graphiques, elle n'est, néanmoins, qu'un résultat d'appréciation et non un moyen de contrôle ou un outil de conception dans l'utilisation des méthodes traditionnelles.

Pour revenir sur les limites d'efficacité et de performance d'une conception par méthodes traditionnelles, nous avons, au terme de ce travail de recherche, réalisé une étude qui nous a permis de confirmer notre hypothèse de recherche qui, rappelons-le, est : pour plus de résultats pondérés et de cohérence dans la prise de décision, la visualisation 3D doit nécessairement accompagner la conception architecturale, tout au long de son processus d'élaboration et de son développement.

En effet, dans notre cas d'étude, nous avons pu vérifier, au travers d'une recomposition par modèle informatique du projet architectural de Le Corbusier, que la visualisation 3D du modèle constitue un aspect qui permet de percevoir les actions-décisions produites par le concepteur d'une façon évolutive et séquentielle. La simulation a permis dans ce cas, de visualiser le paramétrage de volumes d'une façon progressive. L'action menée est donc conduite par la perception et l'évaluation de l'image 3D mise en avant, par l'objet ou le modèle, d'une façon séquentielle et

progressive pendant le processus de conception. Les résultats obtenus à chaque séquence de l'étude de cas entre autre, par l'intégration de variables, ont conduit à réaliser le paramétrage de nouvelles formes, et de nouvelles réflexions.

Cette méthode nous a permis de valider notre hypothèse et d'affirmer que la visualisation 3D au moyen de la technologie CAO, prend figure d'une aide à l'action et au processus de création. Elle permet au concepteur d'évaluer la possibilité de composer en trois dimensions durant les phases de conception, et offre au concepteur la possibilité d'exploiter les qualités spatiales par les techniques de la CAO, en terme de visualisation spatiale. Nous voyons en cette méthode d'approche à la conception, une aide au concepteur puisqu'il retrouve ainsi, outil capable de lui générer, en simulation temps réel, le résultat de ses interventions : les actions-décisions. En toute libre opération, le concepteur met en pratique son savoir faire évalue ses résultats et déduit ses erreurs tout en testant différentes possibilités au niveau de la forme. La forme, qui est souvent au centre de l'intérêt du concepteur, prend place dans l'exploration et l'évaluation des alternatives.

L'image et la figuration ne sont alors plus limitées à une représentation figée, il y a place aux relations spatiales : la profondeur et la dynamique, dans l'exploration de la forme.

En parlant de perspective, et en définissant la représentation tridimensionnelle, en première étape de la recherche, nous nous sommes étalés sur la compréhension de l'environnement spatial dans lequel le concepteur développait et visualisait ses idées pour communiquer son savoir faire. Depuis les premiers essais de reproduction de décors architecturaux jusqu'à l'aboutissement de règles et lois de la perspective, le concepteur était limité par les médiums bidimensionnels : son espace de conception. Les contraintes d'explorer la forme et d'intégrer des variables comme la lumière et les données climatiques, ne permettaient pas au concepteur d'apprécier l'espace architectural d'un point de vue qualitatif et quantitatif, tel que démontré dans notre cas d'étude. Nous avons vu cependant, qu'avec l'aide des outils de la CAO, il est possible de concevoir en intégrant ces variables et de réaliser des simulations pour une évaluation progressive des alternatives et des résultats.

À travers notre étude exploratoire et de l'exemple réalisé, nous avons pu percevoir l'importance de la visualisation 3D en conception architecturale, et ceci constituait notre but de recherche.

Pour la validation de notre hypothèse, nous pouvons témoigner que la visualisation 3D est un facteur qui influence la prise de décision lors de la conception architecturale.

Nous avons vu aussi que le paramétrage et le morphage de volumes, peuvent constituer un stimulus pour le concepteur, pour la réalisation de ses actions dans la production de la forme ou de volumes en lui permettant d'accéder à des alternatives : plusieurs résultats. Par le fait de procéder à des tests et de visualiser ses résultats, le concepteur se retrouve assister dans sa création. Nous indiquons cependant, que l'évaluation des résultats, les actions décisions, le choix des formes ainsi que le paramétrage des variables demeurent des actes distincts pour le concepteur.

Nous considérons que le recours à un tel outil lors de la conception, pourrait changer la manière dont les architectes perçoivent leur modèle, et contribuerait à les aider d'une part dans la prise de décision, la réflexion et la visualisation de la forme et des objets, et d'autre part dans l'appréciation de l'espace architectural.

Nous savons que la capacité de stockage et de traitement de l'information par le concepteur est limitée au moment où il doit emmagasiner, intégrer, traiter et prendre en compte plusieurs paramètres simultanément pour en déduire un résultat. L'outil informatique agirait dans ce cas, tel un partenaire assistant capable de prendre en charge les données pour lesquels le concepteur se trouve en surcharge, et aussi d'intégrer de nouvelles données. L'exemple de notre étude nous a indiqué que la limite de stockage et de simulation du modèle et de la scène 3D, par l'image mentale, est contrainte par l'augmentation de la complexité dans la conception. Nous appuyons ceci par le fait que le concepteur, en n'ayant recours qu'à l'image mentale et au médium 2D, ne pourrait pas réaliser une simulation comme par exemple l'effet de la lumière naturelle ou d'autres données climatiques sur son projet et ce, particulièrement durant la phase de conception.

Ainsi, il est possible d'orienter les résultats de cette étude vers d'autres pistes de recherche notamment dans l'évaluation de l'implication de la visualisation 3D dans l'apprentissage et l'enseignement de l'architecture.

Tout ce que nous venons d'analyser confirme que nos méthodes de travail nécessitent un changement dans l'adaptation aux nouvelles techniques de pointe. En effet, par l'introduction de l'outil informatique, des logiciels et des différents modes opératoires de modélisation numérique, la notion de perspective, de nos jours, a laissé place à l'image de synthèse (3D) : domaine où la perception visuelle balance parfois entre le virtuel et le réel. Cette nouvelle forme de pratique dans la conception assistée par ordinateur (CAO), abolit d'une certaine manière les anciennes méthodes utilisées, pour laisser place à un nouvel outil plus performant de travail et de contrôle, indispensable au concepteur. Et ceci, grâce à ses qualités d'aide à la conception, à leurs valeurs et leurs précisions dans les commandes de programmes et dans les résultats obtenus d'une composition architecturale.

Enfin, nous terminons notre travail d'investigation par une question de réflexion sur le rôle que doit jouer, dans la conception, une telle méthode d'approche à l'architecture dans le développement créatif et l'habilité à la conception et aux compositions spatiales, des architectes et futurs architectes.

BIBLIOGRAPHIE :

- ANGULO A. H., DAVIDSON R. J. & VASQUEZ DE VELASCO G. P., *ACADIA*, Dans: *Digital Visualization in the Teaching of Cognitive Visualization*, 2001, p292-300.
- ATAMAN O. & BERMÚDEZ J., *ACADIA '99: Media and design process*, Édition: ACADIA Conference, Salt Lake City, October 29-31, 1999.
- Auto.des.sys-inc., *Form Z: 3D form synthesizer, user's manual – volume 3: drafting*, Édition: Lightworks ® Rendering Libraries. Inc, Ohio, 2001.
- ARBOIT Jean-Yves, LESAGE Jérôme, *3ds^{discreet} max[®]: Modelez et animez vos créations en 3D*, Édition: Micro Application, Paris, 2005.
- ASOJO Abimbola O., *Exploring Algorithms as Form Determinants in Design*, Dans: *Proceedings 3rd International Space Syntax Symposium*, Atlanta, 2001.
- BAILEY Rohan, *The Intelligent Sketch: Developing a Conceptual Model for a Digital Design Assistant*, dans: *Eternity, Infinity and Virtuality in Architecture* [Proceedings of the 22nd Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture / 1-880250-09-8] Washington D.C. 19-22 October 2000, pp. 137-145.
- BARTSCHI Willy, *Linear perspective*, Édition: Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981.
- BECKWITH W-K, WARNER S. & WOOD R. (eds), *LightWave 3D [8] 1001 Tips & Tricks*, Édition: Wordware Publishing, Texas, 2004.
- BERDINSKI D., *Combining Different Kinds of Perspective Images in Architectural Practice*, dans: *Architectural and Urban Simulation Techniques in Research and Education* [Proceedings of the 3rd European Architectural Endoscopy Association Conference], 1997.
- BERTOL Daniela, *Designing digital space: An architect's guide to virtual reality*, Édition: Bertol, New York, 1997.
- BETSKY Aanon, *Zaha Hadid: the complete buildings and projects*, Édition: Rizzoli, New York, 1998.

- BIRADY Salim, *Relation entre l'acoustique géométrique et la géométrie des formes architecturales*, Mémoire de maîtrise, faculté d'aménagement, université de Montréal, 2004.
- BLACKWELL A., & RODDEN K., *Sketchpad: A man-machine graphical communication system; Ivan Edward Sutherland*, Technical report, computer laboratory, university of Cambridge, Cambridge, 2003.
- BOUDON Philippe, *Pessac de Le Corbusier: [1927-1967: étude socio-architecturale]*, Édition: Bordas, Paris, 1977.
- BREDEKAMP H., DAALDER R., & RAPPOLT M., *Gehry draws*, Édition: MIT press & violette, Massachusetts, 2004.
- BROWN K. M & CURTIS C. B., *Computers in the professional practice of design*, Édition: Mc Graw-Hill, USA, 1995.
- BURCHARD Bill & PITZER, *Le Macmillan: AutoCAD® 2000*, Édition: CampusPress, Paris, 2000.
- CHOR-KHENG LIM, *A revolution of the design process*, dans: CAADRIA 2004, Graduate Institute of Architecture, College of Architecture, National Chiao Tung University, Taiwan, 2004.
- CLAYTON M-J. & VASQUEZ DE VELASCO G-P., *ACADIA 2000: Eternity infinity and virtuality in architecture*, Édition: ACADIA 2000, Washington, 2002.
- COHEN Jean-Louis, *Le Corbusier*, Édition: Taschen, Los Angeles , 2004.
- COHEN J. L., COLOMINA B., MILDRED F., MITCHELL W. & RAGHEB F., *Frank Gehry; Architect*, Édition: Guggenheim museum publication, New York, 2001.
- DALAI EMILIANI M., *La Prospettiva rinascimentale: codificazioni e trasgressioni, Voll*, Édition: Centro Di, Milan, 1980.
- DAVIDSON Colin H., *AME 6502- Méthodologie I*, Notes de cours, Faculté de l'aménagement, université de Montréal, 2001.
- DE PAOLI Giovanni, *Une nouvelle approche d'aide à la conception par ordinateur en Architecture basée sur la modélisation d'opérateurs sémantiques et la création de maquettes procédurales*, Thèse Ph. D, Faculté de l'aménagement, université de Montréal, 1999.

- DE PAOLI G. & TIDAFI T., *Modélisation architecturale et outils informatiques entre cultures de la représentation et du savoir-faire*, Édition: Acfas (les cahiers scientifiques95), Montréal, 2000.
- DO E. & GROSSG M-D., *Drawing Analogies: finding visual references by sketching*, dans: proceedings of ACADIA 1995, National Conference, University of Washington, Édition: L. Kalisperis & B. Kolarevic, Seattle, WA, USA, 1995, pp. 35-52.
- DONG W., GIBSON K., *Computer visualization: An integrated approach for interior design and architecture*, Édition : McGraw-Hill, 1998.
- DORTA Tomás, *Drafted Virtual Reality: A new paradigm to design with computers*, dans: les actes de la conférence Lee, H.; Choi, J. (Éds.) *CAADRIA 2004*. Séoul, avril 2004, pp. 829–843.
- DORTA D. Tomás V., *L'influence de la réalité virtuelle non-immersive comme outil de visualisation sur le processus de design*, Thèse de Ph. D, Faculté de l'aménagement, université de Montréal, 2001.
- DORTA T. & LALANDE F., *The Impact of Virtual Reality on the Design Process*, dans: les actes de la conférence Seebohm, T. ; Van Wyk, S. (Éds.) *Digital Design Studios: Do Computers Make A Difference?* ACADIA 1998. Québec, octobre 98.
- DORTA T. & PÉREZ É., *Immersive Drafted Virtual Reality: a new approach for ideation within virtual reality*, dans: Synthetic Landscapes, ACADIA 2006. Louisville, Kentucky, octobre 2006, pp. 304-316.
- DROCOURD, D., Quintrand, P., Savignat, J-M., Zoller, J., *L'image en Architecture : les machines à dessiner*, Édition : IIRIAM, Musée d'histoire de Marseille, 1984.
- DUARTE J-P., DUCLA-SOARES G. & SAMPAIO Z., *eCAADe 23: Digital design: The quest for new paradigms*, Édition: eCAADe, Lisbon, 2005.
- EDELMAN Shimon, *Representation and recognition in vision*, Édition: The MIT Press, Massachusetts, 1999.
- EISENMAN Peter, *House X*, Édition: Rizzoli, New York, 1982.
- EL-KHOURY Nada, *La prise en compte de la visibilité dans la conception d'un espace théâtral par des dispositifs numériques*, mémoire de maîtrise, Faculté de l'aménagement, université de Montréal, 2004.
- ENGELI M., *Digital stories: The poetics of communication*, Édition: Birkhauser, Berlin, 2000.

- FLEMMING U., VAN WYK S., *CAAD Futures '93: Proceedings of the fifth international conference on computer-aided architectural design futures*, Édition: North-Holland, Amsterdam, 1993.
- FRADIN, M., *Perspective conique : tracé Des Ombres*, Édition : Dessain et Tolra 1980.
- GALLI M. & MÜHLHOFF C., *Virtual Terragni: CAAD in Historical and Critical Research*, Édition: Birkhäuser, USA, 2000.
- GALOFARO L., *Digital Eisenman: An office of the Electronic Era*, Édition: Birkhäuser, Berlin, 1999.
- GERO S. John, *Computer Applications in Architecture*, Édition: Applied science publishers LTD, London, 1977.
- GERO S. J. & BILDA Z., *Do we need CAD during conceptual design?* , Dans: CAAD Futures 2005.
- GERO S. J. & STANTON R., *Artificial Intelligence Developments and application*, Édition: North-Holland, Amsterdam, 1988.
- HERNANDEZ Gabriel, *La prise en compte de la lumière naturelle pendant la conception architecturale à l'aide des outils informatiques. Modèles et représentation*. Mémoire de maîtrise, Faculté de l'aménagement, université de Montréal, 2002.
- HERSANT Yves, *La peinture, par Leon Battista Alberti*, Édition: Seuil, Paris, 2004.
- IORDANOVA I., *Les objets-types en conception architecturale et leur représentation par la modélisation du savoir-faire*, Mémoire de maîtrise, Faculté de l'aménagement, université de Montréal, 2000.
- JOLIVALT Bernard, *Studio Graphique : LightWave 7.5 ®*, Édition : CampusPress, Paris, 2002.
- KALAY Yehuda E., *Architecture's new media: principles, theories and methods of computer-aided design*, Édition: The MIT press, London, 2004.
- KEMPER Alfred M., *Pioneers of CAD in architecture*, Édition: Hurland/Swenson, California, 1985.
- LIU Yu-Tung, *Developing digital architecture*, Édition: Birkhäuser, Switzerland, 2003.

- LOYER Michel, *La CAO, le DAO*, Édition : Que sais-je ? , Paris, 1991.
- MACULET R. & DANIEL M., Dans : *Conception, modélisation géométrique et contraintes en CAO : Une synthèse*, Rapport de Recherche LSIS-2003-005, Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes, UMR CNRS, France, 2003.
- MARTENS B. & BROWN A., *CAAD Future 2005: Learning from the past*, Édition: Osterreichischer Kunst- und Kulturverlag, Vienne, 2005.
- MAVER T & WAGTER H, *CAAD' futures 87: Proceeding of the Second International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Eindhoven, the Netherlands, 20-22 May 1987*, Édition: Elsevier, Amsterdam, 1988.
- McCULLOUGH M., MITCHELL W. J & PURCELL P., *The Electronic Design Studio: Architectural Knowledge and Media in the Computer Era*, Édition: The MIT press, USA, 1990.
- MILNE Murray, *Computer Graphics in Architecture and Design*, Édition: Yale school of Art and Architecture, Connecticut, 1969.
- MITCHELL William J. & MC CULLOUGH, *Digital design media*, Édition: Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- MITCHELL William J. & PURCELL Patrick, *The electronic design studio; Architectural knowledge and media in the computer era*, Édition: MIT Press, Massachusetts, 1990.
- MORGAN Gon Way Lloyd & ZANPI Giuhiano, *Virtual architecture*, Édition: Mc Graw Hill, North-America, 1995.
- M.R.E.S, *Nouvelles images et communications en architecture et urbanisme*, Édition: P.P.R.I.U.T.H, Paris, 1986.
- NEGROPONTE Nicholas, *Computer Aids to Design and Architecture*, Édition: Petrocelli / Charter, New York, 1975.
- NEGROPONTE Nicholas, *The Architecture Machine*, Édition: The MIT, USA, 1970.
- NOVITSKI B. J., *Rendering real and imagined buildings*, Édition: Rockport, Massachusetts, 1998.
- OMURA George, *Mastering AutoCAD 2006 and AutoCAD LT 2006*, Édition: Sybex, Alameda [Calif.], 2005.

- PALAMIDESSI C., GLASER H. & MEINKE K., *Principles of declarative programming: 10th international symposium, PLILP'98*, Édition : Springer, New York, 1998.
- PONGRATZ Christian & PERBELLINI Maria Rita, *Natural Born: 'CAADESIGNERS' Young American Architects*, Édition: Birkhäuser, USA, 2000.
- PRITI S. & AKIRA M., *The Cambridge handbook of Visuospatial thinking*, Édition: Cambridge University Press, 2005.
- RADFORD Antony & STEVENS Garry, *CADD made easy: A comprehensive guide for architects and designers*, Édition: Mc Graw-Hill Book company, USA, 1987.
- RAPPOLT M. and VIOLETTE R., *Gehry draws*, Édition: Violette, Londre, 2004.
- RAYNAUD Dominique, *L'hypothèse d'Oxford : essai sur les origines de la perspective*, Édition: Presses universitaires de France, Paris, 1998.
- REYNOLDS R.A., *Computing for architects*, Édition: Butter Worths, Great Britain, 1987.
- RICORDEAU Christian, *Une histoire de l'art*, Tour, 1995.
<http://pro.wanadoo.fr/quatuor/exArC1.htm>
- RIVERO Victor, *Une contribution à la conception architecturale assistée par ordinateur : Le système Sigma-Archi*, thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble, université scientifique et médicale de Grenoble, 1977.
- RYAN L. Daniel, *Computer-aided graphics and design*, Édition: Dekker, New York, 1979.
- ROGER Laurent, *De l'image naturelle à l'image artificielle*, Édition : In Extenso, recherche à l'école d'architecture Paris -Villemin, Paris, 1988-1989.
- SCHAARWACHTER, G., *Perspectives for architecture*, Édition: Frederick A. Praeger, New York, 1967.
- SCHMITT Gerhard, *Information Architecture: Basis and future of CAAD*, Édition: Birkhauser, Berlin, 1999.
- SMITH K., MORIARTY S., BARBATSIS G. & KENNEY K., *Handbook of visual communication: Theory, methods, and media*, Édition: LEA, New Jersey, 2005.
- STEELE James, *Architecture and computers: action and reaction in the digital design revolution*. Édition: Watson-Guptill, New York, 2001.

- TIDAFI Temy, *Moyens pour la communication en architecture : proposition de la modélisation d'actions pour la figuration architecturale*, Thèse Ph. D, Faculté de l'aménagement, université de Montréal, 1997.
- VELTMAN Kim H., *Studies on Leonardo da Vinci I: Linear perspective and the visual dimensions of science and art*, Édition: Deutscher Kunstverlag, Munich, 1986.
- WAEL Abdelhameed A., *How Does the Digital Environment Change What Architects Do in the Initial Phases of the Design Process?* , dans: Communicating Space(s) [24th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 0-9541183-5-9] Volos, Greece, 6-9 September 2006, pp. 532-539.
- WAEL Abdelhameed A., *Digital-Media Impact on the Decision-Making Capability of Architects*, dans: SIGraDi 2005 - [Proceedings of the 9th Iberoamerican Congress of Digital Graphics]. Lima, Peru, 21-24 november 2005, vol. 1, pp. 478-482.
- WAEL Abdelhameed A, *A Java program model for design-idea exploration in three dimensions: Employed Visual Perception in Mass Exploration Process*, dans: 1st ASCAAD International Conference, e-Design in Architecture, KFUPM, Dhahran, Saudi Arabia. December 2004, pp. 59-69.

Revues :

- ACADIA QUARTERLY, *volume 17 – 18*, (1998-1999).
- ACADIA QUARTERLY, *volume 15 – 16*, (1996-1997).
- Architecture d'Aujourd'hui, *AA 325*, p64-84, déc. 1999.
- ECAADE, Dans: Digital ECAADE Proceedings 1983-2000, 2001. (CD-Rom).

Sources documentaires Internet :

- <http://www.acadia.org>
- <http://www.caadria.org/index1.html>
- <http://www.ecaade.org>
- <http://www.sigradi2005.org>
- <http://cuminCAD.scix.net/cgi-bin/works/Home>
- <http://www.povray.org/documentation/view/3.6.1/3/>

ANNEXE :

Code (script) – (Modélisation 3D sur ; Pov-Ray v.3.6) :

Reconstitution par modèle informatique de l'unité d'habitation, (de Le Corbusier), à Pessac :

```
#include "colors.inc"
#include "transforms.inc"
#include "math.inc"
##include "shapes.inc"
##include "shapes2.inc"

// Persistence of Vision Ray Tracer Scene Description File
// File: Modèle.pov
// Vers: 3.6
// Date: 10/03/2006
// Auth: Riad

#version 3.6;

global_settings {
  assumed_gamma 1.0
  max_trace_level 5
}

// -----
#declare Red    = rgb <1, 0, 0>;
#declare Green  = rgb <0, 1, 0>;
#declare Blue   = rgb <0, 0, 1>;
#declare Yellow = rgb <1, 1, 0>;
#declare Cyan   = rgb <0, 1, 1>;
#declare Magenta = rgb <1, 0, 1>;
#declare Clear  = rgbf 1;
#declare White  = rgb 1;
#declare Black  = rgb 0;
// -----

camera {
  location <-25, 1.7, -15>      // <-10, 1.7, -5> // <-25, 4.7, -5>
  direction 1.75*z
  right   x*image_width/image_height
  look_at <0.0, 4.7, 0.0>      // <1.7, 1.7, -0.0> // <0.0, 2.7, 0.0>
  focal_point <0.0 ,4.7, 0.0>  // point that is in focus <X,Y,Z>
}

sky_sphere {
  pigment {
    gradient y
    color_map {
      [0.0 rgb <0.6,0.7,1.0>]
      [0.7 rgb <0.0,0.1,0.8>]
    }
  }
}
```

```

}

light_source {
  <0, 0, 0>      // light's position (translated below)
  color rgb <1, 1, 1>
  translate <-30, 30, -15>
}
// -----
plane {          // checkered floor
  y, 0
  texture
  {
    pigment {
      checker
      color Gray40
      color Gray40
      scale 1
    }
    finish{
      diffuse 0.8
      ambient 0.1
    }
  }
}
// -----
// Bloc R.D.C :

# declare mur_exterieur0 =
difference {
  box {
    <0, 0.1, 0>      // <x,z,y>
    < 13.5, 3.0, 5>
  texture {
    pigment {
      color Blue filter 0.9)
    }
  }
  box {
    <0.2, 0.05, 0.2>
    < 13.3, 3.05, 4.8>
  texture {pigment {color Blue filter 0.9}
    }
  }
}
;
// -----
// Bloc étage :

# declare mur_exterieur1 =
difference {
  box {
    <0, 2.95, 0>      // <x,z,y>
    < 13.5, 6.0, 5>
  texture {
    pigment {
      color Blue filter 0.9

```

```

}
}
}
box {
  <0.2, 2.90, 0.2>
  < 13.3, 6.05, 4.8>
  texture {pigment {color Blue filter 0.9}
  }
}
;
// -----
// Bloc 2e étage :

# declare mur_exterieur2 =
difference {
  box {
    <0, 5.95, 0>      // <x,z,y>
    < 13.5, 9.90, 5>
  texture {
    pigment {
      color Blue filter 0.9
    }
  }
  }
  box {
    <0.2, 5.90, 0.2>
    <13.3, 10.0, 4.8>
  texture {pigment {color Blue filter 0.9}
  }
}
;
// -----
#declare Plancher =
box {
  <0.08, -0.08, 0.02>  // <x,z,y>
  <13.48, 0.12, 4.98>
  texture {
    pigment {
      color Gray70 filter 0.9
    }
    finish{
      diffuse 0.8
      ambient 0.1
    }
  }
}
;
// -----
# declare D = 0.000001 ; // Très petit nombre
// -----
// Bande d'ouvertures R.D.C - droite:

#declare Ouverture_droite =

```

```

    box {
    < 3.65, 0.0, -0.0-D>    // <x,z,y>
    < 5.65, 2.0, 0.20+D>  // <x,z,y>
    texture {
      pigment {
        color Blue
      }
    }
  }
;
// -----
// Bande d'ouvertures- porte-façade - rdc :

# declare ouverture_RDC_0 =

    box {
    <-0.001, 0.1, 1.25>    // <x,z,y>
    < 0.201, 2.5, 3.75>   // <x,z,y>
    texture {
      pigment {
        color Blue
      }
    }
  }
;
// -----
// Bande d'ouvertures R.D.C :

# declare ouvertures_rdc =

    difference {

    object { mur_exterieur0 }

    object { ouverture_RDC_0 }
    object { ouverture_RDC_0 translate <13.3,0,0.0>}

    object { Ouverture_droite translate <0.9,0.0,0.0>}
    object { Ouverture_droite translate <0.9,0.0,4.8>}
    object { Ouverture_droite translate <3.2,0.0,0.0>}
    object { Ouverture_droite translate <3.2,0.0,4.8>}
    }
;
// -----
    ouvertures_rdc
// -----
// Bande d'ouvertures 1er étage - droite:

#declare Ouverture_droite_1 =

    box {
    < 3.65, 4.1, -0.0-D>    // <x,z,y>
    < 5.65, 5.2, 0.20+D>  // <x,z,y>
    texture {
      pigment {
        color Blue

```

```

    }
  }
}
;
// -----
// Ouverture façade nord-ouest_1er:

#declare ouverture_facade_1 =

  box {
    <-0.01, 4.1, 0.20> // <x,z,y>
    <0.201, 5.1, 4.80>
  texture {
    pigment {
      color Blue
    }
  }
} ;
// -----
// Bande d'ouvertures 1er étage :

# declare ouvertures_etage =

difference {

  object { mur_exterieur1 }

  object { ouverture_facade_1 }
  object { ouverture_facade_1 translate <13.3,0.0,0.0>}

  object { Ouverture_droite_1 translate <0.9,0.0,0.0>}
  object { Ouverture_droite_1 translate <0.9,0.0,4.8>}
  object { Ouverture_droite_1 translate <3.2,0.0,0.0>}
  object { Ouverture_droite_1 translate <3.2,0.0,4.8>}
}
;
// -----
  ouvertures_etage
// -----
// Bande d'ouvertures 2e étage - droite:

#declare Ouverture_droite_2 =

  box {
    <3.65, 7.1, -0.0-D> // <x,z,y>
    <5.65, 8.2, 0.20+D> // <x,z,y>
  texture {
    pigment {
      color Blue
    }
  }
}
;
// -----

// Bande d'ouvertures- porte 2e étage - droite:

```

```

#declare Ouverture_porte_escalier_2e =

    box {
    <3.45, 6.05, -0.0-D>    // <x,z,y>
    <4.45, 8.20, 0.20+D>    // <x,z,y>
    texture {
        pigment {
            color Blue
        }
    }
    ;
// -----
// Ouverture façade nord-ouest_2e:

#declare ouverture_facade_2 =

    box {
    <-0.001, 7.1, 0.20>    // <x,z,y>
    < 0.201, 8.1, 4.80>
    texture {
        pigment {
            color Blue
        }
    }
    ;
// -----
// Bande d'ouvertures 2e étage :

# declare ouvertures_2_etage =

difference {
    object { mur_exterieur2 }

    object { ouverture_facade_2 }
    object { ouverture_facade_2 translate <13.3,0,0.0>}

    object { Ouverture_droite_2 translate <0.9,0,0.0>}
    object { Ouverture_porte_escalier_2e translate <-0.05,0,4.8>}
    object { Ouverture_porte_escalier_2e translate <5.55,0,0.0>}
    object { Ouverture_droite_2 translate <0.9,0,4.8>}
    object { Ouverture_droite_2 translate <3.2,0,0.0>}
    object { Ouverture_droite_2 translate <3.2,0,4.8>}
    }
    ;
// -----
    ouvertures_2_etage
// -----
    object { Plancher translate <0, 2.9, 0> }
    object { Plancher translate <0, 5.9, 0> }
    object { Plancher translate <0, 8.9, 0> }
// -----
// Buanderie :

# declare Buanderie =

```

```

box {
  <3.35, 11.8, 0>      // <x,z,y>
  < 10.25, 12, 5>
texture {
  pigment {
    color Blue
  }
}
}
;
// -----
Buanderie
// -----
#declare Mur_interieur =
box {
  <6.65, 9, 0.05>      // <x,z,y>
  < 6.85, 11.8, 4.95>
texture {
  pigment {
    color Blue
  }
  finish{
    diffuse 0.8
    ambient 0.1
  }
}
}
;
// -----
Mur_interieur

object { Mur_interieur translate <0, -3, 0> }
object { Mur_interieur translate <0, -6, 0> }
object { Mur_interieur translate <0, -9, 0> }
// -----
#declare Poteau =
box {
  <0.0, 9, 0.0>      // <x,z,y>
  < 0.2, 11.8, 0.2>
texture {
  pigment {
    color Blue filter 0.9
  }
}
}
;
// -----
object { Poteau translate <10.1, 0, 4.8> }
// -----
#declare i=1;
#while (i<4)      // multiplication de 'i'
  object { Poteau translate <i*3.35, 0.0, 0.0> } //<x,z,y>
#declare i=i+1;
#end

#declare j=1;

```

```

#while (j<2)          // multiplication de 'j'
  object { Poteau translate <3.35, 0.0, j*4.8> } //<x,z,y>
#declare j=j+1;
#end
// -----
#declare Palier_escalier_ext =
  box {
    <6.85, 5.9, 0.0>      // <x,z,y>
    < 8.05, 6.1, -1.0>
  texture {
    pigment {
      color Blue filter 0.9
    }
  }
  ;
// -----
#declare Garde_corp_elem = // face ...
  box {
    <7.6, 6.3, -0.85>      // <x,z,y>
    <8.8, 7.5, -1.0>
  texture {
    pigment {
      color Blue filter 0.9
    }
  }
  ;
// -----
#declare Rhomboid =
  intersection
  {plane {-x, -0.25 rotate <0, 0, -30>}
  plane { x, 3.70 rotate <0, 0, -30>}
  plane { z, 0.20 }
  plane {-z, 0.00 }
  plane { y, 0.95 }
  plane {-y, 0.50 }
  texture {
    pigment {
      color Blue filter 0.9
    }
  }
  }
  bounded_by {box { <0.25, 0.0, 0.0>      // <x,z,y>
    <4.75, 5.0, 0.2> }}
  rotate z*229
  translate <2.0, 7.85, 0.0>
  }
  ;
// -----
#declare La_volee =
  box {
    <8.45, 6.50, 0.0>      // <x,z,y>
    < 8.6, 2.80, -1.0>
  texture {
    pigment {
      color Blue filter 0.9
    }
  }

```

```

    }
  }
  rotate z*138

  translate <18.6, 5.12, 0.0>
  }
  ;

// -----
#declare Garde_corp_elem_lateral = // lateral - 2...
box {
  <7.8, 6.3, -0.0> // <x,z,y>
  <8.0, 7.5, -1.0>
  texture {
    pigment {
      color Blue filter 0.9
    }
  }
}
;

// -----
#declare main_courante_elem =
  object { Garde_corp_elem translate <2.70, 2.4, 0.0> }
// -----
#declare Gard_corp =
  union {
    object { Rhomboid translate < 8.5, 2.25, -1.0 > } // .....
    object { main_courante_elem }
    object { Garde_corp_elem translate <-0.75, -0.38, 0.0> }
  }
;

// -----

#declare Garde_corp_elem_lateral2 =
  object { Garde_corp_elem_lateral translate <3.5, 2.4, 0.15> } // lateral - 1 .....
;

// -----
#declare Element_escalier =
  union {
    object { Palier_escalier_ext }
    object { Palier_escalier_ext translate <3.45, 2.8, 0.0> }
    object { Gard_corp }
    object { La_volee }
    object { Garde_corp_elem_lateral translate <-0.95, -0.38, 0.15> } // lateral - 1_1
.....
    object { Garde_corp_elem_lateral2 }
  }
;

// -----
  object { Element_escalier translate <2.55, 0.0, 0.0> }

  object { Element_escalier
    rotate y*180
    translate <11.5, 0.0, 5.0> } // <x,z,y>

```