

Université de Montréal

Le diagramme:
Description informatique d'opérateurs de transformation
dans un processus de conception architecturale

par
Deirdre Ellis

Faculté de l'aménagement

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maîtrise ès sciences appliquées
en Aménagement
Option «conception, modélisation et fabrication assistées par ordinateur»

Août, 2001

© Deirdre Ellis, 2001



NA

9000

U54

2002

V.002

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé:

Le diagramme:
Description informatique d'opérateurs de transformation
dans un processus de conception architecturale

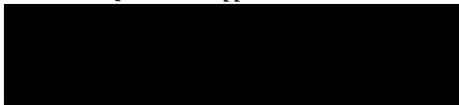
présentée par:

Deirdre Ellis

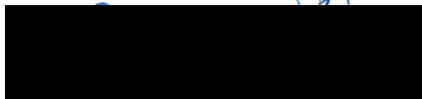
a été évalué par un jury composé des personnes suivantes:



président-rapporteur



directeur de recherche



co-directeur de recherche



membre du jury

Mémoire accepté le: 7 janvier 2002

RÉSUMÉ

L'objectif de la présente recherche est d'élaborer une description informatique d'une approche qui permet la manipulation dynamique des interactions entre différents aspects d'un projet architectural. Nous avons commencé par une étude du processus de conception architectural qui nous a permis d'identifier les opérations de base. Parmi les représentations qui appuient la conception nous avons repéré le diagramme comme outil important. Nous avons exploré les méthodes d'analyse du projet architectural afin d'identifier les principes de base pour notre approche et d'élaborer une méthodologie analytique pour l'étude de cas. Nous avons étudié trois approches à la conception assistée par ordinateur afin de définir les propriétés informatiques de notre approche.

Nous avons entrepris, ensuite, une étude de cas de la villa Savoye qui nous a permis d'identifier un processus de conception spécifique pour vérifier la cohérence de la base théorique, et sur lequel fonder l'approche pour la manipulation dynamique des interactions. Dans la dernière partie de notre recherche, nous avons élaboré la description informatique de l'approche à partir des fonctions développées lors de l'expérimentation.

Nous avons constaté que la définition générique des composantes du système permet une flexibilité importante quant à la mise en pratique de l'approche. L'approche laisse la définition des composantes et donc la description des connaissances dans les mains du concepteur tout en lui permettant de sauvegarder ces connaissances dans l'environnement informatique. L'approche devrait, alors, être en mesure de supporter différentes méthodologies de conception.

MOTS CLÉS

processus de conception, représentation, conception architecturale assistée par ordinateur

ABSTRACT

The objective of this research is to elaborate a description of a computational approach, which will allow for the dynamic manipulation of interactions between different aspects of an architectural project. We began with a study of the architectural design process, which allowed us to identify the basic operations. From among the representations that support the design process, we identified the diagram as an important tool. We explored the methods of analysis of the architectural project in order to identify the essential principles to include in our approach and to establish the analytical method to use in the case study. We looked at three approaches of computer- aided design in order to define the computational properties of our approach.

We then undertook a case study of the Villa Savoye that allowed us to identify a specific design process in order to verify the coherency of our theoretical foundation and on which to base our approach for the dynamic manipulation of interactions. In the final part of our research we elaborated the computational description of the approach from functions developed during experimentation.

We determined that the generic definition of system components allows for significant flexibility in the implementation of the approach. The approach leaves the definition, and therefore the description of knowledge in the hands of the designer while allowing him to save this knowledge in the computer environment. The approach should, therefore, be able to support different design methodologies.

KEY WORDS

Design Process, Representation, Computer Assisted Architectural Design

TABLE DES MATIÈRES

Liste des tableaux	viii
Liste des figures	ix
Liste des sigles, liste des abréviations	xi
Remerciements	xiii
1 Introduction	1
1.1 Problématique	1
1.2 Cadre théorique	2
1.3 L'hypothèse de travail	4
1.4 Objectif de la recherche	4
1.5 Définitions des termes clés dans cette recherche	5
1.6 Le plan de travail	7
2 La conception architecturale	9
2.1 Le processus de la conception architecturale	9
2.2 Les outils traditionnels de la conception	12
2.3 Dessin comme outil de conception	14
2.4 Le diagramme	16
2.5 Les caractéristiques des représentations aux étapes préliminaires de la conception	18
2.6 Le rôle de l'outil informatique dans la conception	20
2.7 Conclusion du chapitre	21
3 L'analyse et le processus de conception architecturale	22
3.1 Les méthodes d'analyse étudiées	22
3.2 Analyse de la morphologie du projet architectural	24

3.3	L'étude du précédent comme approche analytique	27
3.4	Analyse des stratégies de conception - les forces	29
3.5	L'analyse de la configuration spatiale	32
3.6	Les concepts analytiques retenus	35
3.7	La méthodologie analytique	39
3.8	Conclusion du chapitre	40
4	Les approches pour la conception assistée par ordinateur	41
4.1	Survol des approches informatiques pour la conception architecturale	41
4.2	Cadre basé sur la logique pour la représentation des connaissances de conception	42
4.3	Un système génératif pour le support intelligent de la conception	44
4.4	Outil de conception assistée par ordinateur pour les processus de design conceptuel	46
4.5	Les concepts provenant du domaine de l'intelligence artificielle	48
4.6	Discussion des approches informatiques présentées	51
4.7	Les caractéristiques retenues pour l'approche informatique	53
4.8	Conclusion du chapitre	56
5	Étude de cas	57
5.1	Approche adoptée	57
5.2	Méthodologie de l'analyse	59
5.3	Présentation du projet de l'étude: la villa Savoye	59
5.4	L'analyse de la villa	63
5.5	Les résultats de l'analyse de la villa	76
5.6	Définitions des termes: unité, transformation et relation	78
5.7	Conclusion du chapitre	79
6	Constitution de l'outil informatique basée sur l'étude de cas	81
6.1	Les caractéristiques recherchées dans l'approche informatique.	81
6.2	La stratégie pour la constitution de l'approche informatique - le diagramme	84
6.3	La recherche dans le domaine connexe à notre proposition	86

6.4	Environnement informatique choisi pour l'expérimentation	87
6.5	La stratégie et l'organisation de l'outil informatique proposé	88
6.6	Conclusion du chapitre	92
7	Présentation de l'approche informatique développée	93
7.1	La structure de l'approche de diagramme dynamique	93
7.2	Le modèle dans l'approche du diagramme dynamique	94
7.3	L'interface - l'interaction concepteur-outil informatique	100
7.4	Les fonctions à la base de la mise en oeuvre de l'approche	102
7.6	La validation de la recherche	112
8	Conclusion	116
8.1	Comparaisons entre les résultats de l'expérimentation et l'objectif de la recherche	116
8.2	Pistes à développer	117
	Bibliographie	119
	Annexe	xiv

LISTE DES TABLEAUX

Table I. Organisation de l'étude morphologique (Adapté de Ching 1979).	26
Table II. Description générique de lieu.	97
Table III. Description générique d'une transformation.	98
Table IV. Description générique d'une relation.	100
Table V. Description des états des symboles lors du calcul du diagramme.	104
Table VI. Description informatique de l'approche proposée.	112

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Interprétation graphique de la conception à l'intersection de différents aspects du projet architectural telle que décrite par Cache (1995).	11
Figure 2. Exemple de diagramme présentant l'organisation spatiale linéaire (Ching 1979)	25
Figure 3. Exemple de diagramme analytique indiquant les forces du site. (Baker 1996)	31
Figure 4. Profondeurs totales des espaces et graphes justifiés des complexes.(Hillier 1996) . . .	33
Figure 5. Typologie topologique des espaces. D'après Hillier (1996).	35
Figure 6. Schéma de la coupe de la villa Savoye. (Le Corbusier 1960)	64
Figure 7. Projet E - Plan du rez-de-chaussée de la villa. (Le Corbusier & Jeanneret 1957b) . . .	65
Figure 8. Projet E - Plan de l'étage principal (Le Corbusier & Jeanneret, 1957b)	65
Figure 9. Graphe justifié de l'ensemble de la villa, illustrant la situation du projet E: 29 avril 1928	67
Figure 10. Graphe justifié illustrant la situation à chaque étage du projet E: 29 avril 1929. . . .	69
Figure 11. Graphe justifié illustrant la visibilité entre espaces pour le projet E. Les liens de visibilité sont indiqués par lignes continues.	70
Figure 12. Graphe justifié illustrant la situation de l'ensemble de la villa au projet D: 17 décembre 1928.	72
Figure 13. Graphe justifié illustrant la configuration de chaque étage du projet C: 26-27 novembre 1928.	73
Figure 14. Graphes justifiés illustrant les différences entre les variantes B1 et B2 de la villa. . .	74
Figure 15. Graphe justifié illustrant la situation de l'ensemble de la villa au projet A: 28 Octobre 1928.	76
Figure 16. Organisation de l'approche informatique.	91
Figure 17. La structure de l'approche informatique proposée.	94
Figure 18. Schéma du modèle du système.	95
Figure 19. Schéma des conditions du site de la villa Savoye. (Le Corbusier 1960)	104
Figure 20. Simulation du diagramme résultant de l'action de positionner la villa au centre du site.	105
Figure 21. Simulation graphique des résultats du calcul de la position du soleil par rapport au site de la villa Savoye.	106

Figure 22. Simulation du diagramme résultant de l'action de situer la vue par rapport au site.	107
Figure 23. Schéma de la circulation au rez-de-chaussée, et le jardin suspendu qui agit en tant que distributeur de lumière. (Le Corbusier 1960)	108
Figure 24. Simulation du diagramme résultant de positionner le salon et la terrasse à l'intérieur de l'espace_lieu (villa) par rapport aux conditions du site.	109
Figure 25. Schéma illustrant la fonction générique de lieu_espace	110

LISTE DES SIGLES, LISTE DES ABRÉVIATIONS

CAO conception assistée par ordinateur
DAO dessin assistée par ordinateur

À mon père, ma mère et mon frère

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord Manon Guité, ma directrice de recherche pour son appui et ses conseils aux moments clés de mon cheminement.

Je remercie Giovanni De Paoli qui m'a introduit au programme en CMFAO de la maîtrise et m'a rassuré quant au choix du domaine de mon enquête.

Je remercie également Temy Tidafi, Claude Parisel et Manon Guité pour m'avoir donné l'opportunité de participer à plusieurs projets au sein du GRCAO qui m'ont permis d'expérimenter avec plusieurs outils et plusieurs approches informatiques. Même si ces projets n'étaient pas directement reliés à mon sujet de recherche ils ont alimenté ma réflexion quant au support informatique de la conception architecturale et le rôle de l'outil informatique dans ce processus.

Finalement je remercie mes collègues en CMFAO pour toutes les discussions portant sur le domaine ainsi que les divertissements nécessaires qui ont allégé le cheminement.

1 INTRODUCTION

La transformation d'un état à un autre, le passage entre ici et là, le seuil entre la lumière et la noirceur m'ont toujours intrigué. Dans toutes ces choses c'est l'entre-deux, ce moment où la chose cesse d'être ce qu'elle était et devient ce qu'elle est. Je considère que le seuil entre les opposés apparents n'est pas une ligne de division mais une de médiation, un espace et un temps qui contient toute la possibilité de la transition. En fin de compte ce seuil, ce lieu d'entre-deux est rendu apparent par la différence entre les états, les lieux et les conditions qu'il sépare.

«Toute surface est une interface entre deux milieux où il règne une activité constante sous forme d'échange entre les deux substances mises en contact.»

«Cette nouvelle définition scientifique de la notion de *surface* [sic] nous montre la contamination en train de s'opérer: «la surface-limite» devient une membrane osmotique, un buvard... même si cette dernière étymologie est plus rigoureuse que les précédentes, elle n'en signale pas moins une mutation atteignant la notion de limitation. *La limitation de l'espace devient commutation* [sic], la séparation radicale, passage obligé, transit d'une activité constante, activité des échanges incessants, transfert entre *deux* [sic] milieux, *deux* [sic] substances. Ce qui était jusqu'à présent la frontière d'une matière, le «terminal» d'un matériau devient une voie d'accès dissimulée dans la plus imperceptible entité. Désormais, l'apparence des surfaces et des superficies cache une transparence secrète, une épaisseur sans épaisseur, un volume sans volume, une quantité imperceptible...» (Virilio, 1984)

Considérons que les deux environnements décrits par Virilio ci-dessus sont l'image mentale du concepteur et le modèle (dessins, écrits ou maquettes) créé pour la représenter. Nous pourrions considérer que l'image mentale existe dans un monde imaginaire alors que la représentation existe dans le monde réel. La représentation n'est plus l'opposé de l'image mentale mais son complément. Les deux images sont deux aspects du même phénomène, la conception. L'évolution du projet dépend de l'interaction entre ces deux environnements, c'est-à-dire le dialogue entre les représentations du projet et le schéma mental du concepteur, qui caractérisent le processus de conception architecturale.

1.1 Problématique

L'étape embryonnaire du processus de conception architecturale se caractérise par l'ajout, la suppression et la transformation des connaissances appliquées à l'idée conceptuelle. Il s'agit d'une clarification ou une ré-interprétation par les relations qui sont établies entre les différents aspects du

projet. Pour manipuler les interactions complexes entre les différents types de connaissances qui peuvent être impliqués dans la conception architecturale, diverses représentations, tel que le diagramme, sont utilisées pour extraire des aspects particuliers du projet. En particulier, le diagramme sert à expliciter certaines relations et qualités importantes, et ainsi permet d'établir quels concepts seront retenus et comment ils seront organisés pour constituer le projet architectural.

Bien que les dessins et les maquettes puissent présenter les différents concepts considérés par le concepteur il y a deux limites importantes qui s'annoncent:

- Un nombre très limité d'aspects d'un projet peut être traité simultanément.
- Les relations qui ne sont pas directement traitées dans la représentation sont temporairement ignorées

Il est donc difficile de vérifier toutes les conséquences des modifications apportées. Alors les concepteurs se confrontent à la difficulté de manipuler les interactions qui existent non seulement entre un aspect particulier et l'idée conceptuelle mais entre chacun des différents aspects du projet.

L'outil informatique a la capacité de traiter une quantité importante de données et de gérer les liens entre ces données. Mais pour ce faire, les données à traiter doivent être précises et les liens clairement établis. Les connaissances à incorporer ainsi que les relations entre les différentes parties du projet doivent être explicites. Par contre, les relations établies dans l'esprit du concepteur sont plutôt implicites, c'est-à-dire qu'il n'est pas toujours possible de repérer une logique spécifique qui mène à lier deux concepts disparates.

Cette réflexion nous amène à énoncer la question de départ: Comment est-ce que l'architecte peut s'approprier l'outil informatique pour que celui-ci supporte la manipulation et l'intégration des connaissances dans un processus de conception architecturale?

1.2 Cadre théorique

Dans un contexte de travail d'un processus qui procède en considérant les éléments un à un les relations entre les éléments sont secondaires. Les effets de ces interactions sont largement ignorés. L'objet a priorité sur l'ensemble. Les liens sont établis une fois que l'objet est complet. Cette façon

de considérer le projet s'inscrit dans un paradigme cartésien, c'est-à-dire qu'il est possible de décomposer le projet en éléments distincts et définir ces éléments sans référer à leurs relations avec d'autres éléments ni leur environnement. Les parties seront traitées individuellement et les objets distincts résultants seront assemblés par après pour créer un tout.

Par contre, nous avons énoncé une situation différente dans notre problématique. Le processus de conception implique d'abord une transformation dans le temps. Lors de ce processus il faut aussi considérer des informations disparates et tenir compte des liens établis entre diverses connaissances. Pour manipuler le projet le concepteur va extraire et traiter certains aspects, mais les aspects du projet ne peuvent être retirés complètement de l'environnement. Une étude analytique se fera sur les aspects sans considérer les relations entre eux. Or dans le contexte de la conception les relations sont primordiales.

La conception architecturale se caractérise par la complexité, étant donné le nombre et la variété des aspects qu'y participent, l'ambiguïté de la connaissance qui est impliquée dans la conception et la nature incomplète de cette connaissance. Trois définitions proposent la systémique (Durand, 1996) comme approche possible quant à la recherche de comment intégrer l'outil informatique au processus de conception architecturale:

«Ensemble d'éléments en interaction *dynamique*, organisés en fonction d'un but.»
de Rosnay

«Objet *complexe*, formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relations.»
J. Ladrière

«Unité globale *organisée* d'inter-relations entre éléments, actions ou individus.»
E. Morin

Selon Durand (1996) les quatre concepts fondamentaux de la systémique sont l'interaction, la globalité ou la non réductibilité à ses parties, l'organisation et la complexité.

L'interaction est essentielle pour l'évolution du projet. Il est impossible de réduire la conception à ses composantes. Le rassemblement de différentes étapes mène à quelque chose de complètement nouveau dans un processus vraiment créatif. Le processus de conception s'organise selon une ligne

directrice ou concept de base. Toute connaissance est traitée en fonction de cette ligne directrice. La complexité du processus de conception du projet architectural tient surtout aux liens établis entre les différents aspects. De plus, la complexité s'accroît avec les liens subtils, arbitraires et imprévisibles que le concepteur établit pour penser sa conception. Alors, pour répondre à notre question de départ nous adoptons un point de vue systémique. C'est-à-dire que nous considérons que la conception est un système à l'intérieur d'un espace de conception¹.

1.3 L'hypothèse de travail

Le diagramme est une représentation schématique qui facilite la manipulation des idées abstraites lors du processus de conception architecturale. La «traduction» du diagramme sous un environnement informatique augmentera la capacité de cette forme de représentation en lui ajoutant les propriétés de calcul et d'enregistrement. Ceci permettra une manipulation plus dynamique des interactions entre les différents aspects du projet architectural.

1.4 Objectif de la recherche

Notre objectif de recherche est d'arriver à un devis pour une approche informatique qui permet la manipulation dynamique des interactions entre différents aspects d'un projet architectural.

Nous identifions certaines tâches qui vont nous permettre de clarifier le contenu et l'organisation de l'approche informatique que nous proposons:

- Déterminer les concepts architecturaux qui sont présentés dans les diagrammes traditionnels et comment les connaissances représentées par ces concepts pourraient être incorporées dans un environnement informatique.

¹Terme équivalent à «*Design World*» employé par D. Schon pour référer à l'ensemble de conditions, contraintes, idées, etc. dont le concepteur dispose et à l'intérieur desquels il introduit sa conception.

- Déterminer comment les concepts architecturaux sont communiqués dans les diagrammes et les symboles qui sont utilisés, pour établir comment ces symboles pourraient être définis et utilisés dans notre approche informatique.
- Établir une organisation pour l'approche qui permettraient de voir les relations entre différents types de connaissances, entre les différentes composantes du processus de conception ainsi que le projet architectural, afin de démontrer l'effet d'une idée conceptuelle sur la transformation du projet en élaboration.

1.5 Définitions des termes clés dans cette recherche

Dans le cadre de cette recherche nous employons plusieurs termes dans la présentation des concepts utilisés pour établir notre proposition. La définition de chacun de ces termes peut être une étude en soi. Étant donné que cette recherche se limite à la question de la traduction informatique du diagramme pour faciliter la manipulation dynamique des connaissances lors du processus de conception, les définitions sont établies à partir de notre propre interprétation et compréhension de ces termes clés.

1.5.1 Le diagramme

Un diagramme est d'abord et surtout une abstraction qui traite non pas de l'exactitude des caractéristiques visuelles et surfaciques mais de la compréhension des relations sous-jacentes. Il comprend un ensemble de symboles qui peuvent être utilisés pour communiquer une multitude d'idées abstraites.

1.5.2 La conception

Le mot conception peut référer à plusieurs choses. Nous pouvons parler de la conception pour décrire la première idée du concepteur. La conception peut être un acte, un processus par lequel une idée est formalisée et le résultat du travail d'élaboration. Nous pouvons aussi référer au résultat du travail d'élaboration comme la conception. Pour clarifier cette situation et distinguer entre ces trois significations possibles de la conception, nous utilisons le mot conception pour décrire la

première idée mentale du concepteur. L'élaboration de cette idée deviendra le processus de conception. Le résultat du processus est le projet architectural. Lorsque nous utilisons l'expression «conception architecturale», nous référons à l'ensemble de ces trois significations.

1.5.3 La transformation

La transformation est un changement qui est perçu entre une étape et une autre. Nous reconnaissons deux types de transformations: les transformations latérales et les transformations verticales (Goel, 1995). La transformation latérale est la ré-interprétation d'une représentation (esquisse, dessin ou maquette) de la conception. Une transformation verticale réitère et renforce un dessin existant en l'expliquant et le détaillant.

Les phases embryonnaires se caractérisent surtout par les transformations latérales. Étant donnée que cette recherche vise l'étape préliminaire nous considérons que la transformation sera une transformation latérale. Pour indiquer l'autre type de transformation le terme transformation verticale sera employé.

1.5.4 Les connaissances

Les connaissances pour cette recherche correspondent à un ensemble d'idées et de concepts du domaine de l'architecture qui appuient et influencent le processus et donnent au concepteur des moyens pour naviguer dans l'espace de conception. D'une part, nous pouvons parler des idées sur lesquelles penser qui correspondent aux faits et aux données plutôt invariantes. D'autre part, nous considérons les idées avec lesquelles penser qui permettent d'encadrer des points de vue, c'est-à-dire élaborer des paradigmes, et de raisonner sur l'ensemble d'idées sur lesquelles penser pour vérifier leur cohérence. Ces ensembles d'idées correspondent à la connaissance substantive et la connaissance stratégique, c'est-à-dire ce qu'on sait et comment on arrive à le comprendre.

1.5.5 La représentation

Une représentation est toute manifestation visuelle ou tangible qui sert comme modèle d'une partie ou de l'ensemble de la conception architecturale. La représentation permet de saisir l'état de développement dans un processus de conception architecturale.

1.6 Le plan de travail

Pour répondre à notre question de départ nous organisons notre recherche de la façon suivante. Nous commençons par une étude sur le processus de conception architecturale et le rôle que jouent les représentations dans ce processus. Nous identifions tout d'abord les mécanismes à la base du processus ce qui nous amène à considérer les différentes représentations et comment elles sont impliquées dans l'opération de ces mécanismes. Nous repérons le diagramme qui joue un rôle double de représentation et outil de raisonnement dans le processus de conception architecturale. Nous considérons les systèmes de symboles utilisés dans les représentations et la corrélation des différentes représentations à différentes tâches lors du processus de conception. Ceci nous permet de choisir le diagramme parmi les représentations qui appuient le processus de conception, comme base pour notre exploration.

Ayant considéré le mécanisme du processus de conception nous portons ensuite notre attention sur son contenu. Le diagramme permet d'extraire et expliquer différents aspects du projet architectural lors de la manipulation des idées complexes, ce qui correspond à un acte d'analyse. La deuxième étape de notre recherche porte sur les approches d'analyse du projet architectural. L'étude des méthodes d'analyse nous permet de déterminer le contenu et les connaissances architecturales de base à inclure dans notre approche informatique.

La troisième étape de notre recherche consiste à regarder différentes approches de la conception assistée par ordinateur pour déterminer les moyens possibles pour la «traduction» du diagramme. Nous examinons des approches à la représentation des connaissances qui pourront être appropriées à notre démarche. Notre étude identifie les forces et les lacunes de trois approches au support à la conception qui nous permet de déterminer le rôle que devrait jouer l'outil informatique dans le

processus de conception. Nous pouvons ainsi déterminer les caractéristiques à retenir pour notre approche informatique.

Ces trois premières étapes de travail constituent notre base théorique. Pour vérifier la cohérence de notre base, nous entreprenons une étude de cas. Nous choisissons la villa Savoye de Le Corbusier pour plusieurs raisons. Entre autre, les dessins, croquis, esquisses et autres schémas de Le Corbusier indiquent une démarche, une méthode de travail qui s'aligne avec la démarche que nous cherchons à dupliquer sous un environnement informatique.

La dernière partie de notre recherche comprend le développement d'un devis pour notre approche informatique. L'étude de cas nous permet d'élaborer l'organisation de l'approche proposée qui se base sur le diagramme. À partir de cette organisation nous élaborons une structure pour le diagramme dynamique. Nous formalisons ensuite des fonctions, les actions repérées dans le scénario donné par notre étude de cas, la villa Savoye. Ces fonctions nous permettent de vérifier la cohérence de l'organisation de notre devis et compléter la validation de notre hypothèse de travail.

2 LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

La conception architecturale se caractérise par sa complexité et la diversité de tâches et des connaissances qu'y sont impliquées. Nous constatons que la conception demeure un acte mal compris, et qu'il est difficile sinon impossible de prédire les propriétés définitives du projet architectural résultant. Étant donné que la conception, telle que nous l'avons défini au premier chapitre, est un acte mental difficilement accessible et que le projet architectural dépend du processus qui le crée, nous commençons notre recherche en considérant le processus de conception architecturale.

D'abord nous identifions les mécanismes cognitifs à la base de ce processus. Ensuite nous considérons les représentations traditionnelles de la conception architecturale. Ceci nous amène à considérer le rôle du dessin en tant qu'outil de conception, ainsi qu'un type de dessin particulier - le diagramme. Nous repérons ensuite les caractéristiques des représentations aux étapes embryonnaires du processus de conception architecturale. Nous concluons le chapitre en considérant le rôle possible de l'outil informatique quant aux caractéristiques repérées.

2.1 Le processus de la conception architecturale

Le passage entre la conception et le projet architectural ne peut pas se faire directement, alors nous procédons par étape. Étant donné la nature ambiguë des problèmes de conception, chaque étape est la concrétisation des intentions qui sont vérifiées par les représentations. À la base du processus de conception il y a une sorte de dialogue entre le concepteur et sa conception où les représentations servent comme intermédiaires.

2.1.1 Les opérations à la base du processus de conception architecturale

L'acte mental de la conception implique la création d'une image ou d'une idée mentale qui peut être représentée sous forme de dessin ou maquette ou en mots. Un processus de conception peut être défini comme un mode de pensée, peut être interagissant avec le dessin ou l'écriture, qu'un concepteur suit pour réaliser un projet. Ces processus de pensée peuvent être personnels ou intuitifs ou basés sur des méthodologies d'instruction clairement définies (Hewitt 1985).

Selon Hewitt la conception est le premier et l'élément fondamental dans une triade d'opérations inter-liées: penser, voir, dessiner (Hewitt 1985). Pour passer de l'idée au projet concret le concepteur va suivre une démarche qui a pour but le développement et l'élaboration de l'idée mentale jusqu'à ce que celle-ci soit réalisée, concrétisée dans le projet architectural. Le processus de conception est la traduction, la transformation de l'idée abstraite en projet concret.

“And it is at this moment that each of us entering into the act of making - whether by traditional or electronic means - mediate ourselves and our architecture between conception, intention, and perception. It is at that moment that we begin that tenuous dance between what we think it is, what we want it to be, and what it might become.” (De Laura 1997)

Ce processus commence avec la conception, l'acte mental d'initiation (De Laura 1997). La conception implique la création d'une image mentale ou schéma. Cette image mentale n'existe que dans un état embryonnaire, pré-embryonnaire dans le logos (rationalité suprême gouvernant le monde). La conception n'a pas de forme palpable qui peut être mise au monde, ni moyens de communication. Elle exige un environnement pour la rendre compréhensible.

Dans ces deux descriptions nous retrouvons une triade d'opérations pour le processus de conception. Nous formalisons la triade comme suit:

- **Idéation**, qui est la création de l'idée mentale,
- **Intention**, qui est l'établissement d'une orientation, direction ou volonté pour la conception, et
- **Perception**, qui est l'appréhension des caractéristiques et possibilités de la conception.

2.1.2 Les représentations des opérations - les aspects d'image

Cache (1995) utilise le terme image pour décrire l'ensemble de tous les documents d'un projet architectural en élaboration. Il regroupe ces représentations en trois catégories: (1) le plan du lieu, c'est-à-dire tout ce qui est relié à la situation du départ, (2) les esquisses, c'est-à-dire les tentatives du concepteur à répondre au problème posé et (3) les plans du bâtiment, soit la réponse définitive au problème posé. Ces images correspondent successivement à trois éléments formels: **inflexion**,

vecteur et **cadre** que selon Cache (1995), s'appliquent simultanément à la forme et la fonction des représentations.

Nous considérons ces trois éléments essentiels dans l'élaboration de la signification dans le processus de conception et dans la représentation du projet architectural. D'une part nous constatons qu'il s'agit d'une triade d'éléments inter-liés qui sont les composantes de l'image. D'autre part nous aurons à considérer une nouvelle compréhension du terme «image» et les implications pour l'élaboration de notre approche informatique.

Nous associons aux éléments formels inflexion, vecteur et cadre les trois opérations du processus de conception: idéation, intention et perception. Nous retenons le concept de modélisation décrit par Cache (1995): L'image primaire n'est plus l'image de l'objet mais l'image de l'ensemble des contraintes à l'intersection desquels l'objet est créé. Cet objet ne reproduit pas un modèle d'imitation mais actualise un modèle de simulation (**Figure 1**).

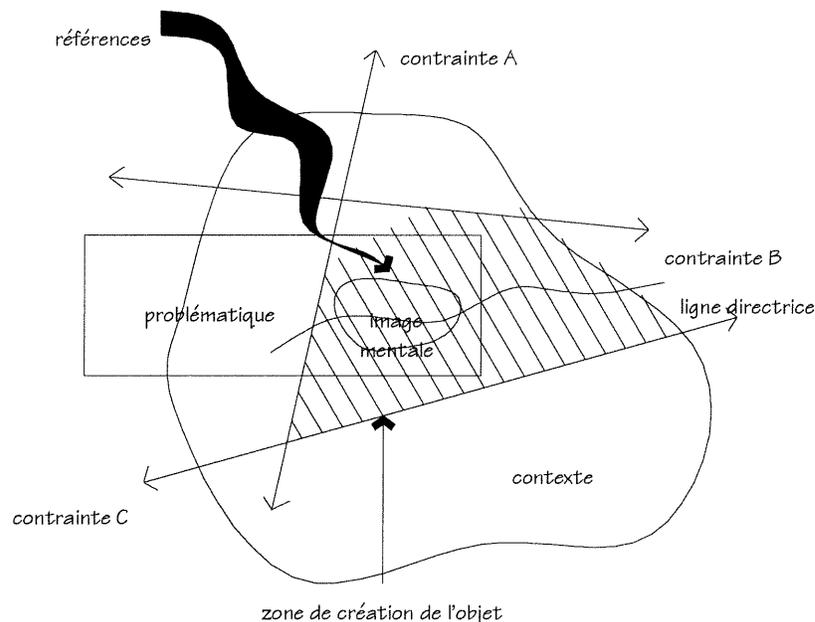


Figure 1. Interprétation graphique de la conception à l'intersection de différents aspects du projet architectural telle que décrite par Cache (1995).

Les différents aspects du projet sont en interaction. Il y a un effet cumulatif, où l'application de connaissance se fait en fonction de ce qui est déjà présent dans l'environnement. De plus la connaissance, qui entraîne une transformation dans la conception peut être transformée par le contexte dans lequel elle s'insère. Alors les résultats ne sont pas toujours prévisibles. Les relations vont déterminer les interactions entre multiples événements catalyseurs et la façon dont l'ensemble va se manifester dans le contexte du processus de conception.

2.2 Les outils traditionnels de la conception

Dans un processus de conception nous travaillons en représentations multiples utilisant une ou plusieurs formes de représentations (esquisses, croquis, diagrammes et maquettes) pour développer un concept. Par la suite cette idée conceptuelle est traduite en d'autres représentations pour donner un aperçu quant à la forme, la fonctionnalité, etc., du projet architectural. Chaque nouvelle représentation va informer les précédentes jusqu'à ce que toutes les représentations définissent un projet unique qui répond aux intentions du départ (Eastman & Lang 1981)

Tout outil utilisé lors du processus de conception architecturale influence non seulement la forme architecturale résultante mais aussi la façon de faire l'architecture également. Ce phénomène s'est produit tout au long de l'histoire de l'architecture et l'histoire des moyens dont les architectes se sont servis pour représenter le projet architectural (Hewitt, 1985). Alors nous considérons quelques uns des outils traditionnels qui ont été utilisés dans le processus de conception architectural et la relation entre les moyens de représentation et le contenu représenté.

2.2.1 Les représentations dans l'histoire

Dans son étude sur les formes figuratives et les modes de conception, Hewitt (1985) identifie des formes de représentations à quatre périodes dans l'histoire. Les architectes grecs «dessinaient» avec les mots. Ils utilisaient des *Syngraphai* qui étaient des devis descriptifs détaillés qui incluaient même des dimensions. Les détails telles que les corniches et la sculpture ornementale étaient décrits par les *Paradeigma*, des maquettes à l'échelle réelle.

Les maîtres-maçon au Moyen Âge employaient également les maquettes à l'échelle réelle lors de la construction. La conception des églises et cathédrales complexes était faite à partir de plusieurs différents types de plans qui étaient générés géométriquement avec des outils simples tel que le compas et l'équerre (Hewitt 1985).

Suite à la découverte de la construction scientifique de la perspective linéaire par Brunelleschi, les architectes de la Renaissance ont expérimenté avec cette nouvelle technique de plusieurs façons. La coupe en perspective a supplanté la coupe orthogonale pour représenter l'intérieur des bâtiments (Hewitt 1985).

À partir de la fin du 18^{ième} siècle jusqu'au milieu du 19^{ième} siècle les étudiants à l'École de Beaux-Arts à Paris suivaient un programme cartésien rigide qui mettait l'accent sur l'appréhension des objets incluant les bâtiments comme solides géométriques qui pouvaient être coupés et analysés selon le plan, la coupe et l'élévation, le dessin géométral (Hewitt 1985).

Les exemples énoncés ci-haut illustrent le lien entre la représentation et la production architecturale. Dans tous les cas, le contenu, l'information à communiquer est d'ordre technique. Les caractéristiques d'ordre philosophique, métaphysique et poétique étaient liées aux outils utilisés pour générer les représentations, c'est-à-dire que la constitution de l'outil même était fondée sur une philosophie ou vue du monde particulière.

2.2.2 Le fonctionnel et le poétique dans la représentation

Meisenheimer (1987) propose deux catégories de dessins: le dessin fonctionnel et le dessin poétique. Un dessin architectural est d'abord et surtout un instrument de clarification. Son but est de faire une déclaration à propos d'une structure qui va être construite, pour décrire certaines caractéristiques, sa grandeur, sa localisation, sa forme, sa construction, les matériaux, etc., utilisant soit des similitudes figuratives, soit des signes symboliques. Un tel dessin n'existe pas pour sa propre qualité matérielle, sa valeur n'est pas en soi.

D'après Meisenheimer (1987) cette situation est différente pour ces dessins qui essaient d'exprimer le non-définissables: traces de mémoire et les rêves du dessinateur, provocations de l'observateur,

évoqueries vagues ou gestes de thèses philosophiques. Ces dessins poétiques ne vont pas informer mais persuader, ravir l'observateur. Les transmissions, les interactions qui résultent de ces dessins opèrent sur tous les niveaux possibles et non pas seulement sur ceux d'ordre technique.

Ces deux catégories de dessin illustrent la complémentarité entre les deux types d'information que nous cherchons à incorporer dans les représentations du processus de conception. Jusqu'à présent, l'outil informatique s'est intégré à la génération des représentations du type fonctionnel avec les programmes de dessin assisté par ordinateur ou DAO. Le contenu de ces types de représentation ne dépendait pas traditionnellement du mode de production. Leur traduction sous forme informatique s'est faite plus ou moins facilement. Par contre, dans les cas des dessins poétiques le contenu est lié au mode de production. La matérialité de la représentation, le coup de pinceau, la qualité du trait, ajoutait une dimension d'information qui était difficile à communiquer. La conception cherche à communiquer ce type d'information poétique.

2.3 Dessin comme outil de conception

Le processus de conception est la traduction d'une idée en projet architectural. Différentes traductions sont nécessaires en fonction de l'information à communiquer. Le dessin traditionnel permet la représentation des idées et concepts abstraits dont la forme est plutôt schématique que géométrique. Certains types de dessins, tels les dessins poétiques, expressifs, les diagrammes, les esquisses, permettent la modélisation, l'expression de la logique interne, la ligne directrice de la conception. Chaque couche d'information ajoutée à sa description doit se manifester d'une manière qui est visible. Les dessins sont faits lors du processus de conception pour expliciter les effets possibles d'une relation ou une contrainte ou une connaissance, sur l'élaboration du projet. Les étapes préliminaires de la conception sont une période d'abstraction où le travail de conception se fait par la manipulation de connaissances et non pas uniquement des formes géométriques.

Avec l'outil informatique, le modèle, la représentation n'est plus un objet concret. Nous ne pouvons pas toucher ou travailler les représentations de façon directe comme avec les outils traditionnels. Ceci implique que l'outil informatique nous amène à repenser non seulement la forme de la représentation mais la façon dont elle est générée. De plus, si nous considérons que dans l'acte de conception dessiner est une forme de penser, pour passer à l'outil informatique nous

sommes obligés de trouver une autre façon de penser l'élaboration du projet, le processus de conception.

"[...] while it is probably not possible to make a drawing without a conscious intention, the drawing does possess a life of its own, an insistence, a meaning, which is fundamental to its existence. That a certain set of marks on a field can play back into one's mind and consequently bring forth further elaboration is the nature of this quite wonderful language. Good drawing, by virtue of this intrinsic reciprocity between mind and act, goes beyond simple information, allowing one to fully participate in its significance, its life." (Graves 1979)

Graves (1979) considère que l'exploration d'une idée par le dessin est un acte spéculatif. Le dessin est une notation plutôt fragmentaire ou ouverte, ce qui contribue à sa nature spéculative. La ré-interprétation du dessin et la perception de forme, d'un aspect ou de la solution au complet se font en comblant l'image incomplète. Il identifie trois catégories de dessins: (1) l'esquisse référentielle, le carnet ou journal de l'architecte, (2) l'étude préparatoire, qui documente un processus d'exploration, une série de variations sur un thème plutôt didactique, et (3) le dessin définitif, dessin qui devient l'instrument pour répondre aux questions posées sur l'étude préparatoire, dessin pour présenter les idées du projet.

"The moment an idea is transferred from a designer's mind to an external form is a critical point in the life of any architectural design concept. In order to give birth to the idea the designer must adopt some form of abstraction which represents or reflects the pictures in the mind. The process of abstraction usually involves a use of embryonic ideograms, descriptive symbols or annotation - images and words which combine to chart the potential relationships between the concept and reality. The diagram appears most useful in these crucial moments for, in functioning as a constructive doodle, it is clearly more concerned with the essence of ideas, than the prediction of appearance." (Porter 1997)

Le dessin devient le moyen pour communiquer et alors vérifier la cohérence de la conception en élaboration. Le raisonnement sur le projet se fait non seulement à partir des représentations complètes mais aussi dans l'acte même de la construction de ces dessins. Les gestes qui sont posés sur la surface porte en eux des implications et des conséquences pour l'ensemble du projet. Le concepteur utilise les dessins pour élargir et redéfinir son espace de conception, pour accéder à la conception qu'il tient dans son esprit.

2.4 Le diagramme

La complexité de la conception nécessite le découpage du projet en parties pour mieux comprendre l'effet de l'introduction de différentes couches d'information et contraintes dans l'évolution du projet. Le concepteur va utiliser des diagrammes pour exprimer et analyser certains aspects du projet en évolution. Ces diagrammes seront liés et structurés grâce à la ligne directrice de la conception.

2.4.1 La définition du diagramme

Un diagramme est d'abord et surtout une abstraction qui ne traite pas de l'exactitude des caractéristiques visuelles et surfaciques mais de la compréhension des relations sous-jacentes. Le diagramme est un moyen efficace pour communiquer les questions relatives aux dynamiques spatiales, la circulation, les principes d'ordonnement, les forces telles que l'orientation, le soleil et la direction des vents, la configuration spatiale et d'autres idées qui influencent la morphologie du bâtiment. Le diagramme fournit un moyen pour établir le rapport de telles idées abstraites avec le problème de conception, permettant ainsi de le structurer davantage avant de passer aux questions de géométrie et de matérialité. Le diagramme est aussi un moyen d'établir une hiérarchie d'importance entre des idées en conflit.

2.4.2 Les différents types de diagramme

Porter (1997) identifie cinq types de diagrammes conceptuels dont chacun traite d'une différente catégorie d'information ou de connaissance. La forme de ces diagrammes peut varier selon le support employé pour leur production. L'essentiel est le contenu. Ces diagrammes sont:

1. Diagrammes schématiques ou synthétiques: dessins simplifiés d'un concept qui mettent l'accent sur les relations et l'orientation de ses composantes physiques. Ils aident le concepteur à articuler les formes physiques en réponse à des forces spécifiques telles que les mouvements d'air et du soleil, les vues, etc.

2. Diagrammes opérationnels: exemples d'un modèle conceptuel qui aide le concepteur à visualiser les changements dans le temps. Ils commencent à expliquer le mécanisme d'un concept, comment ses composantes sont manipulées ou transformées.
3. Diagrammes fonctionnels: identifient la proximité et la grandeur relative des zones d'activités. Ils représentent le plan dans son état embryonnaire parce que les bulles peuvent se métamorphoser en formes définitives.
4. Organigrammes: peuvent identifier les changements dans le temps. Ils sont souvent utilisés pour étudier la direction, l'intensité, les conflits, les problèmes et les possibilités qui arrivent lorsque le mouvement entre un point et un autre est considéré, par exemple la circulation pédestre, le transport, la diffusion d'information, les courants d'air et d'eau, etc.
5. Diagrammes analytiques: utiles pour identifier et relier visuellement les contraintes conceptuelles qui ont une influence sur une conception en évolution. Leur fonction essentielle est l'investigation de la nature des conditions existantes, tel que le site proposé pour un bâtiment, et l'évaluation du projet complété comparé aux intentions originelles.

Dans chaque cas une connaissance externe est appliquée au concept de base. Ceci induit une transformation fonctionnelle, formelle ou esthétique. Cet outil permet un traitement plutôt linéaire, c'est-à-dire que non seulement un seul aspect du projet est traité à la fois mais qu'il n'est possible de repérer les conséquences d'une seule connaissance à la fois.

Ces diagrammes sont des vues statiques du processus. De plus, ils ne sont pas liés les uns aux autres donc une investigation, une exploration d'un aspect n'a aucun apport sur un autre tant que le concepteur ne considère un lien explicite. Le concepteur n'a aucun moyen d'établir un lien concret par le dessin sauf en combinant les diagrammes, en travaillant à l'aide de couches. Cette façon de travailler s'applique du point de vue formel et non conceptuel.

Cette distinction entre le formel et le conceptuel est importante. Les diagrammes schématiques ne se combinent pas facilement avec les diagrammes opérationnels ni les organigrammes. D'une part, nous traitons l'information quant à la forme physique du projet et d'autre part, le fonctionnement. Or il est certain que ces deux aspects interagissent durant le processus, mais la visualisation des conséquences n'est pas évidente.

Nous tenons par contre à distinguer entre l'esquisse et le diagramme. L'esquisse va plutôt servir à l'exploration libre des idées. Il s'agit en quelque sorte du passage d'un point d'inflexion à un autre cherchant pour un ensemble de possibilités qui résonnent dans une situation donnée. Le diagramme par contre permet de fixer des idées. Aux phases préliminaires du processus de conception le diagramme rend explicite certaines tendances du système. Pour compléter cette première image du projet un cadre va s'imposer. Dans ce cas le cadre est constitué de connaissances qui servent à délimiter l'espace de conception.

2.4.3 Les caractéristiques du diagramme retenues pour notre étude

Le rôle de support à la conception est une des caractéristiques constantes de toutes les représentations vues ci-haut. La représentation est générée et manipulée par le concepteur. Le concepteur interprète les formes qui sont exprimées dans la représentation, il associe les sens aux traits sur la feuille. Les représentations offrent un lieu au concepteur où il peut exprimer sa pensée et raisonner sur sa conception. Étant donnée que la conception peut être exprimée par différents types de représentations, il nous semble que ce rôle de support est important à retenir pour une approche informatique. Il faudra alors préciser de quelle façon les représentations utilisées par le concepteur remplissent ce rôle et quelles sont les caractéristiques des formes des représentations qui appuient cette fonctionnalité.

2.5 Les caractéristiques des représentations aux étapes préliminaires de la conception

La question de la conception a été considérée dans la recherche en science cognitive. La conception peut être considérée comme un exemple de la classe des problèmes mal définis ou un ensemble de comportements basés sur des processus cognitifs. Goel (1995) identifie un certain nombre de processus cognitifs spécifiques dans la résolution des problèmes de conception. Il observe que les concepteurs utilisent un certain nombre de systèmes externes de symboles pendant qu'ils traversent l'espace de conception, et que ces différents systèmes de symboles se corrént avec différents processus cognitifs. L'esquisse à la main est utilisée dans l'étape exploratoire du processus à l'opposition des représentations plus structurées qui sont utilisées lorsque la conception est plus avancée.

Goel (1995) définit un système de symboles de la façon suivante: Un système de représentation comprend un schéma, un domaine et des relations. Un schéma peut être caractérisé comme un ensemble de marques ou inscriptions qui sont organisés en types où les types sont des symboles, caractères ou expressions. Le domaine est une partie du monde qui est structuré et ciblé par un schéma. La relation entre les symboles et le domaine va varier selon s'il s'agit d'une relation de référence ou si le symbole a un contenu.

Toutes les représentations vues ci-haut sont des systèmes de symboles physiques, des combinaisons des traits qui portent certaines significations. Les systèmes sont les moyens pour communiquer les idées. Goel (1995) caractérise la conception préliminaire comme un processus de résolution de problèmes mal-structuré, créatif, dans lequel la génération et l'exploration des différentes propositions est facilité par le nombre important de transformations latérales.

À partir de son interprétation de l'appareillage de Goodman, Goel (1995) propose les propriétés d'un système de symbole pour les esquisses comme suit:

1. Le fait que le système de symbole ne possède pas la propriété de disjonction syntaxique, c'est-à-dire la propriété que toute notation ne réfère qu'à un seul symbole, permet aux traits d'appartenir à plusieurs caractères différents. Ceci est une condition nécessaire pour assurer l'ambiguïté des caractères ou symboles.
2. L'esquisse n'a pas de différenciation syntaxique finie qui permet d'établir qu'une marque appartient à un symbole plutôt qu'à un autre. Cette réduction dans la distance entre les caractères est nécessaire pour faciliter la transformation d'un caractère en un autre.
3. L'ambiguïté du système du symbole assure l'indétermination des traits aux phases préliminaires du processus de conception. L'ambiguïté est nécessaire pour éviter la cristallisation des idées trop tôt et l'interruption du développement de la conception.
4. L'esquisse ne possède pas la propriété de disjonction sémantique, c'est-à-dire la distinction très nette entre les significations des symboles. Ceci implique qu'il est possible qu'un symbole puisse

référer à plusieurs choses, une caractéristique qui est nécessaire pour rester évasif quant à la référence ou signification exacte d'un symbole.

5. L'absence de différenciation sémantique assure une densité de classes de symboles. Ceci permet la transformation continue entre les différents caractères, parce qu'il y a un troisième symbole entre chaque pair de symboles. Cette densité est nécessaire pour ne pas exclure des possibilités. (Goel 1995).

2.6 Le rôle de l'outil informatique dans la conception

Nous pouvons dire que la représentation est le support qui permet au concepteur d'exprimer son image mentale. Il devient alors, important de définir le rôle de l'outil dans le processus lorsque nous considérons l'intégration de l'informatique dans les phases embryonnaires du processus. Les tâches étant difficiles à identifier dans cette phase préliminaire, l'automatisation des tâches ne semble pas être utile comme approche dans cette situation. La problématique concerne l'agencement de plusieurs couches de connaissances pour visualiser les interactions, alors la simple génération des formes ne va pas répondre au problème de la recherche. De plus, la manipulation des connaissances à cette étape du processus à comme objectif de donner forme à la conception. La question du type de forme à générer se pose.

Les difficultés qui se présentent dans le développement des outils informatiques pour la conception soulèvent une question concernant l'implication de l'agent artificiel dans le processus de conception. Certaines voies de recherche (Frazer et al 1999, Paoluzzi et al 1995) ont considéré un processus de conception architecturale automatisée, c'est-à-dire qu'à partir des données d'un problème le système est capable de générer automatiquement une solution plus ou moins complète qui répond à des critères. Bien que ces résultats aient un certain intérêt il reste que les problèmes de conception architecturale qui peuvent être ainsi traités sont très limités. La conception architecturale touche un ensemble de questions et de connaissances très variées. Le projet architectural doit répondre aux besoins fonctionnels, formels et sociaux, des contraintes structurelles, contextuelles, légales et économiques, ainsi que des désirs matériels et morphologiques. Alors quel doit être le rôle de l'outil informatique dans le processus?

Nous proposons que les représentations informatiques puissent intégrer une couche de connaissances qui permettrait d'établir des liens de sorte qu'une transformation dans une partie, l'ajout ou la suppression d'une composante, se propagerait dans tout le système, et les effets de cette action seraient visibles. Donc, si nous prenons les diagrammes présentés par Porter (1997), il serait possible à partir d'un diagramme de référer à un autre et pour que les transformations dans le système se manifestent sur les différents diagrammes, même si les informations représentées dans chaque diagramme sont différentes.

La formulation du problème entraîne une imprécision dans la définition du projet de processus de conception. Un problème dont la formulation est imprécise implique un processus de conception capable d'intégrer de nouvelles informations ou connaissances à toutes les étapes (Prost 1992). Par conséquent, l'approche informatique devra intégrer des nouvelles connaissances aux différentes étapes du processus de conception.

2.7 Conclusion du chapitre

Nous avons vu que la représentation ne sert pas seulement à documenter le processus, ni juste pour communiquer les différentes étapes mais qu'elle est partie essentielle aux mécanismes cognitifs de la conception. Le dessin et en particulier le diagramme permettent au concepteur de raisonner sur le projet, ce qui est essentiel aux étapes préliminaires de la conception. Nous passons alors à une étude des méthodologies d'analyse du projet architectural.

3 L'ANALYSE ET LE PROCESSUS DE CONCEPTION ARCHITECTURALE

Dans le contexte d'un processus de conception, l'analyse joue un rôle important quant à l'évaluation du projet architectural en élaboration et l'identification et l'intégration des idées architecturales dans ce processus. Le volet analytique correspond à la troisième composante de la triade d'opérations - la perception. Le simple fait de décomposer un problème pour considérer un aspect en particulier implique un mécanisme d'analyse. Mais comment l'analyse du projet architectural se fait-il et quel est l'objectif de cette analyse?

L'analyse permet d'identifier les différents aspects du projet architectural, d'établir les relations entre ces aspects et d'extraire les aspects un à un pour mieux comprendre le rôle et l'impact de chacun par rapport à l'ensemble. Pour mieux saisir l'analyse vis-à-vis le processus de conception architecturale nous entreprenons une étude de différentes méthodes d'analyse du projet architectural. Le survol du sujet nous permettra d'identifier de grandes catégories d'approches analytiques. Ensuite nous reprenons quatre méthodologies pour une étude plus détaillée. Chacune de ces méthodes est considérée par rapport à son objet, c'est-à-dire ce que l'analyse cherche à rendre explicite, et les moyens qui sont employés dans la démarche. De cette étude plus approfondie nous tirons des idées et concepts communs aux différentes approches. Ces concepts constituent la base de notre méthode d'analyse, qui sera utilisée plus tard dans l'étude de cas. Ces mêmes concepts serviront également comme base dans notre proposition d'approche informatique.

3.1 Les méthodes d'analyse étudiées

L'analyse du projet architectural cherche à définir le projet par rapport à une connaissance architecturale. L'analyse sera même issue d'une compréhension bien particulière de l'architecture en référence à une théorie de l'architecture. La théorie de l'architecture est une abstraction de l'architecture, qui permet de saisir le mécanisme de production ou de formation. L'abstraction d'un projet existant peut être appliquée au processus de conception.

Dans le cas de chaque méthode d'analyse il s'agit d'identifier des unités de base de l'étude et des mécanismes, principes ou règles qui permettent leur assemblage, composition ou combinaison pour répondre aux intentions du concepteur. Chaque méthode d'analyse se présente dans un contexte

particulier et vise soit la conception en tant que création, soit le processus de conception ou soit le projet existant (le précédent), pour rendre explicite certaines tendances universelles.

Nous avons commencé notre recherche avec un survol des approches d'analyse du projet architectural (Alexander et al. 1977, Baker 1996, Bilodeau et al. 1997, Ching 1979, Cousin 1970, Hillier 1996, Mitchell 1990, Pause & Clarke 1996). Nous avons remarqué que plusieurs catégories de méthodes se dessinaient dans notre étude. Les catégories repérées sont:

- l'analyse morphologique
- l'analyse par précédent
- l'analyse par règles ou principes
- l'analyse topologique
- l'analyse des séquences d'expérience
- l'analyse du processus de formation
- l'analyse de la configuration

Nous avons remarqué que certaines des approches sont plus appropriées à une analyse d'une situation statique ou un projet déjà réalisé. D'autres méthodes d'analyse nécessitent un niveau de développement avancé du projet pour obtenir des résultats utiles. Étant donné que notre recherche vise les étapes embryonnaires du processus de conception architecturale nous considérons uniquement ces méthodes qui peuvent s'appliquer à ces étapes. Quatre approches d'analyse du projet architectural ont été retenues parce qu'elles proposent des méthodes pour supporter le processus de conception en architecture et des outils d'analyse qui permettent une transcription informatique.

Les quatre méthodes d'analyse du projet architectural retenues sont:

- l'analyse morphologique
- l'analyse du précédent
- l'analyse du processus de formation
- l'analyse de la configuration spatiale

Nous constatons suite à un premier survol du sujet que pour chaque méthode d'analyse il y a un contexte analytique, l'analyse se fait par rapport à quelque chose - la géométrie, l'histoire, les lieux

architecturaux, le processus de conception, le vocabulaire architectural, le style architectural, les fonction d'espaces, les composants du bâtiment, la structure, les techniques de construction, etc.

Pour chacune des quatre méthodes d'analyse nous repérons le contexte d'application de la méthode, l'objectif de l'analyse, les moyens employés pour faire l'analyse, et les résultats et observations.

3.2 Analyse de la morphologie du projet architectural

La première méthode d'analyse étudiée est une étude morphologique des éléments essentiels de l'espace et des principes qui contrôlent leur organisation dans l'environnement bâti (Ching 1979). Quoique les considérations utilitaires de fonction et d'utilisation puissent être de courte durée et que les interprétations symboliques puissent varier d'une époque à une autre, ces éléments premiers de forme et d'espace comprennent le vocabulaire intemporel et fondamental du concepteur architectural.

3.2.1 L'objectif de l'analyse de la morphologie architecturale

L'étude de Ching (1979) met l'accent sur l'élément de la forme comme outil principal du concepteur. Il sert à dessiner et classifier les formes et organisations d'espace et leurs transformations génériques de façon typologique. L'étude concerne l'articulation des éléments d'un vocabulaire de conception. Alors les organisations sont des organisations de formes. Les principes d'ordonnement réfèrent à l'ordonnement de la forme. L'espace est un résultat de la manipulation des formes.

Les éléments premiers, le point, la ligne, le plan et le volume, sont combinés et transformés pour créer des formes. La relation symbiotique entre la forme et l'espace en architecture peut être considérée à plusieurs échelles. À chaque niveau il faut considérer non seulement la forme du bâtiment mais aussi son impact sur l'espace environnant. L'analyse considère les éléments de base qui sont combinés pour créer les formes. Les configurations des formes définissent un espace. Les espaces sont reliés pour créer un ensemble qui dispose d'une certaine configuration. À chaque

niveau les choix entrepris réfèrent au problème de conception posé et les intentions du concepteur dans la formulation d'une réponse.

3.2.2 Les moyens employés dans l'analyse de la morphologie architecturale

La communication des concepts dans cette étude se fait à travers du matériel visuel, soit des dessins, des esquisses et des diagrammes. Ces représentations des bâtiments existants illustrent des principes géométriques. Les dessins présentent l'état final du projet architectural, les esquisses

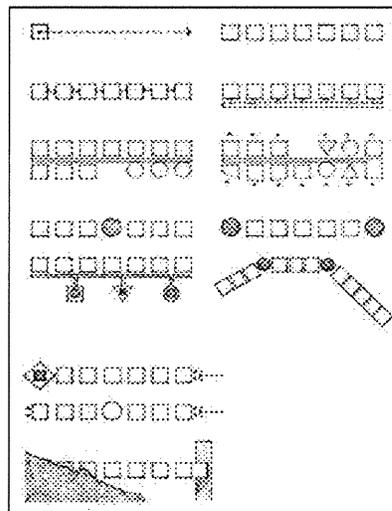


Figure 2. Exemple de diagramme présentant l'organisation spatiale linéaire (Ching 1979)

considèrent les effets des interactions de la lumière ou autres éléments sensoriels et les éléments architecturaux - la création des ombres, etc. Les diagrammes sont les moyens clé. Il s'agit surtout de diagrammes schématiques ou synthétiques et des digrammes et des organigrammes pour illustrer la transformation des éléments.

Cette étude repère les principes d'ordonnements suivants:

- Axe
- Symétrie
- Hiérarchie
- Rythme et répétition
- «Datum»: ligne, plan ou volume de référence
- Transformation

3.3 L'étude du précédent comme approche analytique

La deuxième méthode d'analyse que nous considérons est l'étude du précédent pour examiner les similarités entre des projets réalisés, identifier des solutions génériques aux problèmes de conception et développer l'analyse comme outil pour la conception (Pause & Clarke, 1996).

L'étude du précédent veut identifier les patterns et thèmes, des idées archétypes qui aideront dans la génération de la forme architecturale.

3.3.1 Les objectifs de l'étude du précédent

Cette approche se base sur la compréhension de l'histoire de l'architecture, sur l'étude des similarités des solutions de conception des architectes à travers le temps, sur l'identification des solutions génériques aux problèmes de conception qui sont indépendants du contexte historique. L'objectif est de clarifier le lien entre l'histoire et la conception architecturale.

L'étude est organisée en deux parties. La première partie présente l'analyse des bâtiments à partir des représentations conventionnelles - plan, coupe, élévation - et diagrammes. La deuxième partie identifie les patterns archétypes ou idées formatives à partir desquelles les solutions architecturales pourraient émerger.

3.3.2 Les outils employés pour l'étude du précédent

Pour communiquer l'analyse des bâtiments et les idées formatives, un diagramme ou un ensemble de diagramme est utilisé. Le diagramme schématique est une abstraction qui veut exprimer les caractéristiques et les relations essentielles d'un bâtiment. De cette façon le diagramme permet de se concentrer sur des attributs physiques spécifiques qui permettent la comparaison d'un bâtiment à l'autre sans référer au style, type, fonction ou époque. Un aspect important de l'analyse est d'explorer les caractéristiques formelles et spatiales de chaque bâtiment de sorte que le parti (diagramme synthétique) présenté peut être compris. Pour accomplir ceci Clarke et Pause (1996) choisissent onze questions leur permettant de repérer des éléments et des relations fondamentaux communs à tous les bâtiments.

L'information extraite est étudiée pour identifier l'idée sous-jacente - le parti. De l'analyse et le parti résultant pour chaque bâtiment les similarités et les différences parmi les solutions de conception peuvent être identifiées. Les questions retenues pour l'analyse sont la structure, la lumière naturelle, la volumétrie, les relations de plan à la coupe, l'espace de circulation à l'espace d'activité, l'unité à l'ensemble et le répétitif à l'unique. L'analyse inclut la symétrie et l'équilibre, la géométrie, l'addition et la soustraction, et la hiérarchie.

À partir de l'analyse de bâtiments dans la première partie de l'étude, les auteurs ont repéré des patterns dans les considérations de conceptions de plusieurs architectes. Des similarités dans des approches à la conception sont apparues dans plusieurs projets. Ces similarités sont regroupées en thèmes dominants ou idées formatives qui fort probablement ont été utilisées dans la conception de bâtiments.

3.3.3 Les idées formatives dans l'étude du précédent

Une idée formative est un principe utilisé pour organiser une conception ou influencer sa transformation. Les idées offrent des moyens pour organiser des décisions, pour ordonner et générer la forme de façon consciente. En engageant une idée formative plutôt qu'une autre le concepteur peut déterminer le résultat formel et la façon dont ce résultat diffère des autres

configurations. Les idées formatives sont directement issues des onze aspects choisis par les auteurs dans l'analyse des bâtiments.

Les idées formatives identifiées par l'étude sont:

- La relation entre plan et coupe ou élévation
- La relation entre l'unité et l'ensemble
- La relation entre les éléments répétés et les éléments uniques
- L'addition et la soustraction
- La symétrie et l'équilibre
- La géométrie et la trame
- Les patterns de configuration
- Les progressions
- La réduction

3.4 Analyse des stratégies de conception - les forces

Cette méthodologie d'analyse cherche à découvrir les principaux facteurs organisationnels qui opèrent dans un projet et à identifier les préoccupations du concepteur. Ceci est fait par un processus de dissection qui met en valeur des facteurs tel que la disposition volumétrique incluant le système géométrique employé, le pattern de circulation qui dans plusieurs cas est relié directement à la disposition volumétrique, la localisation des principaux axes à l'intérieur du bâtiment comme dans le contexte immédiat du bâtiment et, lorsque pertinent, le système structural. L'organisation générale des matériaux, des considérations environnementales et l'aménagement des services peuvent également être considérés.

3.4.1 Les objectifs de l'analyse des stratégies de conception

Selon Baker (1996), dans n'importe quelle analyse de l'architecture il est pratique de considérer les aspects ou facteurs variés comme des forces. Vu que les bâtiments sont établis sur le terrain, la topographie doit être considérée. Le site et le climat décrivent le premier regroupement des forces. En satisfaisant les besoins fonctionnels, l'organisation d'un bâtiment peut être considérée comme le

résultat de l'action d'un deuxième regroupement des forces. Le troisième facteur important qui influence l'architecture est la force exercée par une culture.

Ces facteurs sont analysés en référence au rôle attendu du bâtiment et à l'imagerie symbolique que le bâtiment exprime. Cette analyse considère les facteurs culturels, techniques et économiques. Un aspect important de cette méthodologie analytique est la façon dont le bâtiment est considéré en relation avec son site. Les forces du site telles que la présence d'une rivière ou autres facteurs topographiques, sont relevées et les axes du bâtiment sont rapportés aux axes dans les environs.

3.4.2. Les moyens de l'analyse des stratégies de conception

Baker (1996) précise que l'analyse est un processus sélectif et subjectif. Dans l'étude présentée, l'accent est mis sur l'analyse de la forme architecturale, et seulement les questions qui répondent à cette intention sont soulevées. L'analyse relie les forces du site (orientation, vues et accès) aux forces organisationnelles à l'intérieur du bâtiment pour déterminer comment un bâtiment est conçu en relation avec son site.

L'outil principal de cette approche est le diagramme (**Figure 3**). D'après Baker (1996) l'utilisation des diagrammes encourage des patterns de pensée d'une dextérité considérable. Cette dextérité qui permet le développement d'une idée au fond est fondamentale au processus de conception. Les diagrammes schématiques, synthétiques, les organigrammes et les diagrammes analytiques sont tous employés dans l'analyse.

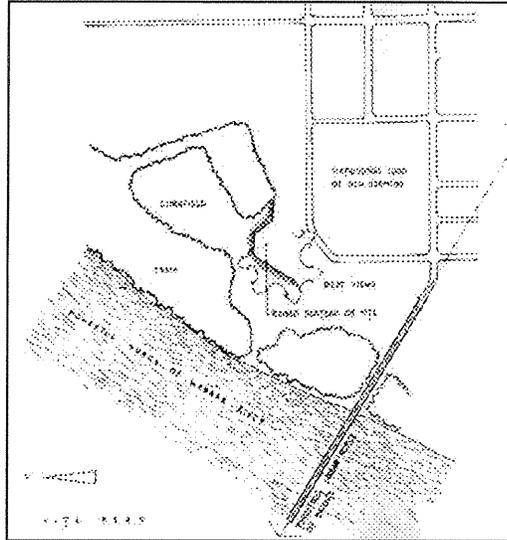


Figure 3. Exemple de diagramme analytique indiquant les forces du site. (Baker 1996)

3.4.3. Les concepts repérés dans l'analyse des stratégies de conception

Un concept important dans cette approche analytique est la forme générique qui se transforme en forme spécifique. Selon Eisenman cité par Baker (1996) dans son texte, lorsqu'on considère un carré dont un des coins est tronqué, ceci est lu en termes de sa *gestalt*², un carré qui devient l'antécédent générique de la forme. La forme architecturale peut être considérée comme générique dans son état originel, et spécifique lorsqu'elle a été manipulée et organisée pour satisfaire aux exigences fonctionnelles du programme et aux contraintes ou opportunités présentées par le site.

²Terme allemand qui correspond à structure. Le gestaltisme est une théorie psychologique et philosophique, qui refuse d'isoler les phénomènes les uns des autres pour les expliquer et qui les considère comme des ensembles indissociables structurés - des formes (Petit Larousse 2000). Le *gestalt* est le type ou la forme représentative d'un ensemble.

3.5 L'analyse de la configuration spatiale

La quatrième méthode d'analyse vise la configuration spatiale (Hillier 1996). Cette méthode est fondée sur l'argument qu'en amont de fonctionner comme abris pour le corps humain, l'architecture, les bâtiments opère de façon sociale de deux manières; (1) ils constituent l'organisation sociale de la vie quotidienne en tant que configurations spatiales de l'espace dans lequel on vit et on se déplace et; (2) ils représentent l'organisation sociale comme des configurations physiques des formes et éléments qu'on voit. Avant tout, l'architecture est l'application de la pensée abstraite et spéculative aux aspects non-discursifs, c'est-à-dire les aspects inconscients, dont on ne sait pas comment parler et dont on ne parle même pas au moment où on les utilise le plus activement.

3.5.1 L'objectif de l'analyse de la configuration spatiale

La configuration se définit comme suit: Une relation simple est une relation telle que l'adjacence et la perméabilité entre n'importe quelle paire d'éléments dans un complexe. Une relation de configuration est une relation qui est affectée par la co-présence d'au moins un troisième élément sinon tous les autres éléments dans un complexe.

Hillier (1996) note une différence critique entre les régularités et les théories. Les régularités sont des phénomènes qui se répètent, elles sont des patterns dans les phénomènes de surface. Les théories sont des essais à modéliser les processus sous-jacents qui produisent les régularités. L'analyse recherche les régularités dans la configuration spatiale de l'environnement bâti.

3.5.2. Les outils d'analyse de la configuration spatiale

Dans son analyse, Hillier (1996) emploie des graphes justifiés (**Figure 4**), le concept de l'intégration, la profondeur totale d'un espace et le concept de la distance spécifique et universelle. Les graphes justifiés permettent de décrire la relation entre les espaces sans référer à la forme de l'espace. Il est alors possible de décrire la symétrie non seulement par rapport à la géométrie de la forme mais également par les relations représentées par les graphes justifiés. Si l'organigramme selon deux différents noeuds est identique alors la forme a une identité structurelle de symétrie.

La profondeur est le nombre d'espaces entre un espace et un autre. La profondeur totale d'un espace est la somme de toutes les profondeurs de ce dernier à tous les autres espaces du complexe (**Figure 4**). Un nombre plus petit indique un espace plus «intégré», c'est-à-dire un espace qui se rapproche le plus à tous les autres. La distance spécifique est le nombre spécifique d'unités métriques d'un point à un autre. La profondeur totale d'un espace peut être considérée comme la distance universelle de cet espace.

Ces outils et techniques permettent de découvrir certaines régularités dans la configuration spatiale des bâtiments et des villes, et de poser certains concepts comme base des théories issues des régularités observées.

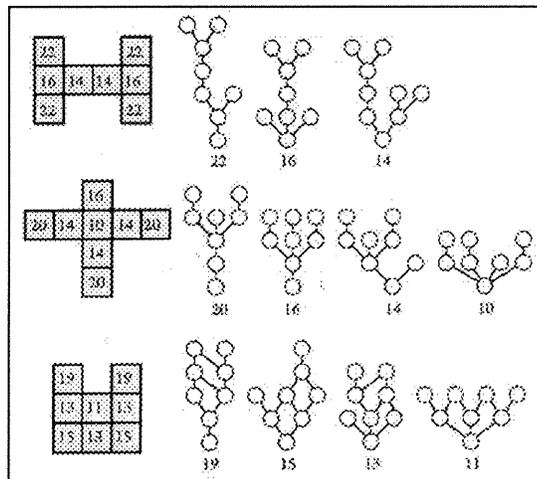


Figure 4. Profondeurs totales des espaces et graphes justifiés des complexes.(Hillier 1996)

3.5.3. Les concepts repérés dans l'analyse de la configuration spatiale

De son analyse, Hillier (1996) pose les concepts suivants:

- L'axe comme symbole ou instrument
La reproduction sociale exige des formes symboliques d'espace. Dans les bâtiments religieux, l'axe se manifeste comme une ligne de vue unique qui passe à travers chaque

enceinte et lie l'espace sacré le plus intérieur à l'espace le plus public de l'entrée. La production sociale exige des formes instrumentales d'espace. Dans ce cas l'axe correspond au trajet de déplacement des biens et de personnes.

- **Structure et ordre**
Les complexes spatiaux sont intelligibles de deux façons, comme artefact dans lesquels on se déplace (structure) et comme concepts rationnels généraux qui peuvent être compris dans une seule vue (ordre). La structure est asynchrone. L'ordre est synchrone.
- **Les modèles morphogénétiques**
Ces modèles représentent le degré dont l'espace est structuré, le degré dont l'espace est assigné des significations sociales spécifiques et le type de configuration utilisé. Ces dimensions sont représentées comme un système de transformations où les règles sont conçues comme des restrictions imposées sur un processus génératif autrement aléatoire. Les règles et l'aléatoire interagissent pour produire des résultats attendus ainsi que des résultats nouveaux, c'est-à-dire la morphogénèse.
- **Fonction générique**
Le premier aspect de la fonction générique reflète la propriété de l'intelligibilité et considère la compréhension globale du complexe. Le deuxième aspect est l'habileté d'un complexe à accommoder les fonctions de base: l'occupation et le déplacement. L'occupation est l'utilisation de l'espace pour des activités qui sont largement statique. Le déplacement est le mouvement entre les espaces d'occupation ou le mouvement à l'intérieur ou à l'extérieur du complexe de tels espaces.
- **Typologie des espaces**
Hillier (1996) identifie quatre types topologiques d'espaces (**Figure 5**):
 - A. Des espaces avec une ligne simple, des culs-de-sac, des espaces d'occupation seulement.
 - B. Des espaces qui ont plus qu'une ligne, formant partie d'un sous-complexe où le nombre de liens est un moins que le nombre d'espaces, des espaces qui sont sur le chemin vers ou sur le chemin de retour d'un espace cul-de-sac.

- C. Des espaces avec plus d'un lien dans un sous-complexe qui ne contient ni des espaces de type A, ni des espaces de type B et où il y a le même nombre de liens que d'espaces. Les espaces de type C doivent se retrouver sur un seul cercle.
- D. Des espaces avec plus de deux liens formant les parties des sous-complexes qui ne contiennent que des espaces de type A ou B. Les sous-complexes doivent comprendre au moins deux cercles et avoir au moins un espace en commun.

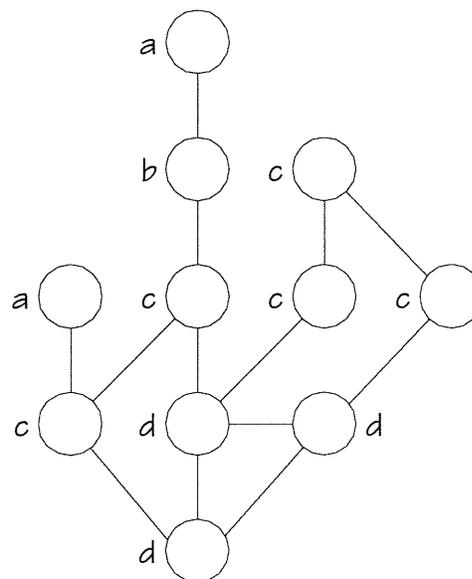


Figure 5. Typologie topologique des espaces.
D'après Hillier (1996).

Les espaces de type A et D créent l'intégration. Les espaces de type B et C créent la ségrégation. Il n'y a pas de mouvement (déplacement) dans les espaces de type A. Les espaces de type D donnent un choix de mouvement. Les espaces de type B sont les plus restrictifs quant au déplacement.

3.6 Les concepts analytiques retenus

Les méthodes d'analyse étudiées proposent des idées et concepts qui sont à la base de la conception architecturale. Certaines de ces idées sont des concepts liés au processus, liés à comment former et démarquer le projet. D'autres concepts projettent des idées universelles quant au projet de

l'architecture en général et peuvent en ce sens être considérés comme la base d'une théorie d'architecture. Dans les deux cas, ces concepts vont influencer la façon dont l'approche analytique s'applique au processus de conception architecturale et le résultat de ce processus.

Pour établir quels concepts retenir nous commençons par une définition de théorie analytique d'architecture proposé par Hillier (1996). Ensuite nous discutons du rôle de l'analyse dans le processus de conception tel qu'illustré dans les différentes méthodes d'analyse du projet architectural présentées. Cette discussion nous mène à considérer les concepts posés par chaque approche desquels nous élaborons notre base théorique pour notre méthode analytique.

3.6.1 La théorie architecturale et le processus de conception

Le rôle de la théorie dans le processus de conception est de guider la transformation et l'élaboration du projet architectural selon les relations qui sont établies par les phénomènes que la théorie cherche à décrire. La théorie architecturale dessine le cadre paradigmatique. Elle permet d'identifier les composants essentiels du projet et d'établir les relations entre ces composants. Elle permet également de hiérarchiser les différents aspects du projet pour gérer l'interaction entre les relations. Le rôle essentiel de la théorie est de limiter l'espace de solution, les possibilités architecturales.

Le fondement de la théorie s'appuie sur l'étude de l'objet architectural. La définition de l'objet architectural est intrinsèque à l'architecture, c'est-à-dire que les concepts de base sont des concepts architecturaux et non pas des concepts, venant de l'extérieur, appliqués à l'architecture. La théorie est élaborée à partir des régularités et des explications du processus sous-jacent (Hillier 1996). Par exemple, dans le cas du modèle morphogénétique, les observations quant à la structure de l'événement et l'espace d'un événement amènent Hillier à proposer une théorie quant à l'impact d'une organisation spatiale sur l'activité que cette espace héberge. Par la suite la théorie élaborée propose l'organisation pour structurer le complexe spatial du bâtiment en fonction du programme du bâtiment et les activités qu'il héberge.

L'utilisation d'une théorie dans la conception architecturale dépend du rôle joué par le projet: est-ce symbole, véhicule, métaphore, etc., ce qui indique l'importance relative accordée à l'image du bâtiment, sa morphologie, les éléments techniques, le programme du bâtiment ou le contexte.

Une théorie architecturale permet d'établir quels aspects et quelles questions seront considérés dans l'analyse ainsi que l'importance relative des différents aspects du projet. En amont d'une évaluation par rapport aux objectifs, une théorie architecturale fournit le cadre nécessaire pour juger de l'efficacité du processus employé pour atteindre les objectifs du projet. Alors quelles sont les implications pour ceci quant à l'analyse en générale et une méthode analytique en particulier?

3.6.2 L'analyse dans le processus de conception

La perception est l'opération analytique dans notre triade d'opérations du processus de conception architecturale. Une méthode d'analyse qui s'insère dans le processus de conception a comme fonction d'élucider les mécanismes du processus et d'explicitier et évaluer la corrélation entre l'intention et la conception. Pour ce faire, il faut établir à quel niveau l'analyse est faite et quelles sont les composantes considérées. Étant donné que nous visons les étapes embryonnaires de la conception notre analyse vise les aspects du projet qui ne sont pas strictement géométriques ou formels. Ceci signifie que la méthodologie d'analyse présentée par Pause & Clarke (1996) n'est pas appropriée à notre démarche étant donné la place importante accordée aux idées géométriques dans leur étude.

L'analyse peut être considérée en tant qu'outil pour alimenter le processus de conception ou comme moyen pour évaluer la solution de conception. Quelques questions posées par les méthodes analytiques sont nécessaires au processus de conception donnant au concepteur des outils effectifs. L'étude de Ching (1979) concerne le matériau avec lequel le concepteur travaille pour créer un espace particulier en établissant un vocabulaire de conception, une explication de la morphologie qui veut établir le lien entre les qualités spatiales et la forme hébergeant l'espace. Si nous considérons le système créé par le processus de conception, cette étude concerne les **unités** du système.

Baker (1996) considère le contexte du projet, les forces reliées au site, aux activités et à la culture. Dans un premier temps ces forces établissent les directions, les orientations de base, l'organisation sous-jacente du projet avant tout acte créatif. Les forces de Baker répondent à la question de la formulation du problème de design, l'articulation des contraintes, des objectifs et autres questions qui sont combinées pour établir le cadre de la solution. Les considérations de force montrent conditions générales du site ou du projet et son lien avec le contexte. Ces forces sont à la base de toute **transformation** dans le système.

La méthode présentée par Hillier (1996) vise spécifiquement la configuration des espaces d'activités et analyse la façon dont les personnes se déplacent dans ces espaces. Le test ici est d'intelligibilité, et le support et l'amélioration d'une activité donnée. Est-ce que la conception proposée supporte ou nuit au programme d'activités? Cette intelligibilité est due aux relations qui sont établies entre les unités du système. L'analyse de Hillier (1996) permet alors de repérer les **relations** du système.

D'après les caractéristiques spécifiques et les concepts des trois approches énoncées ci-haut, il est possible d'élaborer une stratégie d'analyse à trois niveaux. Les approches ne sont pas indépendantes mais représentent différentes stratégies d'analyse dans le processus de conception. L'étude de Ching concerne surtout la forme, l'aspect sculptural de l'architecture. Il s'agit d'idées ou du matériel à manipuler. La méthode de Baker concerne la relation entre le bâtiment et son site, la forme du bâtiment est dérivée des lignes de forces du site et les indices contextuels, l'établissement des axes mineurs et majeurs, les zones d'activités, etc. Elle vise les stratégies de conception, c'est-à-dire les intentions du concepteur. L'objet de l'analyse de Hillier est la configuration spatiale, les relations entre les espaces et le mouvement ainsi que l'activité résultant. Le résultat de cette analyse dépend du complexe ou sous-complexe considéré, c'est-à-dire que les limites, le cadre, jouent un rôle important dans la définition du complexe.

L'analyse ou la perception, si nous nous référons à notre triade d'opérateurs, soit idéation, intention et perception, est essentielle au processus de conception architecturale. Elle permet d'évaluer la cohérence du système, d'identifier des nouvelles possibilités qui déclenchent une opération d'idéation, de reformuler les intentions du concepteur ou de modifier la conception en

fonction des autres composantes du système. Ces actions sont nécessaires pour le déroulement du processus de conception architecturale.

3.6.3 Unité, transformation et relation et concepts repérés dans les méthodes d'analyse

Dans notre description du processus de conception architecturale nous avons identifié trois opérations de base: idéation, intention et perception. Nous avons associé à ces trois opérations les concepts de représentation d'inflexion (une singularité), vecteur (une orientation) et cadre (vue d'ensemble) qui permettent de limiter l'espace de conception. À cette juxtaposition des triades nous associons maintenant **unité, transformation et relation**.

L'unité est la composante du système. Elle peut être le résultat d'une idéation et être représentée par une différence dans un contexte autrement continu. Les transformations se font en fonction des intentions du concepteur. Elles sont représentées par le vecteur qui oriente le processus ou la ligne directrice. Les relations sont établies entre les composantes grâce à la perception qui est influencée par un point de vue particulier et la façon dont ce point de vue est encadré.

Nous avons identifié les composantes génériques du système de conception architecturale. Nous voulons maintenant associer une connaissance architecturale à ces composantes pour définir celles-ci dans le contexte d'une méthodologie d'analyse. Pour ce faire nous comparons les concepts posés dans les trois méthodes retenues pour constituer notre méthode.

3.7 La méthodologie analytique

La méthode d'analyse proposée doit repérer les unités, relations et les transformations d'un processus de conception. Ceci signifie qu'elle doit rendre explicite la ligne directrice ou les intentions du projet. Elle doit permettre d'identifier les unités morphologiques et fonctionnelles qui influencent cette ligne directrice. Finalement, elle doit permettre de vérifier la cohérence dans l'élaboration du projet par rapport aux intentions du concepteur.

La méthode est présentée par étapes de travail:

1. Identifier les espaces (fonction)
2. Identifier les relations entre les espaces (morphologie, position)
3. Déterminer l'existence ou non d'un axe (morphologie, orientation, fonction)
4. Déterminer le rôle de cet axe (symbole ou instrument)
5. Identifier les éléments qui constituent ou renforcent cet axe (formes, fonctions)
6. Identifier les forces qui influencent cet axe (forces - transformation)

3.8 Conclusion du chapitre

L'étude des approches d'analyse du projet architectural a été entreprise pour mieux comprendre les composantes au fond de la conception ainsi que la façon dont elles sont impliquées dans la constitution du projet architectural. L'objectif de cette première partie de la recherche est l'élaboration d'une approche analytique qui servira à l'étude de cas et à l'élaboration de notre approche informatique. Plus important, cette approche analytique peut également servir dans un processus de conception dans le but d'extraire des connaissances qui seront utilisées dans l'exploration des moyens pour l'intégration de l'outil informatique aux étapes préliminaires de ce processus.

Les concepts identifiés à partir des approches analytiques présentées permettent d'élaborer une stratégie d'analyse qui tient compte des concepts primordiaux en architecture et qui sont indépendantes d'un style ou d'une théorie architecturale particulière.

Ceci établi, la considération d'une nouvelle approche quant à la définition de l'image dans le processus de conception ainsi que la revue des caractéristiques des systèmes de représentation et leurs implications dans le processus de conception nous offrent la base pour entreprendre notre survol de l'état de la conception assistée par ordinateur. Ayant établi le contenu de notre approche informatique, nous passons maintenant à la considération des moyens informatiques de la démarche.

4 LES APPROCHES POUR LA CONCEPTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR

Cette partie de la recherche a pour but de nous familiariser avec plusieurs approches informatiques qui visent l'intégration des connaissances dans la modélisation du projet architectural, de critiquer ces approches et de choisir, développer ou décrire une approche pour notre recherche. L'étude vise en particulier la manipulation des idées abstraites, et la connaissance incomplète ou ambiguë.

Les différents aspects du projet sont en interaction. Il y a un effet cumulatif, où l'application de connaissances se fait en fonction de ce qui est déjà présent dans l'environnement. De plus, la connaissance qui entraîne une transformation dans la conception peut être transformée par le contexte dans lequel elle s'insère. Alors les résultats ne sont pas toujours prévisibles. Les relations vont déterminer les interactions entre de multiples événements catalyseurs et la façon dont l'ensemble va se manifester dans le contexte du processus de conception. Voilà la condition générique que l'approche informatique devra traiter.

La présentation de plusieurs approches informatiques qui visent l'intégration de la connaissance dans la modélisation du projet architectural permet d'établir le point de départ dans la définition de l'approche pour supporter les étapes préliminaires du processus de conception. Nous commençons par un rappel des conditions particulières associées au processus de conception architectural. Un survol du domaine nous permettra de choisir trois approches à approfondir. Nous passons ensuite par une revue critique de ces approches pour déterminer les caractéristiques à retenir pour notre approche informatique. Cette revue nous amènera à considérer les concepts quant à la représentation des connaissances dans un environnement informatique qui sont à la base de ces approches. À partir de ces concepts nous considérons des approches à la modélisation informatique des connaissances et concluons le chapitre en décrivant les concepts retenus pour le développement de l'approche informatique.

4.1 Survol des approches informatiques pour la conception architecturale

Nous avons décrit le processus de conception architecturale comme un processus complexe qui s'appuie sur une triade d'opérations produisant une triade de catégories de représentations dont chaque catégorie vise un type de composante du système. Nous avons aussi proposé le rôle

approprié de l'outil informatique dans ce processus; gestion, traitement et enregistrement pour appuyer ce processus.

Plusieurs approches présentent des possibilités intéressantes. Chacune cherche un équilibre entre le travail du concepteur humain et le travail de l'outil informatique. Quelques domaines de la conception assistée par ordinateur considérés sont les suivants:

- La représentation des connaissances (moins automatisé)
- Design intuitif - recherche heuristique
- Modélisation par contraintes
- Algorithmes génétiques
- Le design génératif (plus automatisé)

Plusieurs de ces approches s'inscrivent dans le domaine de l'intelligence artificielle et la science cognitive. Également toutes les approches indiquées ci-dessus font appel à la programmation pour leur mise en oeuvre.

Les trois articles présentés ci-dessous mettent en valeur la force et les limites de l'intelligence artificielle et veulent mettre en lumière les défis associés à la compréhension des processus cognitifs chez les être humains dans le cas particulier de la conception architecturale. En considérant ces approches nous voulons identifier les tâches qu'elles remplissent, à quel point elles permettent une exploration libre et de quelle façon elles étendent l'espace de conception et comment elles filtrent les solutions dans cette espace.

4.2 Cadre basé sur la logique pour la représentation des connaissances de conception

Dans «*A Logic-Based Framework for Representing Architectural Knowledge*» Clibbon et al. (1995) proposent un cadre basé sur la logique pour la représentation et la manipulation de connaissance pendant la conception architecturale assistée par ordinateur. Le cadre incorpore l'architecture de méta-niveau pour représenter la connaissance déclarative de conception et la connaissance stratégique employée par le concepteur. Il est composé d'une couche d'objet, une couche d'exigences de conception, et des stratégies pour la navigation dans l'espace de conception.

Clibbon et al. (1995) décrivent une logique étendue de premier ordre qui a été employée pour représenter quelques exemples de connaissance architecturale. Ce modèle est mis en oeuvre dans KAUS (*Knowledge Acquisition and Utilisation System* - système de saisie et d'utilisation de connaissance), un système général basé sur la connaissance, fondé dans la logique à couches multiples (*Multi-layered logic*).

Dans cette approche, la conception commence avec un objet modèle hypothétique. Si cet objet ne répond pas aux exigences, il est modifié en conséquence. La conception architecturale est la traduction de l'information sous forme d'exigences, de contraintes et d'expériences en solutions potentielles, qui sont considérées par le concepteur répondre à ces exigences. Un modèle de la conception devrait refléter les caractéristiques du processus de conception au niveau cognitif et au niveau computationnel. Le modèle à base de logique présenté par Clibbon et al. (1995) reflète la relation entre la représentation de la conception et les processus de résolution de problème sous-jacents.

Clibbon et al. (1995) identifient trois problèmes importants associés à la conception architecturale assistée par ordinateur: la nature mal-définie du problème de conception, le problème de la représentation et de la manipulation des connaissances de conception, et le problème d'acquisition des connaissances.

Cette recherche se concentre sur le support fondé sur la logique, pour fournir des outils pour guider le concepteur dans la construction itérative du modèle, l'analyse, l'évaluation et la modification du modèle. L'hypothèse émise est qu'en ayant un fondement théorique solide basé sur la logique, les systèmes de support peuvent vérifier la cohérence et la justesse de la base de connaissances lors de la constitution du modèle.

Le cadre logique proposé utilise des couches comprenant des noeuds. Les noeuds dans la couche des objets contiennent les descriptions d'objets modèles. Les noeuds dans la couche des exigences contiennent les ensembles des exigences pour ces objets. L'interaction entre les deux couches est représentée par des liens. Des stratégies sont nécessaires pour supporter la navigation à l'intérieur et entre les espaces des objets et des exigences.

La connaissance substantive du domaine, dans ce cas les types et sous-types de bâtiments, est représentée par un réseau sémantique. Cette connaissance est à la base des descriptions des objets modèles et l'ensemble des exigences et les liens. Le réseau sémantique est présenté sous forme d'ensembles de prédicats de logique de premier ordre. La logique du premier ordre est étendue pour inclure le domaine de chaque variable explicitement dans les préfixes du prédicat. L'ensemble de prédicats qui ne contiennent pas des prédicats comme argument sont localisés au niveau objet, tandis que les prédicats qui contiennent des prédicats du niveau objet comme argument appartiennent au niveau supérieur, soit le méta-niveau. Ces derniers prédicats représentent la connaissance stratégique.

Clibbon et al. (1995) considèrent qu'un système de support de conception doit assister le concepteur d'une façon active dans l'exploration de l'espace de conception pendant tout le processus de conception. Le système doit également fournir du support pour l'inférence spécifique à un contexte basé sur les décisions de conception, les contraintes et les autres exigences qui définissent le problème de conception, considérés conjointement avec les lois de la physique, l'heuristique et autres connaissances de domaine, relatifs aux paramètres de la conception.

4.3 Un système génératif pour le support intelligent de la conception

Frazer et al. (1999) considèrent que dans le développement des systèmes intelligents de conception assistée par ordinateur destinés au domaine du design industriel, trois questions importantes doivent être envisagées: (1) comment supporter la génération des concepts de design en utilisant des techniques informatiques évolutionnistes; (2) comment utiliser les bases de données intelligentes et les systèmes de gestion de contrainte pour l'exploration détaillée de l'incarnation du design; et (3) comment intégrer les équipements de prototypage rapide pour l'évaluation du design. Frazer et al. (1999) présentent un bref examen de la conception basée sur la connaissance et la conception évolutionniste et discutent des façons de les intégrer dans le développement d'un système génératif de conception. À partir de cette revue, le modèle et les applications d'un système génératif de conception utilisant un certain nombre de techniques de l'intelligence artificielle et informatique évolutionnistes sont présentés. Ce modèle de conception générative est censé fournir un cadre de calcul générique pour le développement des systèmes intelligents de support de conception.

Quatre stratégies principales peuvent caractériser les développements actuels dans les systèmes de conception basés sur la connaissance: (1) l'approche intelligente de la conception assistée par ordinateur (CAO), (2) le principe de construction modulaire, (3) l'approche de prototype, et (4) l'approche à base des contraintes.

L'avancement récent dans l'informatique évolutionniste fournit de nouvelles occasions de ré-examiner la question de support intelligent de conception. Des algorithmes génétiques sont largement reçus en tant que techniques génératives et adaptatives puissantes généralement applicables à beaucoup d'activités de conception. La conception évolutionniste est une approche qui applique différentes techniques évolutionnistes de calcul à différentes étapes du processus de conception.

La conception évolutionniste comprend quatre catégories: (1) l'optimisation de conception évolutionniste, (2) la conception évolutionniste créatrice, (3) la conception évolutionniste conceptuelle, et (4) la conception évolutionniste générative. Ces approches combinent plusieurs aspects essentiels d'intelligence de conception dans un processus évolutionniste comprenant la modélisation des données et information de conception, la formation de concepts, la génération d'idées, l'optimisation, l'apprentissage et l'évaluation. Une fois qu'un problème de conception est correctement formulé dans un processus évolutionniste, l'outil informatique peut produire un grand nombre de solutions possibles avant d'atteindre la solution optimum. Les solutions possibles sont imprévisibles, mais le processus et les résultats finaux sont contrôlables par les concepteurs.

Un système génératif est développé pour étudier l'ajout de capacité générative, de l'intelligence de conception, et les équipements de prototypage rapide dans des systèmes de conception assistée par ordinateur. Une question particulière dans le développement de ce système de conception génératif est comment les algorithmes génétiques peuvent être utilisés dans les systèmes de conception à base de connaissances en tant que mécanisme de résolution de problème général pour supporter le design conceptuel d'une façon créative.

Les auteurs ont identifié trois tâches dans le processus de conception de produits où des techniques de conception évolutionnistes peuvent être utilisées pour supporter les designers: (1) la génération des concepts de design abstraits pour configurer les composantes élémentaires de conception qui

répondent aux exigences fonctionnelles; (2) la génération des instances de la conception qui satisfont aux contraintes géométriques et aux contraintes d'assemblage; et (3) la génération des formes et composants 3D pour la fabrication et l'assemblage facile. Dans cette approche, des algorithmes génétiques sont mis en application en tant que sources de la connaissance de conception à invoquer pendant le processus de conception par les designers pour supporter ces trois tâches.

Dans le modèle du système de design génératif trois tâches essentielles - générer, évaluer, et sélectionner - sont appuyées par une boîte à outils de design génératif. Cette boîte à outils intègre la gestion de contraintes symboliques et les techniques d'apprentissage de concept de design avec les algorithmes génétiques pour supporter un processus de design génératif à l'intérieur d'un cadre basé sur la connaissance. Ce processus de design génératif consiste en trois étapes principales: la génération des concepts de design, le rassemblement des concepts de design et la spécialisation des concepts de design. Pendant tout le processus, le concepteur est intimement impliqué dans la prise de décisions.

4.4 Outil de conception assistée par ordinateur pour les processus de design conceptuel

Dans «*The Grid Sketcher: An AutoCAD Based Tool for Conceptual Design Processes*» Gardner (1998) présente une approche qui vise la génération des solutions possibles tout en laissant l'évaluation et la perception des résultats au concepteur. Cette approche est une ré-interprétation de l'esquisse traditionnelle de l'architecte. Faire des esquisses avec un crayon et une feuille rappelle les processus riches et variés, mais mal définis qui sont associés au design conceptuel. Le «*Grid Sketcher*» (esquisseur par quadrillages), en tant qu'outil conceptuel de dessin, présente une utilisation de l'outil informatique pour contribuer à ces processus. Selon l'auteur, le «*Grid Sketcher*» démontre effectivement la facilité avec laquelle la technologie actuelle et l'environnement informatisé peuvent améliorer et simuler les intentions et les attentes esquissées.

La pensée du concepteur humain est intuitive et parfois irrationnelle. D'autre part, l'informatique nécessite une prévisibilité au niveau de ses activités. Étant donné ces différences, l'outil informatique ne peut pas imiter le domaine typiquement humain du design créateur. Dans ce contexte, cette thèse met l'emphase sur le rôle de l'outil informatique en génération de formes

plutôt qu'en évaluation de formes. Le contenu, l'interprétation et la résolution de ce contenu sont laissés explicitement au concepteur.

Le germe de la pensée est le début du processus de conception architecturale, alors que la concrétisation dérive des règles, des parties, des images, et des outils disponibles au processus. Pour définir le travail de conception hypothétique, Gardner se sert des six concepts de perception suivants: (1) le métaphore, (2) la forme émergente, (3) la valeur émergente, (4) l'abstraction, (5) l'ambiguïté, et (6) la généralité. Le «*Grid Sketcher*» veut englober le domaine intuitif, conceptuel et itératif de la conception. En tant que processus de cognition, son développement assume le support et la mise en valeur de la conception dans le contexte des six critères de perception comme contribution à la poursuite créatrice.

Le concepteur crée la forme initiale. Ensuite les algorithmes de croissance mettent en place les règles de production paramétriques. Ces règles contrôlent les exécutions de remplacement qui produisent des formes intermédiaires et finales. Le concepteur peut intervenir dans le processus à n'importe quel moment pour évaluer des solutions, pour modifier la forme initiale ou pour choisir des productions alternatives.

Comme processus informatique le «*Grid Sketcher*» met en application trois ensembles de procédures distincts. Le premier ensemble comporte cinq algorithmes de croissance distincts et la structure d'informations supplémentaires pour produire les compositions formelles. Le deuxième ensemble de procédures inclut la programmation qui automatise les dispositifs de dessin d'AutoCAD³ pour dépeindre graphiquement les effets formels des algorithmes. Le troisième ensemble de procédures implémente l'interface utilisateur pour contrôler les activités de dessin du «*Grid Sketcher*».

L'objectif principal du «*Grid Sketcher*» est de générer des solutions alternatives à l'intérieur d'un espace de conception déterminé. La vitesse du calcul, la manipulation des conceptions intermédiaires, et les dimensions en tant que restrictions contextuelles, fournissent au concepteur

³Logiciel pour le dessin assisté par ordinateur (DAO) et la conception assisté par ordinateur (CAO) utilisé couramment dans les firmes d'architecture et domaines alliés dans l'industrie de la construction. La version utilisée pour la mise en oeuvre de l'outil présenté dans l'article est AutoCAD R14.

l'occasion de répondre intuitivement au problème de conception. Le «*Grid Sketcher*» évite toute activité basée sur la connaissance, laissant les évaluations contextuelles au concepteur. Dans ce contexte, l'outil doit balancer continuellement la logique structurée fondée sur des règles explicites de l'informatique et le monde des règles de conception en développement qui découlent du crayon du concepteur, du processus en évolution.

4.5 Les concepts provenant du domaine de l'intelligence artificielle

Les limitations que les architectes éprouvent face à leurs outils informatiques soulèvent le besoin de mieux comprendre le processus de conception et toutes ses implications. Le fondement de la recherche entreprise dans le domaine de l'intelligence artificielle est que la compréhension des processus cognitifs qui appuient la conception permettra le développement des outils qui conviendront mieux à la façon dont les concepteurs travaillent. Or plusieurs études rendent compte du fait que le processus de conception fait appel à plusieurs mécanismes cognitifs, des différentes catégories de connaissances, différentes stratégies de recherche pour arriver à la solution optimale (Goel 1995, Rowe 1987, Testa et al. 2000).

4.5.1 La représentation des connaissances par la logique

L'approche présentée par Clibbon et al. (1995) recourt à la logique de premier ordre pour représenter les règles, ainsi que la décomposition de la connaissance architecturale par des formules logique ET/OU. La logique décrit le monde en termes d'objets et leurs propriétés et relations. Les objets peuvent être des choses concrètes ou des choses abstraites. Ils peuvent être primitifs ou composés, vrais ou fictifs. En outre, la logique peut formuler des affirmations au sujet des entités inconnues ou traiter de la connaissance inachevée.

Dans un contexte donné, l'univers du discours est l'ensemble d'objets auxquels on peut référer et sur lesquels on peut discuter. Dans le discours sur un bâtiment, l'univers comprend les parties du bâtiment sur lesquelles nous voulons porter attention (Mitchell 1990). L'univers du discours peut être élargi pour englober plusieurs ensembles de propriétés que nous voulons considérer.

Une fonction est un type particulier de corrélation qui prend un ou des objets dans l'univers du discours comme argument et un autre objet comme sa valeur. Une relation est un autre type de corrélation entre objets. C'est une affirmation qui peut être vraie ou fausse. Une conceptualisation consiste en un univers de discours, un ensemble de base fonctionnel et un ensemble de base relationnel pour l'univers. En établissant une conceptualisation appropriée nous pouvons établir la base pour décrire les bâtiments.

Les limites de la logique comme schéma de représentation dans un processus de conception, où un processus implique la transformation et un certain dynamisme dans la structure, doivent être considérées. Tout ce qui porte sur les possibilités, les intentions, les croyances et les événements hypothétiques ne peut être capté par la logique du premier ordre. Or il s'avère qu'aux étapes préliminaires du processus de conception que la connaissance est souvent exprimée sous ces formes. Une autre considération importante est que le calcul du prédicat est essentiellement un formalisme sans contexte. Le sens d'une expression est indépendante du contexte dans lequel elle est émise.

4.5.2 L'algorithme génétique et la vie artificielle

Le deuxième article de Frazer, Tang et Jian (1999) présente une approche qui reconnaît que le processus de conception est constitué de plusieurs tâches différentes dans l'élaboration du projet. Les auteurs identifient la nécessité d'utiliser différents outils de l'intelligence artificielle pour accomplir ces tâches. L'approche proposée est le développement d'outils spécialisés pour les différentes tâches qui peuvent être mises en application de façon parallèle, lâchement couplée. Les auteurs proposent les algorithmes génétiques pour développer de tels outils informatiques.

L'étude de l'évolution artificielle et de la vie artificielle démontre que plusieurs phénomènes observés dans la nature ne sont pas programmés d'avance dans les gènes mais émergent de l'interaction de l'organisme avec son environnement lors de son développement. Le domaine de la vie artificielle tient à l'évolution et à l'émergence comme concepts clés.

Nous pouvons caractériser la conception comme un organisme. Si nous revenons à notre description du processus de conception comme projet où les différents aspects sont en interaction,

l'application des connaissances dépend de la constitution de l'environnement et les relations vont déterminer les interactions entre multiples événements catalyseurs. Alors nous pouvons considérer que chaque aspect ou événement catalyseur est un agent qui est capable d'exprimer un comportement particulier et interagir avec les autres aspects de l'environnement.

L'évolution artificielle est étroitement liée à la vie artificielle qui est l'étude des systèmes créés par l'homme qui manifestent des comportements caractéristiques des systèmes vivants naturels. La vie artificielle concerne surtout des simulations informatiques, les créatures virtuelles habitant des mondes virtuels. Ceci nous rappelle l'objet de Cache (1995) qui ne reproduit plus un modèle d'imitation, quelque chose qui est prévisible, qui existe déjà, mais qui actualise un modèle de simulation, quelque chose d'imprévisible, de nouveau.

Chaque agent individuel porte une description de ses propriétés qui est son génome. Génotype réfère à l'ensemble des gènes contenus dans le génome. Le génotype est traduit en phénotype par un processus de développement. Dans ce processus les gènes exercent leur influence sur le phénotype de plusieurs façons. L'optimisation du système se fait par une sélection où le phénotype est choisi en fonction des caractéristiques ou des tâches accomplies. La création de la nouvelle population se fait par la reproduction. Ceci peut se faire par la duplication du génotype d'un individu avec mutation possible ou par l'échange des parties du génotype entre deux individus («*crossover*») avec ou sans mutation (Pfeifer & Scheier 1999).

Les algorithmes d'évolution doivent alors comprendre trois processus: la sélection, la reproduction et le développement ou l'interaction avec l'environnement. Pour résoudre un problème avec un algorithme génétique, il faut d'abord définir une représentation, ensuite définir des opérateurs génétiques et finalement définir la fonction objective.

4.5.3 L'émergence: la complexité issue de la simplicité

Dans les domaines de la science cognitive incarnée et de la vie artificielle, l'émergence est une propriété inattendue d'un système où il n'y a aucun indice de cette propriété dans les parties composantes. Pour réaliser une propriété ou un comportement émergent, le système doit comprendre plusieurs composantes dont le comportement est déterminé par des règles locales,

c'est-à-dire des règles qui affectent chaque composante individuellement. L'émergence est également un comportement qui se présente lors de l'interaction agent-environnement. Le terme est normalement employé quand plusieurs processus indépendants interagissent pour produire un comportement particulier, et l'environnement joue un rôle important (Pfeifer & Scheier 1999).

Pour comprendre l'implication de l'émergence pour le processus de conception il faut d'abord considérer le problème du cadre de référence, «*frame-of-reference problem*». Le problème du cadre de référence a trois aspects principaux. D'abord, il y a l'aspect de la perspective. Il faut distinguer entre la perspective d'un observateur regardant un agent et la perspective de l'agent. En particulier, les descriptions du comportement du point de vue de l'observateur ne doivent pas être prises des mécanismes internes sous-jacents au comportement décrit. En second lieu, il y a la question du comportement par opposition au mécanisme. Le comportement d'un agent est toujours le résultat d'une interaction système-environnement. Il ne peut pas être expliqué sur la base des mécanismes internes seulement. Troisièmement il y a l'aspect de la complexité. La complexité qui est observée dans un comportement particulier n'indique pas précisément la complexité des mécanismes sous-jacents.

Le processus de conception est le résultat d'un nombre important de tâches et d'interactions. En tant que système complexe, le processus est non réductible à ses composantes. De plus, à la phase embryonnaire du processus une grande proportion des composantes qui sont présentes dans le système, sont vaguement définies et leur rôle peu compris. Étant donné ce problème, l'approche de limiter le rôle de l'outil à des tâches bien précises et très simples, comme la génération des formes, laissant l'interprétation et l'établissement des relations au concepteur peut être vue comme un essai de capter l'esprit, de procéder par petits pas, tâches simples pour arriver à la complexité. La combinaison des règles d'agencement, de transformation des primitives peuvent générer des formes très intéressantes.

4.6 Discussion des approches informatiques présentées

L'approche logique présentée dans le premier article (Clibbon et al 1995) fait la distinction entre la connaissance stratégique et la connaissance substantive du domaine de l'architecture. La connaissance substantive peut être représentée explicitement dans une base de connaissance. La

connaissance stratégique qui est utilisée pour décider quoi faire ou comment faire est plutôt implicite et dépend du contexte. La question de la modification de la connaissance sous-jacente n'est pas traitée. L'exemple présenté dans le contexte de cet article est l'optimisation de la configuration spatiale d'une habitation. La configuration spatiale optimale dépend du type d'habitation: maison, appartement ou maison de ville. La connaissance stratégique va déterminer comment modifier la configuration spatiale dépendant du type d'habitation, par exemple. Alors la connaissance stratégique est la façon dont le concepteur traverse l'espace de conception.

Mais est-ce que le concepteur traverse l'espace de conception de la même façon à chaque fois? Si nous revenons aux composantes du processus de conception - conception, intention, perception - la stratégie est reliée aux intentions. Le système proposé est fermé dans le sens que toute modification à la connaissance, soit substantive soit stratégique, doit être apportée à la représentation de cette connaissance, à l'extérieur du processus. Cependant dans les premières étapes du processus de conception, la connaissance qui est manipulée est nécessairement floue, incomplète ou ambiguë et cela permet des transformations latérales qui mènent à la génération de solutions alternatives.

Le système de support intelligent de conception présenté dans le deuxième article (Frazer et al, 1999) combine une approche basée sur la connaissance et une approche évolutionniste. Le système se présente comme outil pour plusieurs étapes de la conception et non seulement les étapes préliminaires du processus. L'algorithme génétique est choisi comme mécanisme sous-jacent à la plupart des tâches du système pour la génération, manipulation des connaissances et la spécialisation, optimisation, des solutions de conception. L'algorithme exige que la structure des génomes soit une représentation adéquate et convenable à la connaissance à traiter.

L'intérêt de cette approche est la reconnaissance que les différentes tâches dans un processus de conception exigent différents outils. Une boîte à outils est mise en oeuvre pour permettre au concepteur d'accéder à l'outil informatique qui convient à la tâche qu'il a sous les mains. L'algorithme génétique joue plusieurs rôles dans ce cas, ce qui illustre sa flexibilité. L'algorithme génétique peut être utilisé pour le choix d'outil, la génération des concepts, la spécialisation des conceptions. Dans la plupart des cas, l'algorithme génétique est utilisé comme outil d'optimisation.

Une des questions soulevées dans la problématique est la réduction de la charge cognitive du concepteur. L'approche présentée dans le troisième article (Gardner 1998) laisse l'interprétation de la forme générée au concepteur. L'espace dans cette approche est conditionné par un principe architectural d'organisation formelle. Le «*Grid Sketcher*» assume une trame tri-dimensionnelle comme structure organisationnelle sous-jacente pour toutes ses productions formelles. La génération de la forme exige une définition tri-dimensionnelle de l'espace limitant. Ce volume peut refléter les paramètres contextuels du projet. La signification des formes résultantes est interprétée par le concepteur. Nous reconnaissons qu'il faut trouver un certain équilibre entre la réduction de la charge cognitive du concepteur et l'intégration de connaissance pour structurer le modèle.

4.7 Les caractéristiques retenues pour l'approche informatique

L'objectif de la recherche est l'intégration de l'outil informatique aux étapes préliminaires du processus de conception. Le processus à cette étape se caractérise par l'acquisition et la manipulation de connaissances abstraites, incomplètes et ambiguës. L'outil doit supporter l'exploration de l'espace de conception et la re-interprétation des informations, ce qui peut entraîner une modification de la connaissance.

L'approche informatique doit permettre la constitution des représentations qui sont ouvertes à la ré-interprétation. Ceci implique que la description à la base de ces représentations doit être flexible et facilement modifiable. Également il est préférable que la représentation résultante soit plus schématique que réaliste. Cependant pour que l'approche soit une amélioration du diagramme traditionnel, il doit être possible d'associer différentes significations aux composantes de la représentation.

Notre revue des articles choisis nous a permis de différencier entre différentes approches informatiques. Nous passons maintenant à considérer la façon de modéliser les connaissances sur lesquelles ces approches se fondent. Nous avons vu que certains concepts provenant du domaine de l'intelligence artificielle permettent de structurer les outils en fonction de leurs objectifs. Cependant, dans tous les cas, il y a un modèle du projet architectural qui est à la base de l'organisation de l'outil informatique.

Lorsque nous parlons de l'intégration des connaissances non-géométriques ou non-numériques au modèle informatique nous avons à identifier la façon dont ces connaissances vont se retrouver dans le modèle informatique. C'est-à-dire que le modèle (ou représentation informatique) doit posséder une certaine logique dans sa constitution qui permet un lien clairement énoncé entre le modèle et les caractéristiques qui le définissent. Deux approches sont soulignées: une approche constructive qui est l'assemblage des objets et éléments pour composer ou constituer l'ensemble du projet architectural, et une approche plutôt évolutive qui traite l'objet de la conception comme un tout qui est élaboré et détaillé progressivement selon des caractéristiques ou fonctions particulières pour créer le projet architectural. La distinction entre les deux approches est que la première met l'accent sur l'élément composant et tous les paramètres qui lui sont propres tandis que la deuxième met l'accent sur les caractéristiques de l'ensemble et la manière dont le projet est défini à travers son évolution. Dans le domaine de la conception architecturale assistée par ordinateur ces deux approches sont connues comme l'approche ascendante («*bottom-up*») et l'approche descendante («*top-down*»).

Dans l'approche de bas en haut le processus consiste en une sélection des éléments d'un vocabulaire. Cette approche nécessite une connaissance des caractéristiques formelles et fonctionnelles d'un vocabulaire architectural donné et des techniques de composition. En opposition l'approche de haut en bas commence avec une forme abstraite qui est élaborée jusqu'à sa transformation en forme concrète (Asojo 1999).

Dans notre cas les composantes de l'ensemble sont inconnues ou variables. Nous connaissons peu sur la morphologie du projet en élaboration. À l'étape embryonnaire du processus nous considérons surtout les liens à établir entre concepts ou zones abstraites. Le développement de la conception se fait par la définition et la précision des composantes et les relations qui sont établies entre ces composantes. Alors l'approche de haut en bas se prête mieux à notre démarche.

La modélisation générative dans l'informatique incarne des règles qui génèrent un nombre illimité d'instances de formes par la croissance aléatoire, l'addition et la décomposition. Le concept combine des algorithmes, l'algèbre et les variables avec une connaissance architecturale. Il y a des ensembles de règles simples qui produisent des résultats complexes: la complexité issue de la simplicité. Il y a deux aspects dans la modélisation générative: les composantes et les relations

entre les composantes (Frazer et al. 1999, Gardner 1998). Les règles peuvent être utilisées dans la composition ou la décomposition des objets architecturaux comme outils générateurs ou analytiques.

La façon dont la modélisation générative est décrite ci-dessus correspond plus à une approche de bas en haut. Les composantes sont clairement définies et invariables. Les règles sont explicites. Nous retrouvons une approche qui vise la représentation du possible, la génération des multiples formes, mais qui court le risque de limiter l'exploration par la répétition des patterns pré-définis. Par contre si nous considérons la modélisation générative dans une approche de haut en bas, les règles devront jouer un rôle dans la définition des composantes, des unités du système. Nous imaginons des composantes dont la définition est générique où un certain nombre de variables reste inconnu jusqu'à ce que la composante soit insérée dans le complexe. Cette action permet de compléter sa définition.

De ce point de vue la modélisation générative se rapproche de l'algorithme génétique qui permet une évolution dans les définitions des unités du complexe ainsi que les règles qui s'y appliquent. Étant donnée que nous visons la description informatique des agents de transformation, cette façon de considérer la constitution des composantes du système nous semble appropriée à la description de notre approche informatique.

Les caractéristiques pour l'approche informatique que nous proposons sont basées sur une approche de haut en bas, dont l'élaboration des composantes se fait par une modélisation générative qui comprend des algorithmes ou fonctions quasi génétiques. La base de connaissance architecturale telle qu'elle est définie antérieurement est limitée aux lignes de forces générales du projet, et les espaces fonctionnels donnés par un problème de conception. La nature des formes et des configurations émergentes est nécessairement abstraite et ambiguë pour permettre les transformations latérales, la considération des conceptions alternatives.

Alors notre approche informatique se base sur une approche de haut en bas et doit permettre d'établir des définitions génériques qui peuvent être modifiées par l'interaction avec l'ensemble du système et les interactions locales.

4.8 Conclusion du chapitre

Nous avons passé en revue plusieurs approches à la conception assistée par ordinateur. Cela nous a permis de déterminer certaines caractéristiques souhaitables pour notre approche par rapport aux critères identifiés lors de notre étude des méthodes analytiques du projet architectural ainsi que notre étude sur les représentations utilisées dans la conception architecturale.

Les caractéristiques que nous avons retenues pour notre approche sont fonction des besoins quant aux mécanismes cognitifs de l'idéation, de la représentation et de la perception lors du processus de conception architecturale. Ces caractéristiques ont mené à une description générale de notre approche. Nous passons maintenant à une étude d'un processus de conception architecturale pour permettre une description plus détaillée de notre approche.

5 ÉTUDE DE CAS

Notre interprétation du processus de conception architecturale ainsi que l'élaboration d'une méthodologie d'analyse nous amène à identifier trois catégories de base dans le système dans lequel opère le processus de conception. Les composantes de base dans ce système sont les unités, les transformations et les relations. Nous utilisons cette triade pour orienter notre étude de cas.

Cette étude de cas veut mettre en place un premier modèle du processus de conception pour identifier les **unités**, les règles de **transformation** et les **relations** qui sont en jeu. L'ensemble impliqué par ces termes constitue la description du système de conception à l'intérieur de l'espace de conception ou monde conceptuel du concepteur. Pour passer à la description informatique de cet ensemble il faut comprendre de quoi il s'agit, qu'est-ce que nous cherchons à exprimer par ces mots. Cette étude va servir également à vérifier la cohérence de l'approche analytique ainsi que les concepts repérés sur lesquels se fondera notre approche au support informatique du processus de conception architecturale.

Nous commençons par une explication de l'approche employée dans l'étude. Ensuite nous rappelons notre méthodologie analytique. Le projet de l'étude, la villa Savoye est alors introduit suivi par l'analyse propre. Pour conclure ce chapitre, les résultats de l'analyse seront présentés pour formuler une définition des termes.

5.1 Approche adoptée

La définition des termes: **unité**, **transformation** et **relation**, peut se faire de deux façons par rapport au processus de la conception: soit par l'analyse d'une méthodologie employée par un concepteur, les observations sur le développement de la conception où le résultat est encore inconnu; soit par l'analyse d'un projet existant en retraçant son évolution (travail inverse). Dans le premier cas, le concepteur joue un rôle important dans l'analyse et la compréhension de la structure de son monde conceptuel. Dans le deuxième cas, le projet a une place plus importante dans l'analyse.

L'analyse de la méthodologie employée par un concepteur nécessite l'observation d'un projet en développement, la possibilité d'accéder aux pensées du concepteur et ses explications quant à

l'évolution de sa conception. Or la conception est sujette à une logique interne qui lui est fournie par le concepteur. Celle-ci est fonction de la connaissance, de l'expérience et des croyances du concepteur face au contexte dans lequel le problème est posé. Les diverses formes de représentations veulent exprimer, rendre visible l'état d'évolution du projet, mais il faut reconnaître que certaines étapes du processus ne sont pas représentées et que les composantes qui opèrent le passage entre les étapes ne sont pas explicitement présentes dans les représentations.

Dans ce cas, l'analyse s'appuie essentiellement sur la description fournie par le concepteur du projet en évolution. Les avantages de cette façon de procéder sont qu'en suivant le processus directement, en ayant accès aux acteurs du projet, il est possible de voir comment les différentes questions posées lors du processus affectent le développement du projet. Les unités sont définies directement par les acteurs, et les relations entre elles peuvent être déduites par l'importance accordée à chacune, et son effet sur les autres unités et sur l'ensemble. Cependant l'information fournie dans ce contexte risque d'être trompeuse sinon incomplète. La couche d'information qu'il est difficile à rendre explicite joue un rôle très important dans l'évolution du projet. La logique interne de la conception est plutôt intuitive et les méthodologies de travail varient selon les différents concepteurs et les différents projets. Cela entraîne le risque que l'analyse amène au développement d'outils et d'approches informatiques qui répondent aux besoins d'un petit nombre de concepteurs.

L'analyse d'un projet existant, c'est-à-dire le résultat d'un processus, met l'accent sur la reconstitution du processus qui a mené à ce résultat. Cette façon de procéder entraîne la nécessité de poser certaines hypothèses quant à la transformation du projet lors du processus. Cependant vu que le travail se fait à partir des documents représentant les différentes étapes du développement du projet, il est possible d'envisager des hypothèses plus précises. Pour faire ce type d'étude, il faut avoir accès à une documentation plus ou moins complète, portant sur toute l'évolution du projet en question. Il est également nécessaire de considérer le contexte historique et identifier les acteurs dans le processus pour mieux comprendre la dynamique de l'évolution du projet.

L'intérêt de cette approche dans l'analyse est que la distance induite entre le concepteur et le projet permet de comprendre l'ensemble du projet et son évolution sans avoir à tirer des hypothèses basées sur des actions implicites. L'accent est mis sur le passage possible entre les étapes. Vu qu'il

est possible d'accéder à l'étape de départ et à l'étape finale, le discours du concepteur joue un rôle moins important que dans une analyse où l'étape finale est inconnue. Les définitions des concepts peuvent s'élargir dans la reconstitution du processus de conception d'un projet existant, ce qui ouvre la possibilité de développer des outils et approches informatiques qui ne seront pas nécessairement spécifiques au projet faisant objet de l'étude.

L'approche que nous employons pour définir les concepts d'unité, transformation et relation, consiste à faire l'analyse d'un projet existant pour établir son processus de conception, à identifier les unités qui constituent l'ensemble du projet de façon générale, à établir les relations qui existent entre ces unités et comment elles se transforment dans l'évolution du projet afin d'identifier les mécanismes de transformation.

5.2 Méthodologie de l'analyse

Nous avons élaboré notre méthodologie d'analyse au chapitre 3. La méthode d'analyse pour cette étude doit rendre explicite la ligne directrice ou les intentions du projet. Elle doit permettre d'identifier les unités morphologiques et fonctionnelles qui influencent cette ligne directrice. Finalement, elle doit permettre de vérifier la cohérence du projet par rapport aux intentions du concepteur. Nous employons la méthodologie d'analyse que nous avons élaborée au chapitre 3. La méthode consiste à identifier des unités qui peuvent être des espaces, des activités ou des fonctions, à identifier les relations entre les unités, à déterminer l'existence d'un ou des axes (morphologique, orientation, fonction), à déterminer le rôle que joue le ou les axes (symbole ou instrument), à identifier les composantes de l'axe, et finalement, à repérer les forces qui influencent cet axe (transformation).

5.3 Présentation du projet de l'étude: la villa Savoye

Le projet architectural choisi comme objet de l'étude pour la présente analyse doit répondre aux exigences suivantes:

- Être un projet existant, réalisé et construit, c'est-à-dire, être le résultat d'un processus et non pas le processus.

- Le projet doit être bien documenté et cette documentation doit être accessible. L'idéal sera que la documentation soit sous différentes formes: écrits, modèles, photographies, etc. La documentation doit également représenter le projet dans toutes les phases de son évolution, ou le plus grand nombre possible.
- Information sur l'architecte, ses tendances philosophiques, théoriques, son approche quant à la conception doit être disponible.
- Le projet doit dater d'un certain temps, avoir une certaine distance historique qui permettra d'étudier le bâtiment dans un contexte historique qui n'est pas le nôtre.
- L'idéal sera que le projet ait déjà fait l'objet de plusieurs études, ceci afin de pouvoir disposer et vérifier de la cohérence des hypothèses posées sur le processus de conception.
- Le projet doit être de taille restreinte avec une certaine complexité. Au moins trois aspects doivent être en jeu. Un aspect peut être la circulation, questions d'ombre et lumière, orientation vers une vue, une analogie ou métaphore qui guide la conception, etc.

Le projet choisi comme objet de l'étude est la villa Savoye conçue par Le Corbusier à la fin des années 1920. Cette villa peut être considérée comme le résultat d'une décennie de recherche sur la maison moderne dans le cadre théorique du purisme. L'étude va se concentrer sur la circulation et l'organisation spatiale de la villa pour illustrer le rôle du concept de «la promenade architecturale» dans l'élaboration du projet.

5.3.1 Les versions identifiables du projet

Dans son étude des dessins de Le Corbusier, Benton identifie cinq versions distinctes dans l'élaboration de la villa Savoye (Benton 1984). Nous nous appuyons sur cette étude dans notre interprétation des étapes du processus sur cette étude. Les projets sont identifiés comme suit:

- Projet A: 28 octobre 1928
- Projet B1: 6 novembre 1928 et Projet B2: 7 novembre 1928. Il s'agit de deux variantes d'un même thème.
- Projet C: 26-27 novembre 1928
- Projet D: 17 décembre 1928
- Projet E: avril 1929 - tel que construit

L'analyse portera sur chaque version du projet et tâchera ensuite de comparer les résultats et d'établir les unités et relations variantes et invariantes et les transformations d'une version du projet à une autre. À noter que l'objectif n'est pas de reproduire le processus de Le Corbusier mais plutôt d'émettre des possibilités quant aux fonctions de transformation dans son oeuvre.

5.3.2 Contexte théorique de la villa

Avant de passer à l'analyse de la villa, nous présentons quelques concepts importants de l'oeuvre de Le Corbusier à cette époque pour élucider les orientations de son travail. La villa Savoye fait partie d'une série de villas parisiennes qui manifestent tous les éléments clés de l'architecture de Le Corbusier. La publication de Vers une architecture en 1922 met au point les préoccupations de l'architecte et la création de l'architecture, en particulier l'utilisation des formes pures, la relation entre plan, volume et surface, et l'axe comme élément fondamental du plan.

«L'axe est une ligne de conduite vers un but. En architecture il faut un but à l'axe.[...] L'ordonnance est la hiérarchie des axes, donc la hiérarchie des buts, la classification des intentions. Donc l'architecture assigne des buts à ses axes. Ces buts, c'est le mur (le plein, sensation sensorielle) ou la lumière, l'espace (sensation sensorielle).» (Le Corbusier 1923)

En considérant le lien entre forme et fonction, Hillier (1995) fait la distinction entre la métaphore et le paradigme de la machine. Une proposition importante pour la théorie architecturale au 20^{ème} siècle est «la maison est une machine pour habiter» de Le Corbusier. L'approche de Le Corbusier concerne le potentiel symbolique de l'espace. Selon Hillier, il est clair que Le Corbusier voit le plan comme partie de l'architecture et un espace qui est organisé par le plan comme une expression primordiale de la créativité architecturale. Sa philosophie spatiale est spécifique. L'élément spatial principal est l'axe. L'organisation d'un bâtiment est l'organisation des axes, c'est-à-dire un ensemble des séquences d'expérience. (Hillier 1995)

Si nous retournons maintenant au concept de la forme générique de Baker (1984) et au concept de la fonction générique nous constatons que, pour la villa Savoye, la forme générique est le carré ou boîte et la fonction générique est le mouvement, la promenade architecturale. L'identification de la

fonction se fait par rapport à l'obsession de Le Corbusier de la circulation pendant les années vingt (Le Corbusier 1977). L'élaboration de ses cinq points d'architecture⁴ a des conséquences importantes sur la circulation et le concept de la promenade architecturale. Les esquisses préliminaires de la villa illustrent cette préoccupation. Les éléments de la circulation, et en particulier la rampe auront une place de plus en plus importante au fil des projets des villas parisiennes.

Dans le premier volume de son oeuvre complète, Le Corbusier présente son concept de promenade architecturale en décrivant les maisons La Roche-Jeanneret.

«Ces deux maisons accouplées en un seul massif, réalisent deux problèmes très différents: l'une des maisons abrite une famille avec des enfants et comporte quantité de petites pièces et tous les services utiles au mécanisme d'une famille. L'autre maison est destinée à un célibataire, propriétaire d'une collection de peinture moderne et passionné des choses de l'art. Cette seconde maison sera donc un peu comme une *promenade architecturale* [sic]. On entre: le spectacle architecturale s'offre de suite au regard; on suit un itinéraire et les perspectives se développent avec une grande variété; on joue avec l'afflux de la lumière éclairant les murs ou créant des pénombres. Les baies ouvrent des perspectives sur l'extérieur où l'on retrouve l'unité architecturale.» (Le Corbusier & Jeanneret 1957a)

Dans sa présentation de la villa Savoye dans le deuxième volume de son oeuvre complète Le Corbusier indique l'origine de la promenade architecturale, ainsi:

«L'architecture arabe nous donne un enseignement précieux. Elle s'apprécie à *la marche*, [sic] avec le pied; c'est en marchant, en se déplaçant que l'on voit se développer les ordonnances de l'architecture. C'est un principe contraire à l'architecture baroque qui est conçue sur le papier, autour d'un point fixe théorique. Je préfère l'enseignement de l'architecture arabe. Dans cette maison-ci, il s'agit d'une véritable promenade architecturale, offrant des aspects constamment variés, inattendus, parfois étonnants. Il est intéressant d'obtenir tant de diversité quand on a, par exemple, admis au point de vue constructif, un schéma de poteaux et de poutres d'une rigueur absolue.» (Le Corbusier & Jeanneret 1957b)

⁴Les cinq points d'une architecture nouvelle: les pilotis, le toit-jardin, le plan libre, la façade libre et la fenêtre en longueur (Le Corbusier & Jeanneret 1957a).

En plus de la question de la circulation, la forme et le jeu de la lumière jouent un rôle important dans l'architecture de Le Corbusier. Le Corbusier publie le projet A en 1928 dans le premier volume de son oeuvre complète en le décrivant ainsi:

«Une thèse de l'habitation moderne se présente ici: un vaste volume de salle dans lequel on vit toute la journée dans le bien être des grandes dimensions et du grand cube d'air, dans l'afflux de la lumière. Dégageant su cette grande salle, des box attribués à des fonctions de plus courte durée et pour la satisfaction desquelles, les dimensions exigées par les règlements en vigueur sont trop grandes, entraînant ainsi une dépense d'argent inutile.» (Le Corbusier & Jeanneret 1957a)

Et plus loin:

«Site: magnifique propriété formée d'un grand pâturage et verger formant coupole entourés d'une ceinture de hautes futaies. La maison ne doit pas avoir un front. Située au sommet de la coupole, elle doit s'ouvrir aux quatre horizons. L'étage de l'habitation, avec son jardin suspendu, se trouvera élevé au-dessus de pilotis de façon à permettre des vues lointaines sur l'horizon.

Sous les pilotis, s'établit la circulation automobile, les services domestiques, le garage. L'entrée est dans l'axe, sous les pilotis, et une rampe très douce conduit insensiblement à l'étage.

L'orientation du soleil est opposée à celle de la vue. On est donc allé chercher le soleil par la disposition en décrochement sur le jardin suspendu.» (Le Corbusier & Jeanneret 1957a)

5.4 L'analyse de la villa

La villa Savoye est considérée de deux façons dans cette analyse. D'abord, la transformation de la forme générique en forme spécifique est considérée comme le résultat des patterns de mouvement ou de déplacement à l'intérieur de la villa. En second lieu, les fonctions spécifiques de la villa sont considérées comme agents de transformations qui influencent la séquence des expériences et ainsi la constitution de la promenade architecturale.

L'étude de la villa se présente de la façon suivante. À partir de la documentation sur le projet nous avons élaboré des graphes justifiés (**Figures 9 - 15**) de chaque version du projet pour illustrer l'évolution de la configuration spatiale dans le développement du projet. Les typologies topographiques sont repérées pour comparer le type de mouvement dans chaque zone ou sous-complexe dans chaque version du projet et identifier la présence d'un axe et le rôle de cet axe dans la détermination de la forme de la circulation.

Le point de départ de notre étude fournit des indications quant aux forces qui influencent la forme et la disposition de la villa. Nous allons nous concentrer sur la circulation et son évolution au cours des cinq versions du projet comme manifestation de la promenade architecturale. L'orientation du soleil et de la vue, et la transformation résultante de la boîte sont considérées en relation avec la circulation. Nous commençons par une première définition d'une unité de circulation comme étant un point de départ, un déplacement avec un point d'arrivée. Ces trois composantes vont influencer la disposition et la forme de l'ensemble de la circulation et donc la configuration spatiale de la villa. De la description du projet ci-dessus nous pouvons voir que la disposition des espaces-activités est affectée par l'orientation du soleil et de la vue. De plus, la description annonce une stratification horizontale selon les fonctions et une catégorisation de ces fonctions (**Figure 6**).

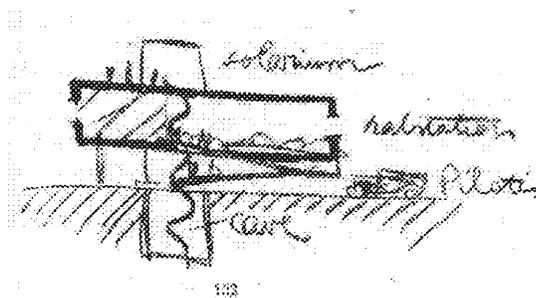


Figure 6. Schéma de la coupe de la villa Savoye. (Le Corbusier 1960)

D'après notre compréhension de l'influence de la typologie topologique sur le déplacement, le mouvement dans une configuration spatiale, il nous semble que la promenade architecturale se manifestera par un circuit continu qui mène de l'extérieur jusqu'au solarium, identifié comme le point culminant du programme de la villa. Ceci suggère un chemin à suivre clairement défini, mais étant donnée l'importance accordée à la séquence des vues, le chemin sera ouvert visuellement aux espaces et autres sous-chemins.

Pour retracer le processus de conception possible de la villa Savoye nous commençons par l'analyse du projet E, la villa tel que construit (**Figure 7**, **Figure 8**), et nous terminons avec le projet A.

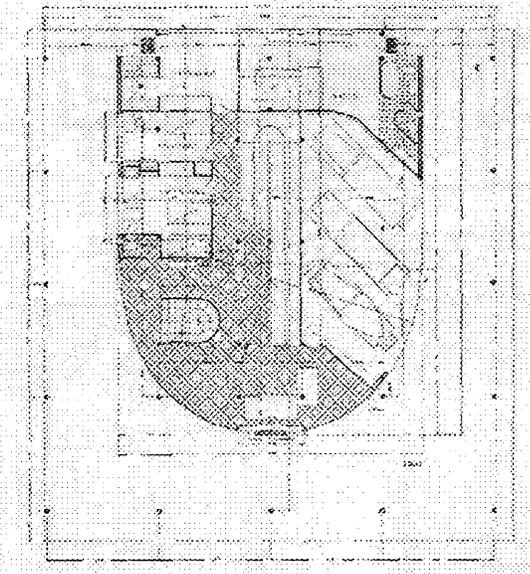


Figure 7. Projet E - Plan du rez-de-chaussée de la villa. (Le Corbusier & Jeanneret 1957b)

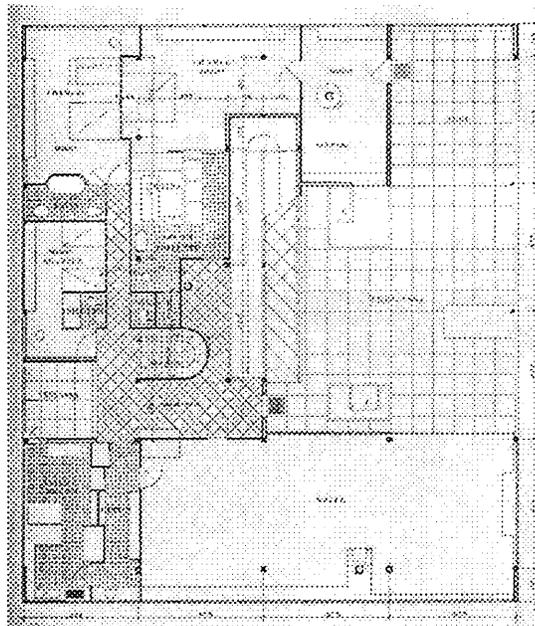


Figure 8. Projet E - Plan de l'étage principal (Le Corbusier & Jeanneret, 1957b)

5.4.1 L'analyse du projet E de la villa Savoye

D'abord nous considérons comment Le Corbusier décrit son propre projet.

«Le site: une vaste pelouse bombée en dôme aplati. La vue principale est au nord, elle est donc opposée au soleil, le devant normal de la maison serait donc à contresens.

La maison et une boîte en l'air, percée tout le tour, sans interruption, d'une fenêtre en longueur. Plus d'hésitation pour faire des jeux architecturaux de pleins et de vides. La boîte est au milieu des prairies, dominant le verger.

Sous la boîte, passant à travers les pilotis, arrive un chemin de voitures faisant aller et retour par un épingle à cheveux dont la boucle enferme, précisément sous les pilotis, l'entrée de la maison, le vestibule, le garage, les services [. . .]. Les autos roulent sous la maison, se garent ou s'en vont.

De l'intérieur du vestibule, une rampe douce conduit, sans qu'on s'en aperçoive presque, au premier étage, où se déploie la vie de l'habitant: réception, chambres, etc. Prenant vue et lumière sur le pourtour régulier de la boîte, les différentes pièces viennent se coudoyer en rayonnant sur un jardin suspendu qui est là comme un distributeur de lumière appropriée et de soleil.

C'est le jardin suspendu sur lequel s'ouvrent en toute liberté les murs de glaces coulissants du salon et plusieurs pièces de la maison: ainsi le soleil entre partout, au coeur même de la maison.

Du jardin suspendu, la rampe, devenue extérieure, conduit sur le toit, au solarium. Celui-ci d'ailleurs est relié par trois volées d'un escalier à vis jusqu'à la cave creusée en terre sous les pilotis. Cette vis, organe vertical pur, s'insère librement dans la composition horizontale.

Pour finir, voyez la coupe: l'air circule partout, la lumière est en chaque point, pénètre partout. La circulation fournit des impressions architecturales d'une diversité qui déconcerte tout visiteur étranger aux libertés architecturales apportées par les techniques modernes. Les simples poteaux du rez-de-chaussée, par une juste disposition, découpent le paysage avec une régularité qui a pour effet de supprimer toute notion de «devant» ou de «derrière», de «côté» de maison.» (Le Corbusier 1960)

Le Corbusier décrit sa villa comme un objet à découvrir. Nous nous attendons à ce que la configuration spatiale reflète une telle situation. Un premier regard sur le plan (**Figure 7**) semble contredire ceci. Le plan manifeste une forte symétrie qui est ancrée dans la position et la forme de la rampe. Il semblerait que la disposition des unités spatiales est plus fortement géométrique que topologique. Par contre, les graphes justifiés indiquent tout autre chose (**Figure 9**). Il n'y a pas deux espaces qui produisent le même graphe; ce qui veut dire qu'il n'y a pas de symétrie inhérente

au complexe spatial. L'implication de ceci est que même si au premier regard l'ordre semble évident, le déplacement à travers les espaces de la villa ne reflète pas le même ordre.

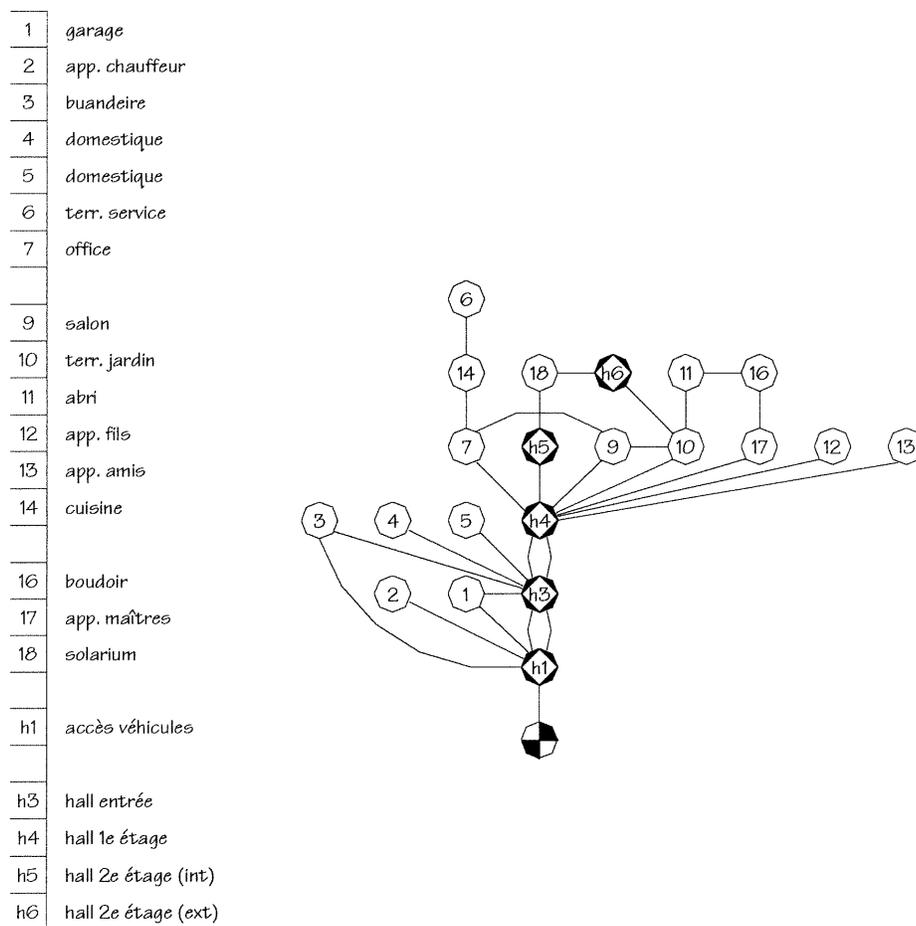


Figure 9. Graphe justifié de l'ensemble de la villa, illustrant la situation du projet E: 29 avril 1929.

En considérant le graphe justifié pour le projet (**Figure 9**), nous notons qu'il y a six niveaux de profondeur. De plus nous pouvons identifier deux chemins ou trajets «parallèles» qui mènent au même point d'arrivée (le solarium). Ces deux trajets sont symbolisés par l'utilisation de l'escalier en vis en opposition à la rampe. Les deux trajets correspondent à deux catégories de fonctions spatiales, les espaces de service et les espaces de vie. Si nous passons maintenant à la typologie topologique des espaces, nous constatons que les complexes spatiaux constitués des espaces de services sont d'une nature topologique différente de ceux des espaces de vie. Le mouvement dans les zones de service est plus restreint. Considérons l'office qui est le lieu d'échange entre les espaces de service et les espaces de vie. Il est relié à l'axe majeur de circulation et un à espace de vie principal, la salle. Il sert également de point de départ pour l'épine de mouvement à travers la cuisine jusqu'à la terrasse service. Dans ce dernier sous-complexe, il n'y a qu'un chemin unique qui mène vers et de la terrasse service. Le mouvement dans ce cas est restreint à une seule ligne.

Si nous portons notre attention maintenant au rez-de-chaussée de la villa (**Figure 10**), nous constatons qu'à l'exception du hall d'entrée tous les espaces sont consacrés aux fonctions de service. Cela découle de l'idée que ce niveau de la villa est réservé au mouvement. Sa forme est dérivée de l'arc de courbure d'une automobile et met en valeur l'obsession de Le Corbusier par la circulation et l'avènement de l'automobile. Curieusement, malgré le fait que nous nous attendions à une certaine liberté de mouvement dans cet étage, les chemins sont clairement établis. Les espaces de service sont pour la plupart des espaces de type A ou des culs-de-sac. Nous rappelons que la fonction générique d'espaces de type A est l'occupation. Ces espaces abritent des activités qui sont soit statiques soit ne nécessitent aucune interaction avec des espaces adjacents, c'est-à-dire une activité qui n'exige pas de mouvement entre ou à travers des espaces.

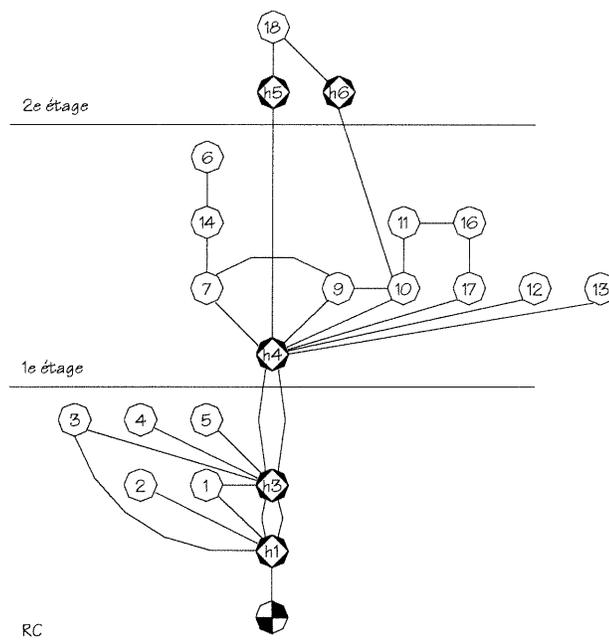


Figure 10. Graphe justifié illustrant la situation à chaque étage du projet E: 29 avril 1929.

Regardant les espaces qui sont les halls au niveau de rez-de-chaussée et au premier étage, nous notons qu'ils sont tous les deux des espaces de type D, qui sont des espaces où deux ou plus de chemins en anneaux se croisent. Les espaces de type D sont normalement associés à la liberté de mouvement et à l'intégration maximale. Ils sont des espaces dont la fonction générique est le déplacement ou le mouvement. Il est intéressant de noter que ces espaces jouent un rôle de transition dans la promenade architecturale. De plus, dans ce projet, il n'y a pas de point d'arrivée explicite pour la promenade, la configuration spatiale implique un mouvement continu à travers les espaces variés.

Nous pourrions considérer la ligne des espaces de hall comme constituant l'épine de circulation ou l'axe de la villa. En fait, les espaces qui constituent l'épine de circulation sont des espaces de type D et les espaces qui constituent la promenade architecturale sont la plupart des espaces de type C. Ces derniers espaces, même s'ils sont plus restrictifs par rapport au choix du chemin permettent un déplacement continu à travers le complexe spatial sans avoir à retourner par le même chemin. Si nous regardons le graphe justifié pour le projet divisé selon les étages (**Figure 10**), nous voyons que le complexe spatial de chaque étage retient ce caractère lorsque inclus dans le complexe de la villa au complet. Cela nous amène à conclure que la promenade architecturale est tridimensionnelle et les liens entre les étages sont essentiels au mouvement continu à travers la villa.

Si nous passons à la question de la visibilité entre les espaces (**Figure 11**), lorsque nous traversons la villa, la visibilité est plus marquée au fur et à mesure que nous procédons à la promenade. Dans les différents halls nous sommes conscients d'une deuxième option de circulation verticale. De la terrasse-jardin nous pouvons voir la rampe qui conduit de l'étage inférieur et sa suite vers le solarium au-dessus, même si aucun de ces espaces n'est directement accessible. La relation entre les espaces nous est intelligible et nous donne un sens d'où le chemin nous amène.

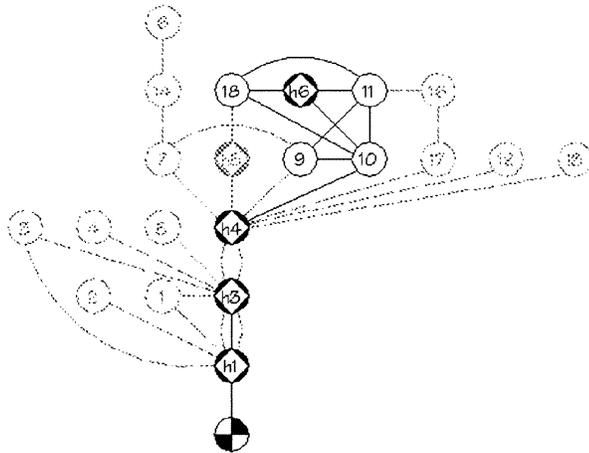


Figure 11. Graphe justifié illustrant la visibilité entre espaces pour le projet E. Les liens de visibilité sont indiqués par lignes continues.

5.4.2 L'analyse du projet D de la villa Savoye

Passons maintenant au projet daté du 17 décembre 1928, nous constatons que la configuration spatiale est essentiellement la même (**Figure 12**). Les différences entre ce projet et le projet considéré plus haut consistent plutôt dans la disposition géométrique que dans les relations spatiales. La distinction entre les espaces de service et les espaces de vie est dans la position et la nature des sous-complexes spatiaux. Nous constatons que l'axe est présent à cette étape du processus. Nous pouvons dire alors qu'étant donné la ressemblance forte entre ces deux derniers projets que les idées formelles et spatiales ont déjà été fixées. Il reste à voir si ces idées sont présentes lors du processus entier.

est aussi fortement linéaire. Le mouvement dans ce projet est plus fortement horizontal, où l'intelligibilité est restreinte à chaque étage.

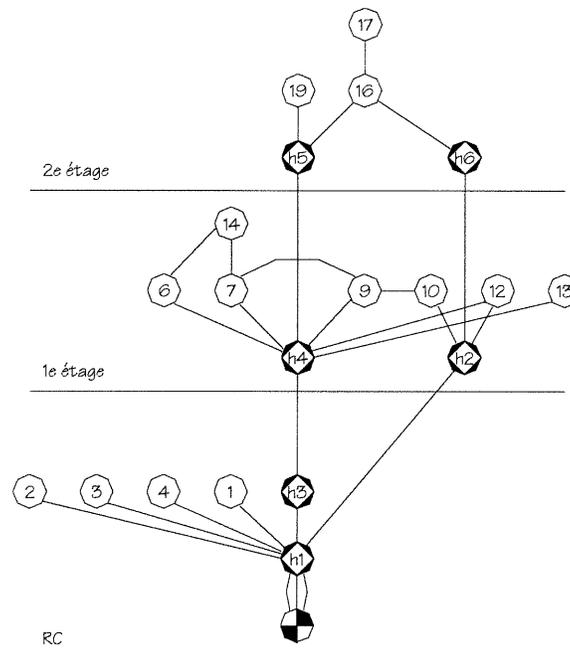


Figure 13. Graphe justifié illustrant la configuration de chaque étage du projet C: 26-27 novembre 1928.

Dans ce projet, les espaces de type D sont l'office, le hall au premier étage et le salon. Encore une fois, ces espaces sont des espaces d'interaction, mais contrairement aux projets vus plus haut, ils ne font pas partie d'une promenade architecturale. Le mouvement à travers les espaces de service est circulaire plutôt que linéaire. Nous retrouvons également une distinction entre les espaces de service et les espaces de vie.

5.4.4 L'analyse des projets B1 et B2 de la villa Savoye

Le projet présenté au début de novembre 1928 comporte deux variantes (**Figure 14**). Ces variantes diffèrent dans le nombre d'espaces ainsi que dans les liens entre les espaces. Même si ces différences sont mineures, elles ont un impact considérable sur la configuration spatiale. Dans la seconde variante de ce projet, il n'y a aucun espace de type D. Les halls, qui deviennent des lieux d'interaction de mouvement dans les projets subséquents sont dans ce cas simplement des espaces sur des anneaux de circulation. La majorité des espaces dans cette variante du projet sont des espaces de type A. Les autres espaces sont des espaces de type C à l'exception du jardin terrasse qui est un espace de type B. Le nombre des anneaux de circulation est réduit et met l'accent sur le mouvement horizontal plutôt que sur le mouvement vertical. Ceci veut dire que les anneaux sont gouvernés par la position des halls, qui doivent être considérés comme des points de départ au lieu de points de repos ou de changement de direction sur une promenade.

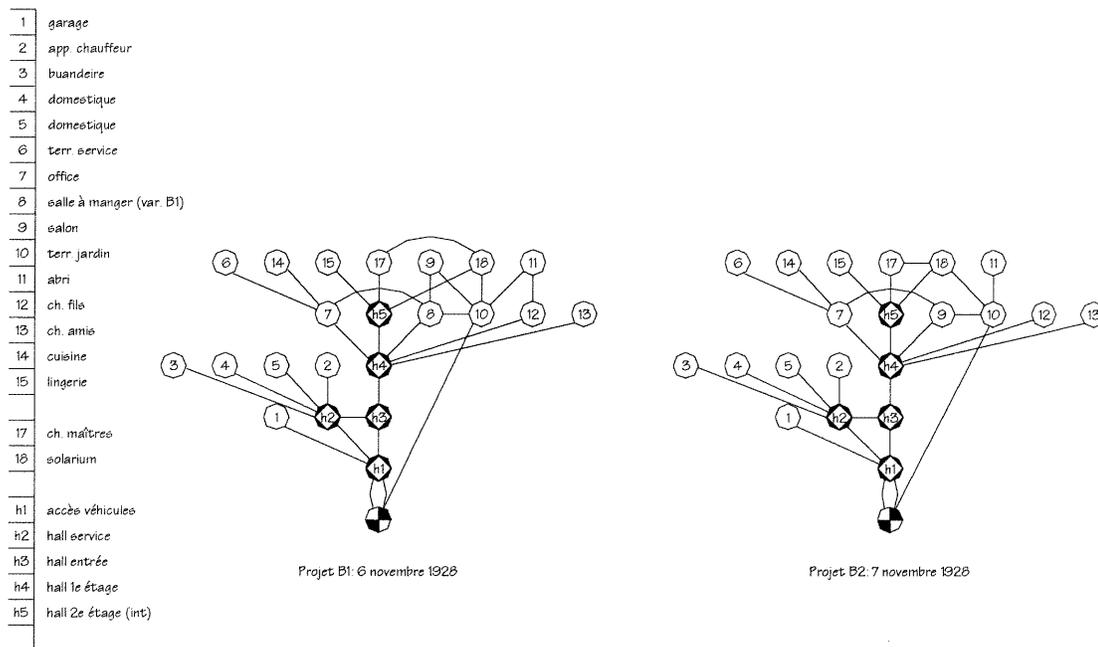


Figure 14. Graphes justifiés illustrant les différences entre les variantes B1 et B2 de la villa.

Dans la première variante du projet du début novembre, l'identification de la salle à manger et le lien entre l'appartement du fils et le jardin terrasse propose un plus grand choix de mouvement, faisant des halls au premier et deuxième étages, du solarium, de la terrasse jardin et de la salle à manger des espaces de type D. Ceci a pour conséquence la caractérisation des espaces de vie comme des composants des anneaux de circulation et ainsi des constituants d'une promenade architecturale, alors que les espaces des services dans la majorité des cas demeurent des espaces de type A. Cependant, il est important de noter que l'espace culminant de la promenade n'est pas clairement identifiable, car le solarium joue le rôle d'un espace de mouvement plutôt que d'un espace de repos. Il y a une division très nette entre le mouvement au rez-de-chaussée et le mouvement au premier étage. Par contre, il y a plus d'intégration verticale entre les étages supérieurs.

5.4.5 L'analyse du projet A de la villa Savoye

Pour compléter notre analyse, nous passons à la première version du projet, celle du 28 octobre 1928 (**Figure 15**). D'après cette version, la circulation est très libre. Les espaces de service ne se distinguent pas très fortement des espaces de vie, les sous-complexes étant plus interliés. Le mouvement, la direction de déplacement ayant plusieurs possibilités, l'axe n'est pas très présent du point de vue fonctionnel, même si la forme s'établit avec une forte symétrie. Les sous-complexes correspondent au regroupement des activités, les zones énoncées dans la commande. Dans ce cas, nous identifions plusieurs espaces de type D qui sont les intersections de plusieurs boucles, anneaux de circulation et qui proposent l'intégration de la circulation. Les espaces sont plus proches dans le sens que le trajet d'un espace à un autre passe à travers un minimum d'espaces intermédiaires.

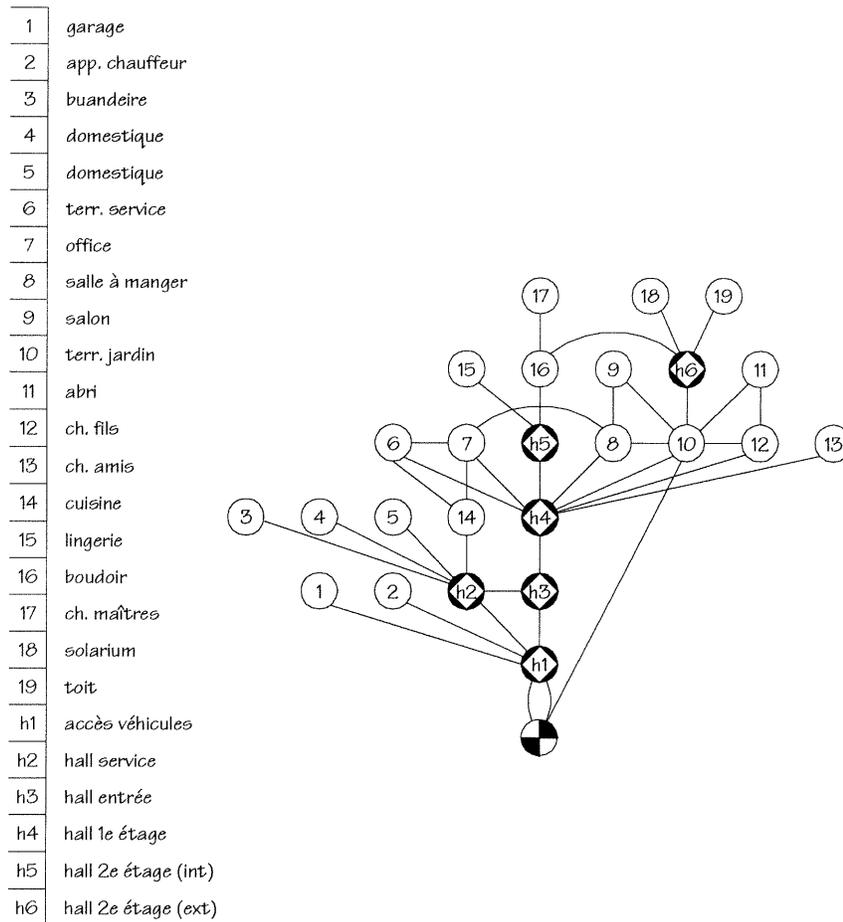


Figure 15. Graphe justifié illustrant la situation de l'ensemble de la villa au projet A: 28 Octobre 1928.

5.5 Les résultats de l'analyse de la villa

La promenade architecturale peut être définie comme une séquence des expériences qui sont décrites par rapport à la vue, à la lumière et à l'ouverture de l'espace. Nous constatons alors que la promenade se développe sur un trajet/chemin particulier et relie un ensemble des espaces-activités.

Dans le cas de la villa Savoye, les espaces-activités qui constituent cet ensemble, sont les halls, la salle, le terrasse-jardin et le solarium. Il s'agit donc d'espaces publics, c'est-à-dire de réception, dont le caractère cérémonial de la promenade. Le déplacement se limite (en ce qui concerne la promenade) au passage à travers ces espaces. Là où il y a accès aux espaces privés ou aux espaces de service, il y a interaction entre les chemins. L'élaboration du processus est la clarification de cette distinction.

La création et la concrétisation de cette villa dans le processus décrit plus haut dépendent à la fois des typologies topologiques des espaces qui la constituent et des fonctions spécifiques de ces espaces. C'est-à-dire que la séquence formelle dans la mesure où il y a possibilité de passer entre espaces, et de voir à travers les espaces, est appuyée par la séquence fonctionnelle, c'est-à-dire la logique dans les relations entre les espaces, les zones ou catégories des fonctions tels que les services, la réception et la réflexion privée. Donc, nous constatons que la promenade architecturale comme concept de circulation nécessite l'identification des activités, les relations entre ces activités ainsi que les types d'espaces pour héberger les activités. C'est l'organisation de l'ensemble qui permet la structuration des séquences qui deviendront la promenade.

Par rapport à notre méthodologie d'analyse, nous avons identifié l'épine de circulation entre les halls comme formant un axe principal du projet. Malgré le fait que le mouvement coïncide avec cet axe, les espaces liés n'ayant pas de fonction spécifique, n'hébergeant pas une activité particulière nous caractérisons l'axe comme symbolique. De plus, Le Corbusier a caractérisé ce trajet principal comme un chemin cérémonial. Nous constatons que les espaces fonctionnels de la villa, les espaces de service et les espaces principaux sont à côté du trajet et ne sont pas des constituants de la promenade, à l'exception de la terrasse-jardin et du solarium.

Les forces influençant le projet en général et l'axe symbolique en particulier sont les orientations de la vue et du soleil. Les orientations établissent les positions du salon, du solarium et de la terrasse-jardin. L'orientation du site étant à l'envers de la normale affecte la situation de l'entrée. Finalement, nous identifions la force de la circulation et en particulier de la circulation véhiculaire. Cette force a comme conséquence qu'il est impossible d'appréhender ou de comprendre la villa d'une position statique. Il faut se déplacer. La configuration spatiale va donc refléter cette exigence.

5.6 Définitions des termes: unité, transformation et relation

D'après notre étude présentée ci-dessus nous définissons une unité comme un espace où une activité se produit. Cet espace est caractérisé entre autre par sa localisation, son orientation, sa typologie topologique qui permettront par la suite de lui donner une forme qui répond à sa position topologique et fonctionnelle dans l'ensemble. La définition de cette unité n'exige pas que l'espace soit délimité par des murs, mais seulement qu'il soit possible de distinguer cet espace de son voisin. La façon dont cette distinction est faite va dépendre des relations que nous définissons plus bas. Nous avons également à considérer ce que nous appelons des unités composées, telle l'unité de circulation. Dans ce cas, l'unité se définit plutôt par sa fonction dans le sens que les liens sont établis par rapport à des intentions tel que la circulation, le déroulement d'une suite des activités qui peuvent être de caractère sacré ou profane. Il se peut que les exigences sociales plus structurées comme dans un palais de justice demande une approche plus théâtrale, c'est-à-dire que la conception peut se comparer à une mise en scène. Malgré cette distinction, nous retrouvons à la base la question d'espace ayant le potentiel d'héberger une fonction ou activité.

Nous considérons ensuite la transformation. Les transformations que nous avons vues dans notre étude de la villa Savoye s'opéraient sur les liens. La présence ou l'absence des liens influençait la typologie topologique, la fonction générique et ainsi la configuration spatiale de l'ensemble. Alors, par rapport à nos unités décrites plus haut et à nos relations définies ci-dessous, il nous semble raisonnable de considérer les opérations de transformation suivantes dans notre recherche. Les opérations sont l'ajout d'un espace ou d'un lien, l'élimination d'un espace ou d'un lien, le déplacement d'un espace ou un lien et le changement dans le type de lien ou la nuance du type de lien. Ces opérations peuvent se faire dans le contexte d'une transformation latérale ou verticale. Le type de transformation dépend des forces en jeu dans la conception.

L'analyse de la villa Savoye nous amène à considérer les relations d'adjacence, de perméabilité et de visibilité dans le cadre de notre travail. La relation d'adjacence considère la distance physique ou sensorielle entre deux espaces. La description la plus simple de cette relation est celle d'un espace qui est à côté d'un autre. Cependant, nous voulons élargir cette définition pour inclure la notion de proximité. C'est-à-dire qu'en plus de la juxtaposition directe de deux espaces, nous considérons la force d'un lien que nous pourrions caractériser comme magnétique entre ces deux

espaces. Alors la relation d'adjacence n'est plus binaire d'ordre oui ou non, mais une relation qui permet une gradation de l'adjacence: très proche, plus ou moins proche, pas proche.

La relation de perméabilité pose la condition de possibilité de passage d'un espace à un autre sans avoir à passer par un troisième espace intermédiaire. La manifestation formelle de cette relation est une porte ou une ouverture permettant le déplacement entre les espaces. La perméabilité est la relation qui est à la base de la circulation. Il faut avoir la possibilité de pénétrer à l'intérieur d'un espace pour y circuler. Nous voulons aussi ouvrir la possibilité de nuancer cette relation pour permettre, par exemple, la distinction fonctionnelle entre un point de contrôle de sécurité, une porte, une ouverture dans un mur et une distinction qualitative entre espaces ou zones qui ne nécessite aucune frontière concrète.

La relation de visibilité complète notre triade des relations. La visibilité est la possibilité de voir un espace à partir d'un autre qui n'est pas nécessairement connexe. Ici, nous pouvons faire la distinction entre la vue unidirectionnelle, où la connexion visuelle se fait en une direction seulement, et la vue bi-directionnelle où les espaces sont tous les deux visibles de l'un et de l'autre. Cette relation n'établit aucune limite quant à la direction, la séparation physique ou le nombre d'espaces intermédiaires dans la ligne de vue. Nous pouvons imaginer dans ce cas que la relation de visibilité n'est pas limitée à des situations où l'espace ciblé est complètement visible ou qu'il n'est pas du tout visible. Ici encore, il est possible de nuancer cette relation par la gradation de transparence ainsi que les vues partielles.

5.7 Conclusion du chapitre

L'objectif de ce travail n'était pas de reconstituer le processus de conception de la villa Savoye, ni d'expliquer les concepts de Le Corbusier. Nous avons voulu voir tout simplement l'influence possible des concepts sur la forme et sur l'organisation spatiale. Le projet a servi de prétexte pour élaborer une description d'un système ou un environnement de conception dans lequel nous avons voulu reconnaître les composantes qui pourront servir de base à notre approche informatique.

Même si cette description est faite par rapport à la configuration spatiale, nous considérons qu'il sera possible d'élargir la description pour inclure des définitions relatives à la forme, à la lumière

et à la pénombre, à la matérialité, etc., au fur et à mesure qu'elles deviennent nécessaires dans l'élaboration du projet architectural.

La prochaine étape de notre travail est l'élaboration de la description d'une approche informatique pour générer des diagrammes à partir de la description de l'environnement ci-dessus. Nous considérons maintenant la stratégie et l'organisation de cette approche.

6 CONSTITUTION DE L'OUTIL INFORMATIQUE BASÉE SUR L'ÉTUDE DE CAS

L'étude de cas nous a permis d'identifier les composantes du système de conception architecturale. Cette étude a servi également à illustrer les événements, conditions et contraintes qui opèrent dans la transformation du projet architectural lors du processus de conception. Nous voulons maintenant déterminer comment décrire ces opérateurs dans un environnement informatique.

Pour ce faire, nous rappelons les aspects du projet visés par la méthode analytique, les caractéristiques des représentations traditionnelles de la conception architecturale que nous voulons retrouver dans notre approche informatique, et la méthodologie de la modélisation informatique retenue suite à notre survol des outils de conception assistée par ordinateurs.

Ayant établi cette base nous considérons l'élément clé de notre stratégie, le diagramme. Nous le considérons par rapport à son contenu et par rapport à sa structure. Nous passons en revue des outils informatiques qui proposent le diagramme comme leur objectif principal. Ceci nous amène à considérer l'environnement informatique dans lequel notre approche sera élaborée. Nous terminons le chapitre en présentant l'organisation de l'approche.

6.1 Les caractéristiques recherchées dans l'approche informatique.

Nous avons défini un processus de conception systémique, c'est-à-dire un processus dont l'ensemble des composantes, unités, conditions et contraintes sont en interaction. Alors une modification locale dans ce système peut affecter l'ensemble. À la base de ce processus systémique nous avons identifié trois opérations: l'idéation ou la création d'une image mentale, l'intention et la perception.

À travers les trois aspects de la représentation, à savoir l'inflexion, le vecteur et le cadre présentés au chapitre 2, nous avons associé à ces trois opérations les composantes du système: unité, transformation et relation. Nous posons maintenant les caractéristiques recherchées dans l'approche informatique par rapport à ces composantes de base.

6.1.1 Les caractéristiques retenues des outils traditionnels

Aux étapes préliminaires du processus de conception architecturale, le dessin est une notation plutôt fragmentaire ou ouverte qui contribue à sa nature spéculative. Les représentations dans toutes leurs formes jouent un rôle de support à la conception. Le support se fait en permettant au concepteur de manipuler les représentations, d'interpréter les formes dans les représentations, associer des sens particuliers aux traits qui sont établis sur le canevas.

Les caractéristiques des représentations qui permettent le support nécessaire aux étapes embryonnaires du processus sont:

- La possibilité d'associer plusieurs significations aux différentes marques qui constituent les représentations.
- La possibilité qu'une marque ou trait n'est pas complètement distincte d'une autre, c'est-à-dire la difficulté de distinguer une marque d'une autre.
- La possibilité que les marques ainsi que les symboles peuvent se combiner de multiples façons

Par rapport à la représentation du système de conception, l'outil doit permettre une interaction dynamique. Cela veut dire que les représentations qui sont produites par l'outil doivent réagir instantanément aux changements dans l'espace de conception. Les représentations sont alors étroitement liées à la structure sous-jacente de cette espace.

6.1.2 Aspects du projet architectural retenus des méthodologies analytiques

Nous avons vu que l'analyse est essentielle au processus de conception architecturale. Elle vise trois niveaux ou catégories dans le système de conception. Elle considère l'unité quant à l'introduction de connaissance dans le système, les relations quant à la ligne directrice du processus et la transformation quant à l'évaluation de l'ensemble de la conception en développement.

De notre revue des méthodologies analytiques nous avons retenu les concepts suivants comme la visée de notre analyse: (1) les forces, (2) l'axe comme instrument ou symbole, et (3) la typologie

topologique des espaces et sa relation avec la fonction générique. Nous avons procédé à notre étude de cas en considérant ces trois aspects particuliers. Nous avons établi que la promenade architecturale, telle qu'elle est développée par Le Corbusier dans sa série des villas parisiennes, se manifeste grâce à la configuration des espaces et des activités des villas. Cette configuration est développée par rapport à l'orientation du soleil et de la vue sur le site ainsi que la séquence d'arrivée, accueil, et espaces de séjour, c'est-à-dire la transition de l'espace public à l'espace privé établi par l'architecte.

Par rapport à notre base de connaissance architecturale l'outil ou approche informatique doit pouvoir supporter l'analyse aux trois niveaux énoncés. L'outil informatique doit être en mesure de permettre une définition des unités qui inclue leurs états (formels ou fonctionnels) génériques, leurs relations et les règles qui s'appliquent à leur comportement dans le système.

6.1.3 Les caractéristiques retenues des outils en CAO

Notre étude des outils en CAO nous a amené à considérer non seulement les techniques de l'approche informatique mais aussi les rôles complémentaires du concepteur humain et de l'outil informatique. Nous voulons répondre au besoin de consigner et de gérer les relations qui sont établies entre différents aspects du système au cours du processus de conception architecturale.

Si nous considérons les opérations à la base du processus de conception (idéation, intention et perception) l'outil doit être capable de remplir ces trois tâches distinctes mais interliées. Le rassemblement d'outils spécialisés nous semble plus approprié qu'un outil générique.

Dans notre cas, les composantes de l'ensemble sont inconnues ou variables. À l'étape préliminaire du processus, nous considérons surtout les liens à établir entre concepts ou zones abstraites. Le développement de la conception se fait par la définition et la précision des composantes et les relations qui sont établies entre ces composantes. La représentation des connaissances devra se faire par une modélisation descendante («*top-down*»).

Les caractéristiques pour l'approche informatique que nous proposons sont fondées sur une approche descendante, dont l'élaboration des composantes se fait par une modélisation générative

qui comprend des algorithmes ou fonctions quasi génétiques. L'approche doit permettre d'établir des définitions génériques, permettant l'intégration de connaissances abstraites et ambiguës, de composantes du système qui peuvent être modifiées par l'interaction avec l'ensemble du système et les interactions locales.

6.2 La stratégie pour la constitution de l'approche informatique - le diagramme

Nous avons vu dans notre revue du processus de conception architecturale (Chapitre 2) et l'étude des méthodes d'analyse du projet architectural (Chapitre 3) que le diagramme joue un rôle essentiel dans la conception et en particulier dans l'analyse de la conception.

Nous considérons que le diagramme est un outil actif en ce qu'il offre un espace dans lequel le concepteur peut raisonner sur sa conception et comprendre l'impact de certains choix et les transformations résultantes. Le diagramme, donc, ne doit pas être considéré comme une représentation statique et fermée. Par sa nature même, il invite au questionnement, à la compréhension et à la manipulation. Il cherche activement une réponse cognitive de la part du concepteur.

Le diagramme permet de visualiser les impacts spatiaux des conditions existants, des contraintes physiques, conceptuelles, visuelles, etc., qui sont énoncées dans le problème de conception. Le diagramme permet également de tester la cohérence et la séquence d'un premier scénario de solution pour le projet architectural en élaboration. C'est alors à partir du diagramme, de son rôle dans le processus de conception et de ses caractéristiques universelles que nous élaborons notre outil informatique.

6.2.1 Le diagramme

Quelles sont les caractéristiques du diagramme qui permettent la participation active dans le processus cognitif du concepteur? Les diagrammes présentent des idées précises, abstraites, mais qui ne sont pas obligées d'être complètes. Il est possible de repérer des marques ou des traits et de leur associer une signification. Souvent, il n'y a qu'une signification par trait par représentation, ce qui permet la compréhension de l'ensemble exprimé par le diagramme.

Porter (1997) utilise le terme diagramme dans un sens très large - les différents types de diagrammes peuvent référer à l'ensemble des croquis, esquisses et dessins non techniques qui sont utilisés pour communiquer les intentions liées au projet. Nous constatons cependant qu'il existe des caractéristiques qui sont propres aux diagrammes. D'abord, le diagramme ne cherche pas à reproduire une réalité mais plutôt à expliquer comment il est ou comment il pourrait être de point de vue fonctionnel.

Le diagramme est un mode d'expression qui est utilisé pour raisonner - regarder, comprendre, évaluer et, ce faisant, nous amène à poser des questions, à déterminer la validité de nos décisions et de nos observations. Dans ce sens, le croquis se rapproche du diagramme dans son utilisation. Dans l'esquisse, par contre, la perception joue un rôle plus important que l'appréhension ou la compréhension. Contrairement à l'esquisse qui est plutôt l'exploration et l'expression des idées libres, le diagramme comporte une structure et un système de symboles pour expliciter cette structure.

6.2.2 La structure du diagramme

La structure simple du diagramme est un moyen d'expression appropriée pour appuyer les processus cognitifs relatifs à la conception. Le diagramme comporte un système de communication graphique qui permet d'explicitier et de raisonner sur les concepts abstraits (Laseau 1989). En général, les lignes sont utilisées comme frontières et comme connecteurs. En tant que frontières elles constituent les vertex des polygones fermés qui souvent indiquent un espace, une fonction ou une activité particulière. Les lignes peuvent aussi diviser le diagramme en sous-sections pour catégoriser les unités déjà établies. En tant que connecteurs, les lignes indiquent la présence ou l'absence, et, selon le type de trait, l'importance relative des relations entre unités. En changeant les lignes en flèches, en changeant leur forme de droite en courbe ou ondulée, la ligne peut également communiquer mouvement, flux, direction ou force. Les significations particulières des symboles constituants peuvent être définies clairement.

De plus, même si les styles de dessiner varient selon chaque concepteur, plusieurs études (Do 1995, Gross 1996, Laseau 1989) constatent qu'il existe un ensemble de symboles qui ré-apparaissent de façon régulière dans les diagrammes. On retrouve presque toujours des polygones

fermés (cercles, carrés), des lignes et des flèches. De plus, même s'il n'y a pas de signification précise, il est possible de limiter le nombre de significations possibles pour chaque élément, symbole dans le diagramme ce qui permet de le comprendre sans l'intermédiaire d'une explication de son auteur.

6.3 La recherche dans le domaine connexe à notre proposition

Dans notre revue de la recherche connexe à notre sujet nous avons trouvé plusieurs approches qui visent la conception schématique et la duplication du diagramme dans l'environnement informatique. Certaines de ces approches (Gross 1996, Do 1995) reposent sur la reconnaissance des traits et symboles par une base de données qui permet d'associer aux formes des solutions antérieures à des problèmes architecturaux spécifiques. Ces approches appuient surtout la structure et l'organisation de cette base de données et l'association des significations comme stratégie pour faciliter la navigation dans un espace de solutions potentielles. L'outil devient donc un moteur ou une interface que le concepteur va utiliser pour trouver une solution définie préalablement dans la base de données. Chaque solution contient la description de ses conditions, de ses unités composantes et de leurs relations. Le diagramme dans ce cas est statique, l'interaction est limitée à la possibilité de l'associer à une solution déjà existante.

Un autre outil qui s'approche de ce que nous cherchons à définir dans un outil destiné à la manipulation des concepts préliminaires est «*CDT - Computer Diagramming Tool*» (Dave 1995) qui propose un ensemble de composants graphiques qui peuvent être combinés et auxquels il est possible d'attribuer des significations limitées. L'utilisateur doit définir ses unités ainsi que les règles de composition. La manipulation des objets du système, par contre, est plus restrictive. Nous avons vu également un outil qui se fonde sur le *Pattern Language* de C. Alexander⁵ pour supporter le processus de conception schématique (Galle 1994). Dans ce cas, les patterns d'Alexander sont utilisés pour représenter la connaissance architecturale. Cet outil va offrir une utilisation générative dans la proposition de solutions tout en laissant le contrôle à l'utilisateur.

⁵A *Pattern Language* (Alexander, 1977) présente une théorie de conception architecturale qui décrit les idées de conception et d'expérience architecturale en termes de configurations physiques ou «patterns». Chaque pattern exprime un principe général de conception qui peut être utilisé dans différents contextes. Ces principes sont largement indépendants mais sont présentés selon leur niveau d'application (ville, bâtiment ou pièce, par exemple) avec indication des patterns qui sont apparentés.

6.4 Environnement informatique choisi pour l'expérimentation

Notre expérimentation consiste à développer des fonctions sur lesquelles fonder l'élaboration de notre description informatique. Pour ce faire, nous considérons trois environnements informatiques possibles: (1) un système fermé où les fonctions sont prédéterminées; (2) un système ouvert; et (3) un système semi-ouvert qui comprend des fonctions génériques prédéterminées avec un langage de programmation qui permet de créer des fonctions spécifiques.

Les connaissances à représenter dans le système sont sous différentes formes et doivent être décrites de façon à permettre sa modification à tout moment durant le processus. Un langage de programmation doit être disponible dans l'environnement informatique qui nous permet de définir nos propres composantes, les relations de base et les règles qui sont à la base des conditions et des contraintes. Un langage de programmation fonctionnel sera en mesure d'établir des définitions génériques des composantes du système et les façons dont les définitions sont détaillées dans un processus de conception dynamique.

Un logiciel fermé impose des limites quant à la définition des composantes par rapport aux possibilités qui sont prévues dans sa structuration. Dans cet environnement il sera possible de présenter un modèle de l'approche informatique proposée, de simuler le fonctionnement du diagramme dynamique. Cependant, il sera difficile de considérer les questions relatives à l'organisation de l'approche du diagramme dynamique et de vérifier la cohérence de l'organisation.

Un environnement informatique ouvert, c'est-à-dire offrant un langage de programmation, permet la définition de la structure du système proposé ainsi que toutes les composantes nécessaires à un diagramme dynamique. Dans ce cas, le fonctionnement de l'approche peut être simulé, sinon mis en oeuvre. Cependant, pour vérifier les résultats de l'expérimentation, nous aurons également à développer toutes les fonctions concernant l'interface graphique et l'interaction concepteur-outil informatique. Ceci risque de nous éloigner des objectifs de notre recherche.

Nous considérons alors que l'environnement semi-ouvert avec langage de programmation est le support le plus approprié à notre expérimentation. Il nous permettra de nous concentrer sur l'organisation et la cohérence de l'approche informatique tout en nous permettant de définir nos

propres composantes ou de s'approprier des primitives et fonctions déjà définies dans l'environnement. De plus l'environnement semi-ouvert comprend un module d'interface qui nous permettra d'expérimenter la façon dont le concepteur pourra interagir avec le diagramme dynamique.

Nous utiliseront AutoCAD 2000® avec son environnement de programmation Visual Lisp pour notre expérimentation. Ce logiciel nous offre un environnement graphique qui est essentiel pour la manipulation de notre langage spatial et graphique ainsi que la possibilité de doter nos symboles d'une certaine intelligence pour propager les effets des conditions et contraintes sur différents aspects du projet architectural représenté grâce au langage de programmation.

6.5 La stratégie et l'organisation de l'outil informatique proposé

Reconnaissant que, d'une part, le concepteur humain est capable de lier des concepts disparates, de naviguer à travers des oppositions et des contradictions, et d'autre part, l'ordinateur peut stocker des données et calculer les interactions, nous proposons une approche informatique qui prend avantage des forces de l'utilisateur et de la machine.

Le processus de conception architecturale repéré dans l'étude de cas met en valeur entre les aspects du projet architectural que nous considérons des forces, c'est-à-dire les orientations, les séquences d'activités et la relation entre les zones des espaces de service et les espaces de séjour, et la configuration spatiale résultante. Nous proposons d'élaborer notre approche informatique à partir de ce scénario, développant un modèle du processus de conception architecturale présenté.

6.5.1 Objectif et stratégie de solution

Pour voir les conséquences d'une action, les effets de cette action doivent se propager sur toutes les parties du projet architectural en élaboration. Nous voulons automatiser cette propagation et utiliser l'outil informatique pour calculer les résultats. Pour ce faire, les composantes des diagrammes doivent être reliées, ce qui implique qu'ils ont une description informatique. Nous choisissons de relier les composantes en identifiant les unités, leurs propriétés, les relations possibles et celles qui sont défendues ainsi que les autres composants ou facteurs qui peuvent influencer les

caractéristiques des unités et l'établissement des liens entre les unités et les relations avec le contexte. Notre stratégie doit donc permettre de créer des unités qui peuvent porter des propriétés dans leur définition, les identifier de façon unique pour permettre de retrouver une unité particulière dans plusieurs sous-ensembles qui sont représentés par des diagrammes et de contrôler la façon dont les modifications vont affecter les différentes unités. Les relations seront définies à partir des positions relatives des symboles représentant les unités dans les sous-ensembles ainsi que l'état des relations faisant partie des descriptions des unités individuelles.

6.5.2 Les composantes structurantes de l'approche informatique

Nous avons établi notre environnement de conception comme étant constitué d'une triade de composantes à savoir les unités, les règles de transformation et les relations. Nous avons défini ces termes par rapport à la configuration spatiale dans l'étude de cas de la villa Savoye, mais nous considérons qu'il est possible d'élargir cette description selon le besoin du processus de conception. L'organisation de notre outil commence alors par la définition des composantes clés du système:

- **Diagramme** est un ensemble de symboles qui présente au moins une relation
- **Symbole** est un ensemble de traits (lignes, courbes, polygones) qui constitue la représentation graphique d'une unité.
- **Lieu** est l'unité de base de notre système. Les unités, relations et transformations ont été pensées par rapport à la configuration spatiale. Pour ouvrir l'outil à un plus grand nombre de concepteurs et de tâches, nous généralisons la notion d'unité spatiale comme lieu. Lieu n'a aucune obligation de dimension, d'orientation ou de forme mais cherche à exprimer une distinction dans un espace ou temps autrement homogène ou amorphe. Lieu est utilisé dans un sens large et peut correspondre à une activité, espace physique, fonction, fonction conceptuelle tel rassemblement, filtrage, la cible d'une force ou action, etc. La précision de lieu est laissée au concepteur. Par contre, les lieux sont dotés de propriétés; des classes de lieu sont alors établies pour identifier les propriétés qui doivent être incluses dans leur définition.

- **Force** (Baker 1996) indique une pesanteur, une intensité ou énergie émanant d'une source. Celle-ci va exercer une influence sur ses alentours, dépendant de sa puissance, de son usage ou des moyens de faire sentir sa présence dans une situation. Nous considérons le mouvement, la vue, l'ensoleillement, les conditions sur le site, les contraintes, etc. comme des forces. Les forces peuvent également être des intentions explicites du concepteur ou des objectifs de conception, ainsi que des forces contextuelles, culturelles, climatiques, topographiques ou autres qui se manifestent dans le système. La réalisation des actions ou des séquences d'action pour répondre aux intentions et objectifs résultent en une transformation, modification des unités et relations, ainsi que des forces existantes du système. Ces actions seront le fondement des fonctions ou **opérateurs de transformation** de l'outil.
- **Relation** réfère à la façon dont l'unité est considérée par rapport à une autre unité ou à son contexte. Nous envisageons des relations hiérarchiques, d'adjacence, de perméabilité et de visibilité, de séquences, etc. Les relations seront représentées par la position des symboles dans un diagramme, il sera alors nécessaire d'identifier des positions relatives pour pouvoir définir des relations. Il est nécessaire de souligner que l'absence d'un lien est aussi important que la présence d'un lien pour permettre la définition des liens entre concepts, paramètres, contraintes ainsi qu'entre les lieux.

Le diagramme permet au concepteur de visualiser les effets des contraintes, des conditions ou autres forces sur la totalité du complexe et ceci en termes d'organisation spatiale ou autre filtre déterminé par le concepteur. Peu importe la situation, il est important de distinguer entre une forme architecturale proposée (qui n'est pas l'objectif) et l'organisation et la structuration d'un espace pour répondre à certaines intentions.

Le diagramme est constitué d'un système de symboles (langage) structuré dont les symboles sont reconnus. En amont de ces symboles communs de base chaque concepteur établit des symboles qui sont propres à sa réflexion. Pour servir de support à la conception, l'outil doit se conformer le plus possible au style de travail du concepteur. L'organisation de l'outil rend compte des unités et des relations génériques qui pourront être précisées par chaque utilisateur.

6.5.3 Organisation de l'approche informatique proposée

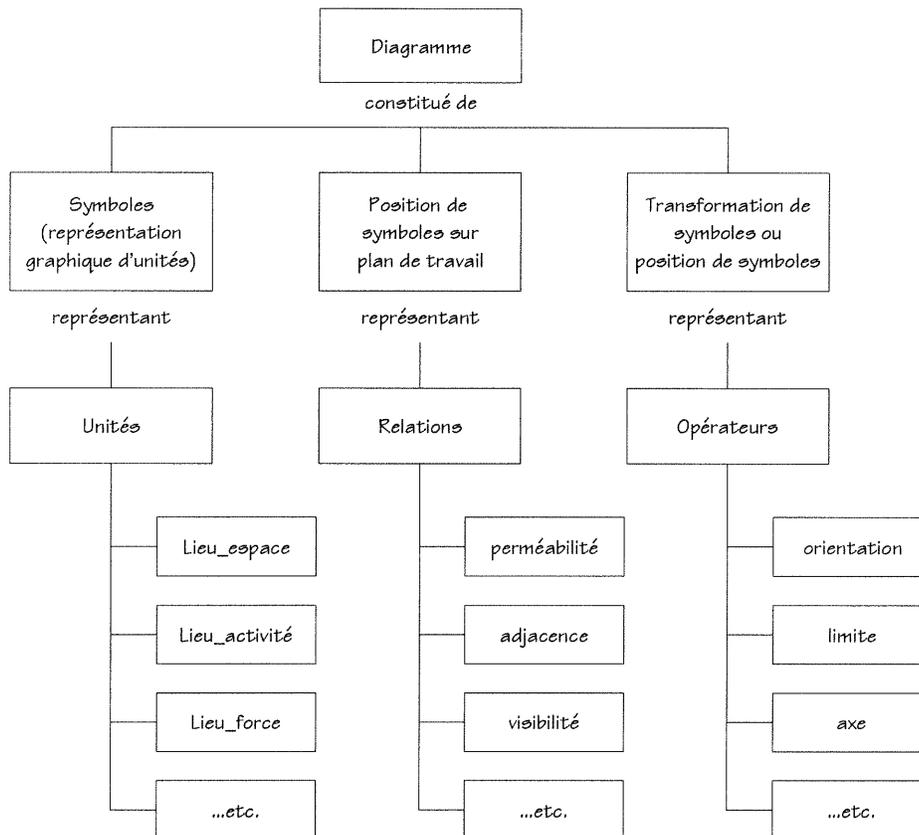


Figure 16. Organisation de l'approche informatique.

Un diagramme sera créé à partir des unités et relations. Les unités seront choisies parmi les types de lieux définis dans le système et précisés quant à leur nom, à leur paramètres et à leur position dans le plan de travail. Leurs relations permises seront également identifiées. La définition d'une unité contient toutes ses relations possibles, au départ celles-ci sont dans un état potentiel.

Lorsqu'une deuxième unité est posée sur le plan de travail pour constituer le diagramme dans la définition de chaque unité, les relations correspondantes peuvent être activées.

Le concepteur pourra choisir le moment pour faire le «calcul» des relations et la visualisation du diagramme cumulatif. Il serait également possible de choisir les unités qui seront visibles, celles qui sont verrouillées et donc non-affectées par les modifications dans le complexe pour permettre une plus grande flexibilité dans la manipulation de l'outil.

6.6 Conclusion du chapitre

Nous avons élaboré une organisation générale de notre approche informatique fondée sur les caractéristiques retenues par rapport à la recherche sur le processus de conception, la méthodologie analytique du projet architectural, ainsi que la revue des outils de conception assistée par ordinateur. La stratégie du développement de l'approche est fondée sur le diagramme qui nous a permis de considérer la structure et les composantes éventuelles de notre approche. En vertu du système constitué lors de notre étude de cas, nous avons identifié les composantes clés dans l'organisation de l'approche. Nous passons maintenant à la description informatique de l'approche que nous proposons comme support à la conception architecturale.

7 PRÉSENTATION DE L'APPROCHE INFORMATIQUE DÉVELOPPÉE

Dans le chapitre précédent nous avons élaboré notre stratégie quant à l'approche du diagramme dynamique. Nous passons maintenant au développement d'une structure qui permettra de mettre au point un devis pour cette approche au support informatique de la conception architecturale. Cette structure nous permettra ensuite d'élaborer des fonctions AutoLisp⁶ avec lesquels nous pouvons vérifier la cohérence de l'approche ainsi que la façon dont les données qui représentent les connaissances de la conception sont propagées dans le système. Les fonctions Autolisp proposent une mise en opération possible du devis de notre approche informatique. Pour illustrer la démarche, nous fondons notre travail sur le scénario du processus fourni par l'étude de cas de la villa Savoye. Ensuite nous considérons la validité de notre hypothèse de travail face aux résultats de l'étude de cas et l'expérimentation des fonctions.

7.1 La structure de l'approche de diagramme dynamique

L'objectif de l'outil est de permettre au concepteur de voir les effets et les conséquences de modifications à différents niveaux sur l'ensemble du projet de conception en élaboration. Pour ce faire, l'outil doit être capable de distinguer entre différents types de composantes du système, d'enregistrer les définitions des composantes individuelles ainsi que la description de l'espace de conception, et d'utiliser ces informations pour propager les conséquences des modifications à travers l'ensemble du système. Plus précisément l'outil doit être capable de «calculer» les diagrammes qui représentent l'état du système à un temps (T).

Nous considérons qu'il y a deux parties importantes dans l'approche que nous proposons. Nous avons vu que le diagramme agit en tant que représentation, en tant qu'outil actif de raisonnement. Pour capter ce rôle double dans notre approche, nous envisageons une partie qui traite du contenu du système, c'est-à-dire les unités, les relations et les transformations et une autre partie qui considère l'interface concepteur-outil informatique. Nous référons à ces deux parties comme le modèle et l'interface (**Figure 17**).

⁶ Langage de programmation du logiciel AutoCAD dérivé du LISP.

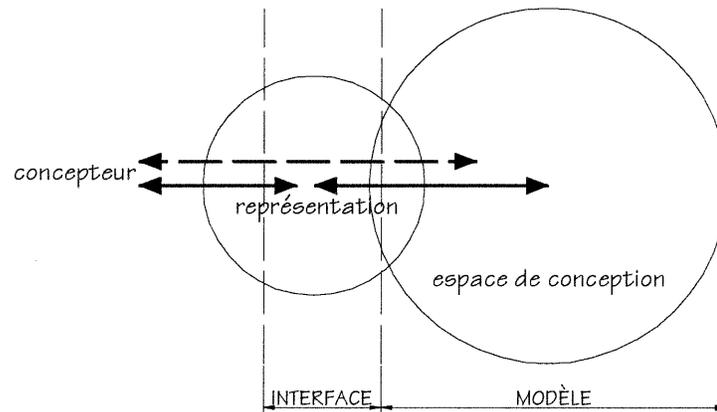


Figure 17. La structure de l'approche informatique proposée.

Le concepteur intervient sur l'espace de conception à travers la représentation de cet espace. Dans la structure que nous proposons l'interface fournit les systèmes de symboles physiques qui permettent au concepteur de constituer son modèle. Nous constatons de l'importance de rendre l'interface le plus «intuitif» possible de sorte que la représentation devienne une extension directe de l'espace de conception.

7.2 Le modèle dans l'approche du diagramme dynamique

Le modèle de l'approche proposée est un modèle de l'espace de conception. À l'intérieur de cet espace nous retrouvons les conditions du départ et les contraintes sur l'ensemble du projet architectural et le système qui est la conception à savoir l'idée embryonnaire qui va se développer en projet architectural. Le système comprend un ensemble de composantes qui vont constituer l'éventuel projet (**Figure 18**). Nous repérons trois catégories génériques de composantes:

- Lieux
- Opérateurs de transformation
- Relations

Ces composantes de base sont utilisées également pour définir les conditions et contraintes dans l'espace de conception. Elles se distinguent par leur application globale sur le système.

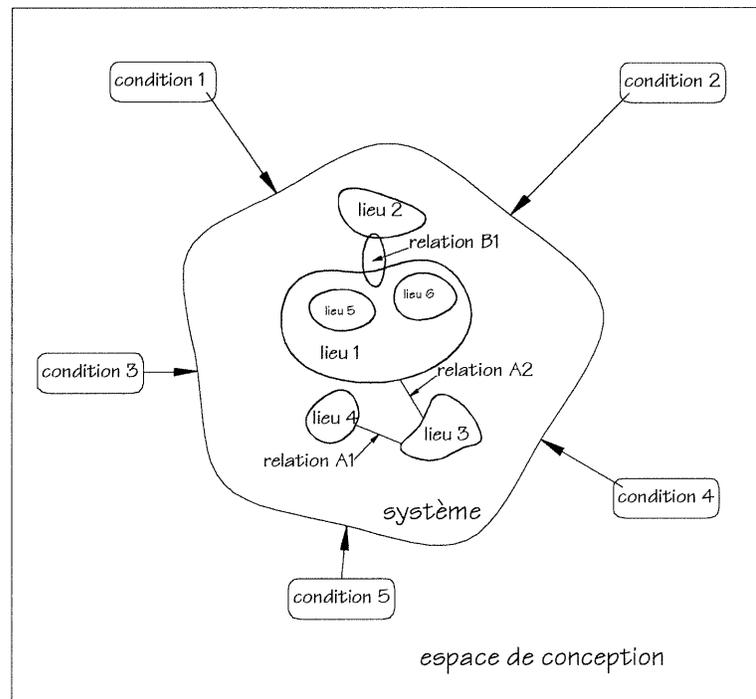


Figure 18. Schéma du modèle du système.

Nous constatons que le modèle dans notre approche est une description d'actions. Une action est un événement qui implique une composante, par exemple la création, l'insertion, le déplacement, la modification, et l'élimination d'une composante. Ces actions sont regroupées selon leur impact global ou local sur le système. La nature globale d'une action est considérée en relation avec le niveau de détail de la composante sur laquelle l'action est produite. Une action qui a un impact global sur le système est une action qui gère les interactions lors du calcul du diagramme, établit les limites, conditions et contraintes sur l'espace de conception, c'est-à-dire les bornes du système. Lorsque l'action considère des composantes du système plus détaillées, l'action a un impact local. Dans ce cas, l'action établit les relations entre composantes et apporte les modifications nécessaires

aux composantes. La formulation structurée des actions pour réaliser les intentions du concepteur sont en fait des opérateurs de transformation.

Le modèle pour une conception particulière peut se constituer à partir du niveau de définition de l'espace de conception. Cette façon de procéder correspond à un modèle d'une conception qui est créée à l'intersection des contraintes et des conditions du projet (Cache 1995). Le développement du modèle, c'est-à-dire l'évolution du système de conception, se fait par une série d'interventions dans le système effectuée par le concepteur. Ces interventions sont faites au niveau du système par les opérateurs de transformation. De plus, étant donné qu'il s'agit d'un système, un certain nombre d'actions implicites se produiront à cause des relations établies entre composantes. De cette façon les effets des interventions seront propagés sur l'ensemble du système. Cette façon de décrire les composantes à la base du système de la conception permet la définition des concepts architecturaux qu'ils soient de nature spatiale, temporelle ou expérientielle, etc.

7.2.1 Les composantes du modèle du système

Le modèle est constitué par une approche descendante. Cela signifie que la démarche va débiter avec une entité qui, par interventions successives, va être redéfinie, détaillée, subdivisée, etc. Pour permettre une telle démarche il est nécessaire d'établir des composantes génériques qui deviendront spécifiques dans le contexte du processus. Nous avons identifié ces composantes comme lieu, relation et opérateur de transformation.

Lieu réfère à toute composante qui occupe un espace ou un temps dans le système, c'est-à-dire une composante qui peut être localisée dans le système. Les opérateurs de transformation sont les mécanismes qui agissent sur d'autres composantes pour réaliser des actions dans le système. Ces opérateurs sont équivalents aux forces décrites dans l'organisation de l'approche au chapitre 6 et correspondent à la manifestation des intentions du concepteur. Par exemple, l'établissement d'un axe va aligner les lieux, la création d'un rythme va introduire des intervalles réguliers dans la dimension spatiale ou temporelle selon le type de lieu en question. Les relations sont les règles qui gèrent le comportement des composantes lors d'une action. Ces règles vont identifier les lieux qui sont ciblés lors de l'application d'un opérateur de transformation et maintenir l'organisation sous-jacente des lieux.

7.2.2 L'unité de base - le lieu

Un lieu peut correspondre à un espace, une activité, une fonction ou une expérience. Notre choix du terme lieu est important. Nous avons voulu attribuer une interprétation particulière à l'unité de base de notre système. Le terme veut correspondre à la première distinction qui est marquée dans l'espace de conception. Cette distinction peut se manifester par un mur, une ouverture, un point focal, un objet, un événement, par l'effet du soleil, etc. Cette liste de possibilités veut illustrer la variété des concepts qui peuvent être représentés par le lieu. Dans l'organigramme au chapitre 6, nous avons indiqué quelques types de lieux possibles. Chaque type aura ses propres propriétés. Les propriétés qui sont communes à tous les lieux sont le centre qui permet de situer le lieu dans l'espace de conception, et une orientation qui deviendra importante dans l'établissement des relations et séquences.

(lieu (nom type centre orientation niveau hiérarchique (sous-composantes)))

Table II. Description générique de lieu.

Dans la description informatique d'un lieu (**Table II**), nous retrouvons les caractéristiques communs à tout lieu ainsi que les caractéristiques qui dépendent du type de lieu. De plus il y a indication du niveau hiérarchique qui permet d'établir l'ordre d'importance d'un lieu lors de l'interaction avec d'autres composantes du système et dans l'établissement des relations.

7.2.3 Les opérateurs de transformation dans le modèle

D'après notre étude de cas, nous pouvons identifier un groupe d'opérations de transformation à prendre en considération pour notre modèle. Nous avons d'abord les actions qui permettent d'établir l'espace de conception. Dans le cas de la villa Savoye celles-ci incluent entre autres les forces d'orientation de soleil et la vue du site, les limites de la propriété et la localisation de la route. Ces premières composantes sont les données fixes du contexte, donc des actions qui vont

affecter l'ensemble du système mais qui ne seront pas affectées par d'autres interventions dans le système (inflexion).

Associée à ces premières composantes, nous avons repéré des opérations de transformation qui établissent un cadre conceptuel ou une ligne directrice quant au processus de conception, les concepts de la relation de la circulation véhiculaire avec la maison et la promenade architecturale, et les cinq principes d'architecture de Le Corbusier (Chapitre 5) (vecteur).

Finalement, nous avons les opérations de transformation qui vont répondre aux exigences et désirs établis par les premières transformations de l'espace de conception. Ces transformations incluent la création des zones (rassemblement générique d'actions, espaces), des séquences d'activités ou des fonctions, etc. Il s'agit des moyens pour remplir les volontés, orientations du système (surélever l'étage principal pour atteindre la vue) (cadre).

Alors si nous reprenons notre description d'une transformation (**Table III**) nous avons:

(transformation (composante à traiter action envisagée vérification - est-ce légal? si oui - procéder si non - avertir & terminer))

Table III. Description générique d'une transformation.

L'étendue des conséquences des actions varie selon qu'il s'agit d'une action globale ou d'une action locale. Les actions globales vont prendre le dessus sur les actions locales, et en fait définir celles-ci. Une question importante à considérer sera l'ordre hiérarchique des actions. Les catégories d'actions dans le modèle sont:

- Les actions reliées à l'identification de la situation de départ dans un espace de conception
 - Actions pour décrire le contexte du projet architectural
- Actions reliées à l'identification des contraintes ou conditions flexibles, décrire le cadre conceptuel ou ligne directrice du processus de conception.

- Actions pour déterminer la hiérarchie et l'importance relative des idées conceptuelles
- Actions pour tenir compte des facteurs non-géométriques tel que le passage du temps
- Actions reliées à la création, à l'identification et à la modification des lieux
- Des actions reliées à la création et à la modification des relations
- Des actions reliées à la création, à l'identification et à la modification des autres types de composantes du système.

7.2.4 Les relations dans le modèle

L'approche informatique que nous proposons vise à ce que la propagation des conséquences des intentions ou des gestes posés soit automatique, et effectuée d'une manière intelligente. Par intelligent nous voulons dire que le système doit être en mesure de reconnaître l'action posée, les composantes qui sont affectées par cette action, et la façon dont elles sont affectées. De plus, le système doit reconnaître les états de conflits ou de violation des conditions pour déterminer si une action est possible et/ou permise. Pour ce faire, il est nécessaire que les composantes du système soient mises en relation.

Les relations sont les composantes qui permettent d'organiser les composantes pour établir des concepts. Les relations sont à la base:

- des organisations spatiales,
- des séquences des espaces ou des activités,
- des expériences qui dépendent du mouvement des personnes ou de lumière ou du son à travers les espaces,
- du fonctionnement actuel ou symbolique,
- de la manifestation d'une structure constituée à partir d'une métaphore,
- ou de toute autre idée conceptuelle.

La description informatique de relation (**Table IV**) doit inclure le type de relation qui s'impose qui va déterminer le type et le nombre de composantes qui peuvent être impliqués, et les composantes particulières entre lesquelles la relation est établie.

<pre>(relation (identification type composante_1 composante_2))</pre>
--

Table IV. Description générique d'une relation.

Les règles sont décrites comme des règles de comportement dans le système. Elles peuvent s'appliquer sur l'ensemble du système (règles globales) ou pour des composantes particulières (règles locales). Elles agissent en concert avec les opérateurs de transformation pour manifester les intentions du concepteur. Mieux encore, elles assurent la cohérence de la conception en permettant d'imbriquer la ligne directrice du processus de conception architecturale dans le modèle.

L'importance des relations est dans la propagation des effets des interventions dans le système. La communication des changements se fait d'une composante à une autre à travers la relation qui existe entre les deux. Par exemple, si un lieu doit être à côté d'un autre nous pouvons dire que ces deux lieux sont dans une relation d'adjacence. Dans la création d'un rythme, il n'y aura pas d'intervalle introduit entre ces deux lieux, sauf s'il y a une indication explicite d'ignorer la relation. Ces deux lieux vont se comporter comme un seul.

7.3 L'interface - l'interaction concepteur-outil informatique

L'interface doit permettre une interaction plus ou moins dynamique. Cela veut dire que les interventions dans le système du projet architectural doivent être visibles dans un délai qui permet au concepteur de repérer les conséquences d'une action particulière. Par contre, comme nous l'avons constaté au départ de notre recherche, le concepteur va souvent traiter un nombre restreint d'aspects à la fois. Ceci veut dire que l'interface doit lui permettre de filtrer certaines parties du système. Alors nous cherchons à avoir un affichage d'état de système contrôlé, c'est-à-dire que le concepteur pourra déterminer à quel moment lancer le traitement du système et décider les composantes du système qui seront affichées.

En regardant le diagramme, nous constatons que c'est une représentation qui combine les symboles graphiques avec un texte descriptif. L'élément clé est la façon dont le concepteur va interagir avec le système proposé dans notre approche. Nous avons à considérer deux aspects: la création et la manipulation de la représentation et l'interprétation de la représentation.

7.3.1 Les moyens d'interaction possibles

Dans l'environnement informatique, il y a plusieurs possibilités quant à la manipulation du diagramme une fois qu'il est créé (affiché):

- en modifiant directement les symboles sur l'écran ou
- en modifiant les valeurs de différentes propriétés par une boîte dialogue ou interface textuelle.

Nous croyons qu'il est important que ces deux moyens d'intervention soient disponibles.

La modification directe sur l'écran s'applique normalement à des caractéristiques géométriques et dimensionnelles. Cependant, dans notre approche, les symboles qui apparaissent sur l'écran sont des abstractions ou schématisations qui veulent communiquer des concepts architecturaux et non pas représenter une réalité en termes de forme précise et de matérialité. La manipulation dans notre cas est la création, la modification et la suppression des lieux et des relations. Nous envisageons des changements de localisation et de dimension (plus grand, plus petit) qui pourront influencer l'importance relative d'une composante. De plus, la nécessité d'allumer, d'éteindre, de verrouiller et déverrouiller des symboles et donc les composantes sous-jacentes est essentielle quant à l'interprétation de l'état du système et à la clarification de certains aspects du projet lors du calcul du diagramme.

Bien que le langage principal de la conception architectural soit de nature spatiale, les concepts sont souvent exprimés en mots. Une boîte de dialogue, une interface textuelle ainsi qu'un langage de programmation permettent de passer des instructions relatives aux interventions dans le système. C'est ainsi que les composantes sont identifiées avec un nom unique et que des valeurs sont attribuées aux différentes propriétés pour définir les composantes individuelles.

7.3.2 Le système de symboles

Le diagramme se distingue des autres représentations schématiques en ce qu'il est constitué de symboles. Dans son étude, Do (1995) constate que les concepteurs utilisent un ensemble limité de symboles pour représenter des concepts architecturaux, et que ces symboles sont combinés de façon conventionnelle. Les concepteurs ont utilisé des lignes, ovales, rectangles et hachures.

Au départ nous proposons des primitives (2D et 3D) pour représenter les lieux, les relations et toute autre composante ayant une présence plutôt statique (contrairement à un opérateur de transformation qui a une durée spécifique dans le temps). Nous tenons à ce que le concepteur puisse être capable de définir ses propres symboles, élargissant son vocabulaire conceptuel. Également nous considérons la possibilité d'adopter des symboles qui sont repérés dans un processus de reconnaissance de figures.

7.4 Les fonctions à la base de la mise en oeuvre de l'approche

Nous avons élaboré notre approche par diagramme dynamique à partir de notre étude de la villa Savoye. Le processus de conception de la villa identifié dans cette étude a servi comme base pour la structure et le développement des différentes catégories des fonctions qui se retrouvent dans le système que nous proposons.

Dans le chapitre précédent nous avons présenté une organisation de l'approche où le diagramme est un ensemble de lieux, de relations et de forces (opérateurs de transformation). Pour réaliser le modèle de l'approche nous avons structuré le programme de la façon suivante:

- Les fonctions de premier niveau sont destinées au calcul et à l'affichage du diagramme. Nous incluons ici les fonctions qui vont déterminer si un lieu ou une relation est visible, verrouillé, et si ce dernier est considéré dans le calcul du diagramme lancé par le concepteur.
- Les fonctions de deuxième niveau sont destinées à la représentation des forces. Nous précisons que les forces sont les opérateurs qui vont influencer la position, l'orientation et, éventuellement, la forme des lieux. Ces fonctions sont regroupées en deux catégories: 1)

les fonctions qui servent à décrire le contexte sous-jacent et 2) les fonctions qui sont appelées lors de la manipulation des composantes, c'est-à-dire les lieux ou les relations dans l'espace de conception.

- Les fonctions de troisième niveau permettent d'établir des relations entre les différentes composantes du système. Ces fonctions vont définir les relations entre les lieux et, ce faisant, décrivent des concepts architecturaux.
- Les fonctions de quatrième niveau servent à définir les lieux. Entre autres, les fonctions qui gèrent les caractéristiques de chaque composante se retrouvent à ce niveau. Les fonctions vont aussi permettre d'associer aux lieux leurs symboles graphiques.
- Enfin, au cinquième niveau, nous avons les actions utilitaires. Ces actions vont gérer le passage entre le modèle et l'environnement informatique. En particulier, il s'agit de faire correspondre l'espace de conception dans lequel les composantes s'insèrent avec la définition d'espace supportée par l'environnement informatique (souvent un espace cartésien)

7.4.1 Les fonctions pour le calcul et l'affichage de diagramme

L'objectif de l'outil est de permettre la manipulation dynamique du diagramme. Pour établir le devis de notre approche informatique les fonctions sont conçues selon une hiérarchie descendante. Si nous considérons la structure de l'approche illustrée à la **Figure 17**. Les fonctions du premier niveau vont gérer tout ce qui touche l'ensemble du système et tout ce qui est nécessaire pour l'affichage et les modifications qui sont effectuées à l'écran. Ces fonctions constituent l'interface de l'approche informatique. Nous envisageons des fonctions pour la création de diagrammes et la manipulation et calcul de diagrammes. Ce niveau de fonctions traite plutôt de la manipulation du système de symboles, que du contenu du diagramme.

Ces fonctions vont déterminer l'apparence et/ou le comportement des symboles graphiques (**Table V**). Elles permettent de filtrer les résultats du calcul du diagramme en indiquant si une composante est visible, si elle est incluse dans le calcul du diagramme et si elle est verrouillée. Une composante verrouillée ne serait pas affectée par les changements apportés au modèle et ne pourrait pas être modifiée en conséquence.

(symbole
(visible (oui/non))
(calculé (oui/non))
(verrouillé (oui/non))
)

Table V. Description des états des symboles lors du calcul du diagramme.

7.4.2 Les fonctions pour la description des forces

Les forces dans le cas de notre approche informatique permettent de décrire les concepts architecturaux. En tant que base des opérateurs de transformation, les forces jouent un rôle déterminant quant à la localisation et aux caractéristiques des lieux ainsi qu'aux relations qui se forment ou qui sont exclues entre les lieux. Nous avons vu que les diagrammes vont souvent présenter des concepts architecturaux isolés. Ce que nous cherchons à faire dans notre approche informatique est de présenter le diagramme comme résultat de l'interaction entre au moins deux concepts architecturaux.

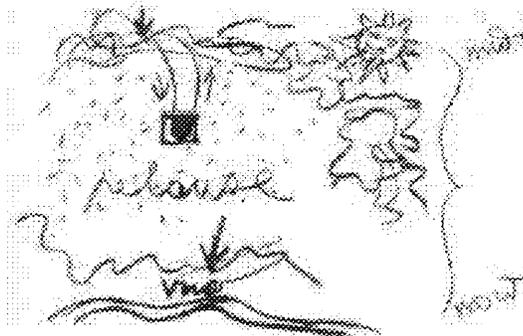


Figure 19. Schéma des conditions du site de la villa Savoye. (Le Corbusier 1960)

Le diagramme de la villa Savoye présenté à la (**Figure 19**) présente les conditions suivantes:

- la position de la villa au centre du site.

- l'orientation et le trajet du soleil
- l'orientation de la vue

Les fonctions de deuxième niveau établissent les conditions de départ du système. Les connaissances qui sont repérées sont des connaissances fixes, non-changeables, qui posent l'ensemble des contraintes sur le projet en développement. Parmi les connaissances à établir à cette étape, il y a les vues recherchées, les routes d'accès, les bâtiments dans le contexte, les axes de l'environnement bâti à respecter, les éléments topographiques, etc.

Nous traitons également à ce niveau les forces qui sont imposées par l'architecte incluant la ligne directrice qui pourrait être établie pour le projet. Le concepteur peut différencier les différents espaces et activités selon des critères telle que l'opposition de public/privé, extérieur/intérieur, serveur/servi, etc. Ce genre de distinction nous amène à établir des sous-ensembles de composante ou des zones, certaines caractéristiques des lieux individuels seront hérités des zones.

Nous reprenons les trois conditions de base de la villa Savoye pour établir les fonctions. D'abord nous avons à placer la villa au centre du site. Un lieu_espace est créé pour le site et pour la villa. Les centres de ces deux lieux sont identifiés et corrélés dans un même endroit (**Figure 20**).

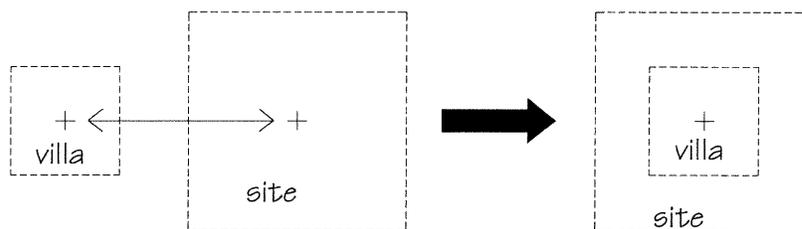


Figure 20. Simulation du diagramme résultant de l'action de positionner la villa au centre du site.

La deuxième condition que nous traitons est l'orientation du soleil sur le site. Dans ce cas le temps est un facteur dans la position du soleil. Nous considérons d'abord un trajet générique du soleil. La fonction doit rendre compte du temps dans le calcul de la position du soleil (**Figure 21**).

Éventuellement cette fonction devra inclure des informations de non seulement l'heure mais aussi la date ainsi que l'endroit géographique.

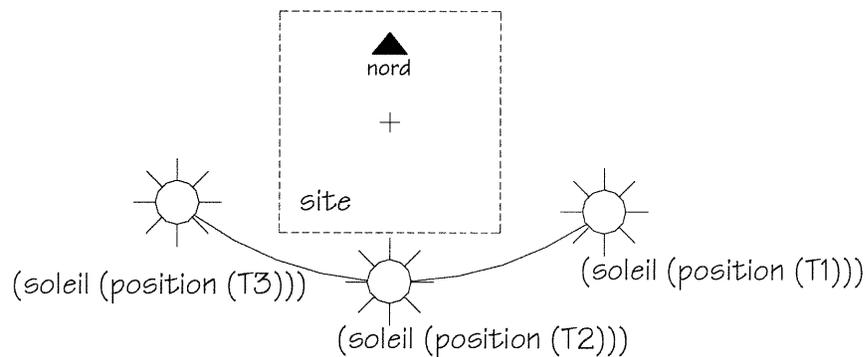


Figure 21. Simulation graphique des résultats du calcul de la position du soleil par rapport au site de la villa Savoye.

Notre troisième exemple est la mise en relation de la vue principale et du site. Ces deux composantes sont décrites en termes de lieux_espace, et leur relation dépende de l'orientation cardinale (**Figure 22**).

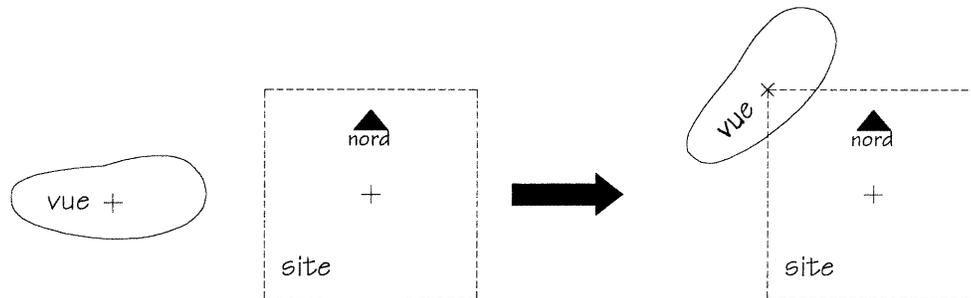


Figure 22. Simulation du diagramme résultant de l'action de situer la vue par rapport au site.

7.4.3 Les fonctions pour la description des relations

Nous constatons que les forces peuvent donner certains types de relations. Les relations d'adjacence, de perméabilité et de visibilité dépendent de la localisation et de la position des lieux en question. La relation peut être établie en la déclarant à l'intérieur d'une définition d'un lieu, comme dans le cas de la position de la villa vis à vis le site (**Figure 20**), ou la relation peut être établie par une fonction qui prend comme argument au moins deux composantes, comme dans l'identification de l'orientation d'une vue importante (**Figure 22**).

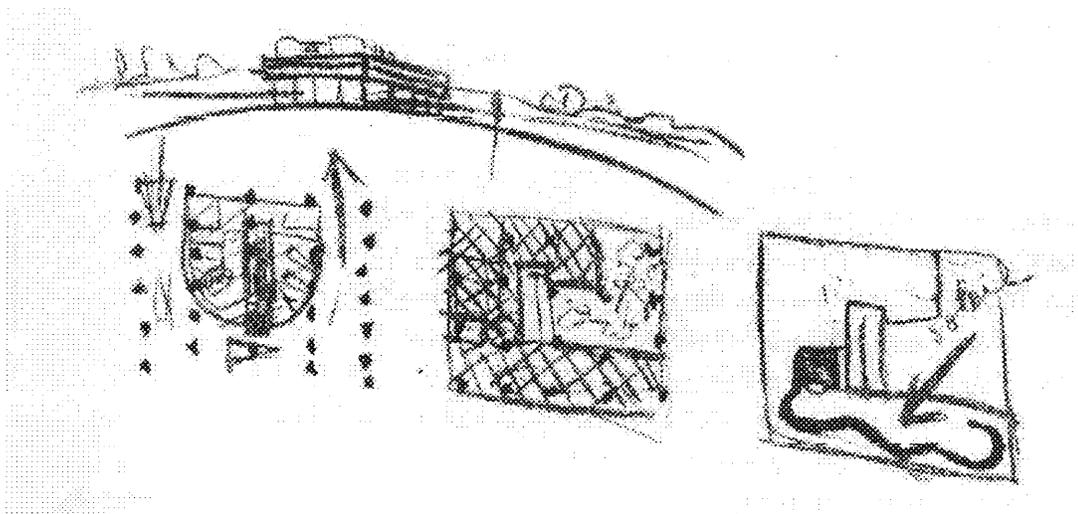


Figure 23. Schéma de la circulation au rez-de-chaussée, et le jardin suspendu qui agit en tant que distributeur de lumière. (Le Corbusier 1960)

Le diagramme présenté à la **Figure 23** précise les relations résultantes des conditions du départ de la villa Savoye. D'abord il y a la relation entre la villa et la circulation véhiculaire. Le véhicule trace un trajet qui entoure la maison. Le trajet est décrit par un point centre qui va correspondre à celle de la villa et va dépendre de la largeur relative de la villa. Ensuite nous considérons des lieux spécifiques à l'intérieur de la villa comme le salon et le terrasse-jardin. Ayant établi les directions pour l'orientation et fixé la vue en direction nord-ouest et le soleil sur l'hémisphère sud du site, les fonctions des forces servent comme intermédiaires, alignant les différents lieux selon les volontés et les concepts spécifiques (**Figure 24**).

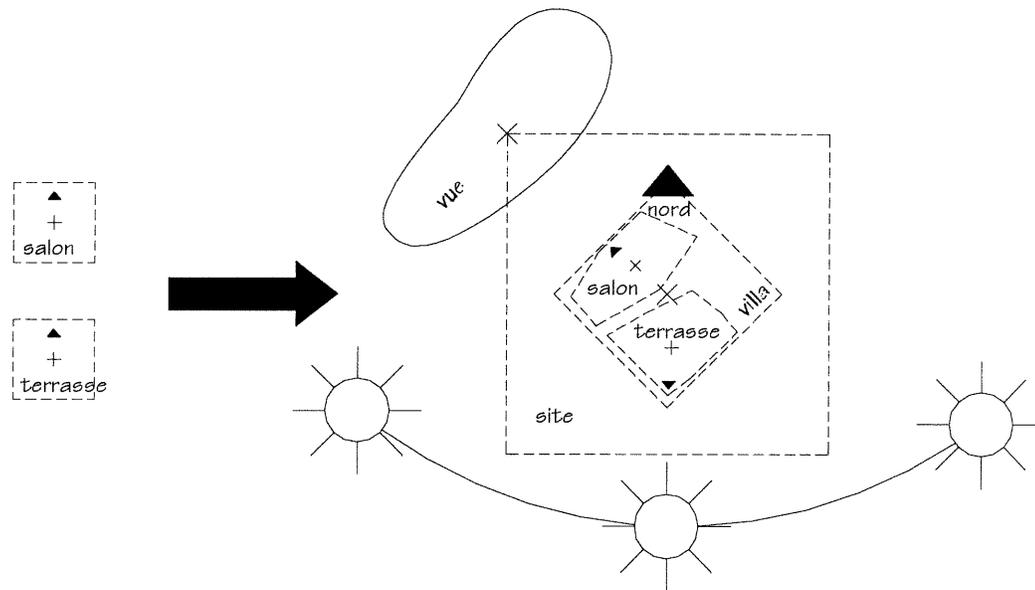


Figure 24. Simulation du diagramme résultant de positionner le salon et la terrasse à l'intérieur de l'espace_lieu (villa) par rapport aux conditions du site.

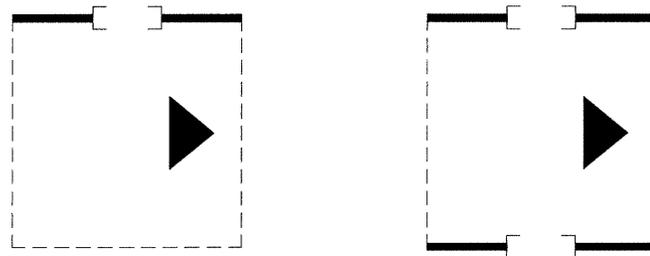
7.4.4 Les fonctions pour la description des lieux

La fonction principale pour l'établissement des **lieux_espace** ou des **lieux_activité** va chercher la localisation désirée par l'utilisateur. Le point choisi est le point de centre de la figure qui va représenter ce lieu. Ce point sera repéré et stocké dans une liste qui contient toutes les données relatives à ce lieu. Les opérations d'alignement, d'orientation seront effectuées par rapport à ce point de centre. Ce point de centre va servir également à calculer le vertex et les points désignés pour recevoir ou activer les différents types de relations. Dans un premier temps le nombre de relations pour les lieux sera limité à une pour chaque borne.

Pour compléter la description d'un lieu une fonction va créer une liste des sous-composantes (les bornes, les ouvertures et les relations) qui seront les paramètres passés à des fonctions aux niveaux supérieurs. Les sous-composantes permettent ainsi de définir certains des caractéristiques des lieux.

Dans le cas particulier de l'étude de la villa Savoye nous avons fait notre analyse par rapport à la configuration spatiale pour déterminer les composantes du concept «promenade architecturale». Nous avons constaté lors de notre survol des approches analytiques que la typologie topologique telle qu'elle est énoncée par Hillier (1996) portait son influence sur le mouvement dans l'espace.

D'après la description de Le Corbusier (1960) de sa promenade architecturale nous pouvons dire qu'il s'agit d'une séquence orchestrée des espaces, activités et vues qui fait en sorte qu'on se promène à l'intérieur de la maison au lieu de passer tout simplement d'une pièce à une autre. Cela veut dire que le point de départ et le point d'arrivée doivent se distinguer et que le passage entre les deux n'est pas voulu être direct. Pour capter cette condition nous proposons la possibilité de déclarer la typologie topologique de l'espace ou du moins déclarer la fonction générique de l'espace - s'il s'agit d'un espace d'occupation ou un espace de déplacement (**Figure 25**). En identifiant la typologie topologique d'un espace cela implique le sous-complexe nécessaire pour supporter cette caractéristique.



lieu_espace d'occupation

lieu_espace de mouvement

Figure 25. Schéma illustrant la fonction générique de **lieu_espace**

7.4.5 Les fonctions utilitaires et gestion d'interface

Ces fonctions vont servir à gérer la jonction entre les composantes du système et l'environnement de la modélisation. Elles vont gérer les formats nécessaires des données, les réactions sous-jacentes

entre les entités du logiciel, créés pour représenter les composantes et ainsi afficher les résultats des modifications. Les fonctions utilitaires vont dépendre de l'environnement informatique dans lequel l'approche proposée est mise en oeuvre. Dans le cas de notre expérimentation il s'agit d'AutoCAD®.

7.5 La description informatique de l'approche de diagramme dynamique

Les fonctions présentées ci-dessus font partie des actions qui sont incluses dans notre description informatique (**Table VI**). Cette description veut servir surtout comme devis de mise en oeuvre d'un programme qui vise la création des diagrammes dynamiques.

```

;;;—description générale du programme-----
(defun c:diagramme ()
  ;;établir l'espace de conception
  (origine)
  (directions)

  ;;introduire les conditions de départ. S'il n'y a pas des conditions de
  départ à inclure dans la description de l'espace de conception, passer à la
  description du système. Autrement créer les composantes représentant ces
  conditions (force_fixe)
  (if (= (conditions) nil)
    (système)
    (force_fixe))

  ;;introduire composantes relatives à la ligne directrice
  (force_dynamique)
  (relation)

  ;;créer les lieux
  (lieu_type)

  ;;calculer le diagramme - état du système
  choisir, s'il y a lieu, les composantes qui sont exclus du calcul, ignorées
  lors des transformations
  (choix_composantes)
  (calcul_diagramme)

  ;;afficher représentation de l'état du système
  choisir les composantes qui vont être visibles
  (filtre_composantes)
  (afficher_diagramme)

  ;;confirmer, continuer, etc.
  (modifier_diagramme)
) ;_fin programme

```

Table VI. Description informatique de l'approche proposée.

7.6 La validation de la recherche

La stratégie de recherche de développement vise, à partir des connaissances existantes, à mettre au point une intervention nouvelle (Contandriopoulos et al. 1990). Nous avons élaboré une approche informatique à partir d'une étude du processus de conception et les représentations utilisées, des méthodes d'analyse du projet architectural ainsi que des approches de la conception assistée par

ordinateur. Notre proposition du diagramme dynamique est une nouvelle intervention dans le domaine du support informatique de la conception architecturale.

Pour établir la validité de notre proposition nous référons à notre hypothèse de travail. Nous rappelons que nous avons posé que la «traduction» du diagramme sous un environnement informatique augmentera la capacité de cette forme de représentation en lui ajoutant les propriétés de calcul et d'enregistrement. Ceci permettra une manipulation plus dynamique des interactions entre les différents aspects du projet architectural.

Nous considérons deux aspects de validité: la validité interne et la validité externe. La validité interne est assurée par les caractéristiques de la méthodologie qui déterminent que les relations observées entre les variables ne peuvent pas être attribuées à des facteurs qui ne sont pas pris en considération par le devis de recherche. La validation externe dépend du caractère général du modèle théorique sur lequel l'approche est basée et la possibilité de l'étendre à d'autres contextes (Contandriopoulos et al. 1990).

Pour valider cette hypothèse nous considérons:

- La traduction du diagramme
- La manipulation dynamique

La traduction du diagramme met en place notre méthodologie d'analyse et permet d'établir la validité interne. Dans la manipulation dynamique nous cherchons à établir la validité externe de notre recherche.

7.6.1 La validation interne

Nous avons abordé la question de la traduction du diagramme par l'examen du processus de conception et le rôle et fonctionnement du diagramme dans ce processus. Notre examen du processus de conception nous a permis de confirmer la place accordée au diagramme dans plusieurs méthodologies de travail et le rôle que le diagramme joue pour expliciter le projet architectural. Reconnaisant que le diagramme jouait un rôle d'explication nous avons abordé une étude des méthodes d'analyse du projet architectural. À partir de cette étude nous avons constitué la base de

l'organisation éventuelle de la traduction informatique du diagramme, soit la triade d'unité, transformation et relation.

L'étude de cas de la villa Savoye, effectuée avec notre méthode d'analyse fondée sur cette triade, a repéré des instances spécifiques de chacune des composantes de la triade. Nous avons identifié «la promenade architecturale» comme aspect ou concept important. Le développement de ce concept s'est fait grâce à la création et modification des unités, les espaces ou les activités, et des différents types de relations entre ces espaces. La configuration spatiale résultante de la mise en relation des espaces a joué un rôle important non seulement dans la constitution physique de la promenade mais aussi dans l'intelligibilité de la séquence résultante.

L'étude de cas nous a permis de confirmer que cette triade de composantes est appropriée pour la méthodologie d'analyse ainsi que comme base pour l'exploration de solutions de conception. Nous pouvons alors constater de la validité interne de notre recherche.

7.6.2 La validation externe

Quant à la manipulation dynamique énoncée dans notre hypothèse nous avons vu dans notre étude des approches à la conception assistée par ordinateur, l'importance de la propagation des données. Nous avons considéré l'applicabilité de la triade organisatrice à un ensemble plus large de solutions potentielles. Pour mettre au point notre devis informatique nous avons créé une série de fonctions pour explorer les modalités de décrire le système et poser les actions nécessaires à l'intérieur d'un environnement informatique.

Dans le développement des fonctions nous avons voulu confirmer que l'organisation proposée pour l'approche pourrait s'inscrire dans un environnement informatique, que l'organisation était suffisamment complète pour permettre l'élaboration des fonctions pour constituer un programme, et que les caractéristiques déclarés dans le devis pour l'approche informatique pourraient être captés dans une telle organisation. L'intention dans le développement des fonctions n'a pas été de créer un programme complète, mais plutôt d'examiner l'organisation face aux exigences d'une interprétation informatique.

Lors du développement des fonctions nous avons constaté que l'organisation proposée pour l'approche informatique nous amène à structurer les fonctions de façon hiérarchique, de sorte que les caractéristiques établies au premier niveau sont intégrées dans la définition des composantes par les fonctions de niveau inférieur. C'est ainsi que les conditions et contraintes globaux peuvent influencer les composantes qui sont définies à l'intérieur du système. En particulier, la façon que les variables sont incorporées dans la définition des différentes catégories et types de composantes, permet la propagation des données qui ont un impact sur l'ensemble du système ainsi que sur une composante particulière.

De plus les fonctions permettent de définir non seulement les relations entre différentes composantes mais aussi laquelle des composantes impliquées dans la relation est subordonnée. Ainsi il est possible de prévoir la manipulation directe et l'interactivité intelligente du diagramme dynamique. Étant donné que cette manipulation du système n'est pas limitée au scénario repéré dans l'étude de cas nous pouvons constater de la validité externe de notre approche informatique.

8 CONCLUSION

Nous avons commencé cette recherche par la question suivante: Comment est-ce que l'architecte peut s'approprier l'outil informatique pour que celui-ci supporte la manipulation et l'intégration des connaissances dans un processus de conception architecturale?

Pour y répondre nous avons considéré les mécanismes sous-jacents du processus de conception architecturale. Nous avons cherché en particulier les moyens de ces processus pour établir les caractéristiques qui facilitent et supportent la démarche de la conception. Entre autre, nous avons considéré l'analyse et le diagramme en tant qu'outil de raisonnement comme moyens essentiels.

Nous avons vu que les outils de la conception assistée par ordinateur ne s'avèrent pas adéquats à la démarche dynamique suggérée par le dessin du diagramme, car la description des composantes nécessaires à la constitution d'un modèle traditionnel est incomplète, sinon absente. Cela nous a amené à considérer le rôle approprié de l'outil informatique. La force de l'outil informatique est dans sa capacité d'enregistrement et de traitement de données; ces fonctionnalités devront alors être mises à la disposition du concepteur afin de supporter les différentes tâches dans le processus de conception.

Pour répondre à cette exigence, nous avons entrepris une étude de cas pour repérer un processus de conception et déterminer les aspects du projet (composantes du système) et les façons dont ils sont traités pour avancer le projet de conception. À partir de cette étude, nous avons élaboré une organisation d'une approche informatique, et ensuite procédé à un devis pour la description informatique de cette approche.

8.1 Comparaisons entre les résultats de l'expérimentation et l'objectif de la recherche

L'objectif de la recherche était d'élaborer une description informatique d'une approche qui permet la manipulation dynamique des interactions entre différents aspects d'un projet architectural. Dans l'élaboration de cette approche, nous avons considéré les questions suivantes: la manière dont les connaissances architecturales seront décrites, les critères que devrait rencontrer une interface, c'est-à-dire la façon dont le concepteur pourra interagir avec le diagramme dynamique proposé et

la façon dont l'outil informatique pourra traiter les interactions entre différentes composantes du système et communiquer les résultats de ces interactions.

Étant donné que l'étape du processus de conception visée par cette approche est la phase embryonnaire, la description des connaissances est flexible de sorte que le concepteur soit en mesure de définir ses propres composantes au niveau de symboles représentatifs et le contenu. L'exemple que nous avons présenté dans la description de l'approche est celui des composantes espaces. Dans ce cas, le lieu est représenté par un symbole graphique qui n'est pas obligé de correspondre à sa forme réelle. L'intérêt est plutôt la possibilité d'associer des règles de comportement à la composante qui vont déterminer les relations que l'espace établit avec d'autres composantes, c'est-à-dire la façon dont l'espace réagit lors de l'application d'un opérateur de transformation. Notre approche laisse la définition des composantes et donc la description des connaissances dans les mains du concepteur tout en lui permettant d'enregistrer ces connaissances dans l'environnement informatique.

Le développement des fonctions AutoLisp, présentées en annexe, lors de notre expérimentation a souligné le besoin d'une cohérence quant à la définition des composantes du système. Dans cette stratégie nous avons vu qu'il était nécessaire d'associer les valeurs de certaines propriétés avant d'appeler les fonctions de haut niveau. La conséquence en est que dans une approche descendante, telle que celle employée dans le modèle, il sera nécessaire que ces propriétés portent des valeurs par défaut qui seront modifiées lorsqu'une fonction de plus haut niveau est appelée.

8.2 Pistes à développer

Nous avons limité notre recherche à la considération de l'organisation et à la structure possible d'une approche informatique basée sur le diagramme. Suite à notre discussion sur la validité de notre stratégie de recherche et le résultat obtenu, nous constatons qu'une première piste à développer sera la mise en oeuvre de l'approche informatique du diagramme dynamique. Ainsi il sera possible de déterminer la cohérence du fonctionnement pratique de cette intervention proposée.

Bien que nous ayons utilisé AutoCAD comme environnement informatique d'expérimentation nous croyons que le choix de l'environnement de développement de l'éventuel outil est ouvert.

Différents environnements permettront la définition des composantes du système ainsi que les moyens d'interface, donc une piste subséquente sera la comparaison de différentes implémentations de l'approche.

Un autre aspect que nous avons considéré dans notre recherche est la représentation des connaissances architecturales. Nous avons abordé cette question de façon très générale en proposant les trois composantes du système comme étant unité, relation et transformation. Nous avons voulu que les définitions soient les plus génériques possibles pour permettre un maximum de flexibilité quant à l'intégration de cette approche dans différents types des processus de conception architecturale. Il se peut que cette approche soit à la base de développement de plusieurs outils, chacun visant un point de vue spécifique quant à la phase embryonnaire du processus de conception architectural.

Finalement notre recherche a considéré l'interaction entre le concepteur et l'outil informatique. À ce sujet nous constatons qu'il y a eu plusieurs développements dans ce domaine. En plus du clavier et de la souris comme moyen de communication, il y a également la possibilité de touchers à l'écran, stylo et reconnaissance de la voix. La manipulation des symboles graphiques à l'écran devient plus flexible et intelligente avec la technologie qui permet d'étirer et de tronquer une forme d'une façon analogue à la pâte à modeler (*«push & pull technology»*). Nous avons vu qu'un des grands apports du dessin, et en particulier du diagramme, est la manipulation facile de l'outil. Nous croyons enfin que la poursuite de la recherche portant sur les mécanismes de l'interface sera importante pour faire la jonction entre les rôles doubles du diagramme en tant que représentation (interface) et outil de raisonnement (contenu).

BIBLIOGRAPHIE

- _ (1984). *The Le Corbusier Archive Volume VII - Villa Savoye and Other Buildings and Projects, 1929-1930*. Brooks H. Allen et Tzonis Alexander éditeurs. Garland Publishing.
- ALEXANDER, Christopher (1966). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- ALEXANDER, Christopher, Ishikawa, S., Silverstein M., Jacobsen M., Fiksdahl-King, I., Angel, S. (1977). *A Pattern Language*. New York: Oxford University Press.
- ARNHEIM, Rudolf (1969). *Visual Thinking*. Berkeley and Los Angeles, California: University of California Press.
- ARNHEIM, Rudolf (1977). *The Dynamics of Architectural Form*. Berkeley and Los Angeles, California: University of California Press.
- ASOJO, Abimbola O. (??). A Design Algorithm After Le Corbusier, dans *Technology in Transition - Mastering the Impacts*.
- BAKER, Geoffrey H. (1984). *Le Corbusier - an analysis of form*. Van Nostrand Reinhold (UK).
- BAKER, Geoffrey H. (1996). *Design Strategies in Architecture: an Approach to the Analysis of Form*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- BENTON, Tim (1984). *Les villas de Le Corbusier et Pierre Jeanneret 1920-1930*. trad. Pierre Joly. Paris, France: Phillipe Sers éditeur.
- BILODEAU, Denis, LACHAPELLE, Jacques et ZEPPELELLI, Lea (1997). *Architecture Limite*. Montréal: Université de Montréal.
- CACHE, Bernard (1995). *Earth Moves: The furnishing of territories*. Cambridge, MA: MIT Press.
- CHING, Francis D.K. (1979). *Architecture: Form, Space & Order*. New York: Van Nostrand Reinhold.

- CLIBBON, Kelvin, CANDY, Linda et EDMONDS, Ernest (1995). A Logic-Based Framework for Representing Architectural Design Knowledge, dans *CAADFutures 1995*.
- COLQUHOUN, Alan (1972). Displacement of Concepts, dans *Architectural Digest*. vol.42, pp.236.
- CONTANDRIOPOULOS, André-Pierre, CHAMPAGNE, François, POTVIN, Louise, DENIS, Jean-Louis et BOYLE, Pierre (1990). *Savoir préparer une recherche*. Montréal: Les presses de l'Université de Montréal.
- COUSIN, Jean (1970). *Organisation topologie de l'espace architecturale*. Montréal: Les presses de l'Université de Montréal.
- COYNE, Richard (1995). *Designing Information Technology in the Postmodern Age: From Method to Metaphor*. Cambridge, MA: MIT Press.
- CROWE, Norman A. et HURTT, Steven W. (1986). Visual Notes and the Acquisition of Architectural Knowledge, dans *JAE*, no 39/3 pp.6-16.
- CURTIS, William J.R. (1986). *Le Corbusier: Ideas and Forms*. New York: Rizzoli.
- DAVE, Bharat (1993). CDT: A Computer-Assisted Diagramming Tool dans *CAADFutures '93*, pp.91-109.
- DE LAURA, Louis P. (1997). Old Wine in New Skins: Architecture, Representation and Electronic Media, dans *Representation in Design, ACADIA '97*, pp.73-82.
- DE PAOLI, Giovanni. (1999). *Une nouvelle approche d'aide à la conception par ordinateur en architecture basée sur la modélisation d'opérateurs sémantiques est la création des maquettes procédurales*. Montréal: Thèse Ph.D., Université de Montréal.
- DELEUZE, Gilles (1993). *The Fold - Leibniz and the Baroque*. trad. Tom Conley. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Do, Ellen Yi-Luen (1995). What's in a Diagram That a Computer Should Understand?, dans *CAADFutures 1995*, pp.469-480.

- DURAND, Daniel (1996). *La systématique*, "Que sais-je?" no.1795. Presses Universitaires de France.
- EASTMAN, Charles et LANG, Jurg (1991). Experiments in Design Development using CAD, dans *CAAD Futures 1991*, pp.49-64.
- FAUCHER, Didier et NIVET, Marie-Laure (1998). Le jeu des intentions: intégration de contraintes physiques et urbaines en CAO, dans *ACADIA '98*, pp.119-137.
- FRAZER, John Hamilton, TANG, Ming Xi et JIAN, Sun (1999). Towards a Generative System for Intelligent Design Support, dans *CAADRIA '99*.
- GALLE, P. (1994). Computer support of architectural sketch design: a matter of simplicity?, dans *Environment and Planning B: Planning and Design*. vol 21, pp.235-372.
- GARDNER, Brian M. (1998). The Grid Sketcher: An AutoCAD Based Tool for Conceptual Design Processes, dans *ACADIA '98*.
- GOEL, Vinod (1995). *Sketches of Thought*, Cambridge, MA: MIT Press.
- GRAVES, Michael (1977). The Necessity for Drawing Tangible Speculation, dans *Architectural Design*. vol.47, no.6, pp.384-394.
- HEWITT, Mark (1985). Representational Forms and Modes of Conception, dans *JAE*. no.39, pp.2-9.
- HILLIER, Bill (1996). *Space is the machine*. Cambridge University Press.
- LASEAU, Paul (1989). *Graphic Thinking for Architects and Designers*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- LE CORBUSIER (1960). *Précisions sur un état présent de l'architecture et l'urbanisme*. Éditions Vincent, Fréal & Cie.
- LE CORBUSIER (1977). *Vers une architecture*. Éditions Arthaud.
- LE CORBUSIER et JEANNERET, Pierre (1957a). *Oeuvre complète - volume I*. Zurich: Éditions Girsberger.

- LE CORBUSIER et JEANNERET, Pierre (1975b). *Oeuvre complète - volume 2*. Zurich: Éditions Girsberger.
- MCCULLOUGH, Malcolm (1996). *Abstracting Craft - The Practiced Digital Hand*. Cambridge MA: MIT Press.
- MEISENHEIMER, Wolfgang (1987). The Functional and the Poetic Drawing, dans *Daidalos*. no.25, pp.111-120.
- MITCHELL, William J. (1990). *The Logic of Architecture - Design, Computation, and Cognition*, Cambridge, MA: MIT Press.
- PAOLUZZI, Alberto, PASCUCCI, Valerio, SANSONI, Claudio (1995). Prototype Shape Modeling with a Design Language, dans *CAAD Futures '95*. pp.59-75.
- PAUSE, Michael et CLARKE, Roger H. (1996). *Precedents in Architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- PFEIFER, Rolf et SCHEIER, Christian (1999). *Understanding Intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press.
- PORTER, Tom (1997). *The Architect's Eye: Visualization and depiction of space in architecture*, Londres: E & FN Spon (Chapman & Hall).
- PROST, Robert (1992). *Conception architecturale: une investigation méthodologique*. Paris: Éditions L'Harmattan.
- ROWE, Peter G. (1987). *Design Thinking*. Cambridge, MA: MIT Press.
- SCHON, Donald A. (1988). Designing: Rules, types and worlds, dans *Design Studies*. vol. 9, no. 3, pp. 181-190.
- SCHON, Donald A. et WIGGINS, Glen (1992). Kinds of seeing and their functions in designing, dans *Design Studies*. vol 13, no 2, pp. 135-156.
- TESTA, Peter, O'REILLY, Una-May, WEISER, Devyn et ROSS, Ian (2000). Emergent Design: A Crosscutting Research Program and Curriculum Integrating Architecture and Artificial Intelligence.

VIRILIO, Paul (1984). *L'espace critique*, Paris: Christian Bourgois Éditeur.

VON MOOS, Stanislaus (1979). *Le Corbusier - Elements of a Synthesis*. Cambridge, MA: MIT Press.

ANNEXE

Exemples du code des fonctions AutoLisp développées dans l'expérimentation.

```

;;;-----
;;; Deirdre Ellis
;;; Juillet 2001
;;; Le diagramme - description informatique des operateurs de
;;;          transformation dans un processus de conception
;;;          architecturale.
;;;-----

;;; Il est attendu que ce programme s'executera comme un module a
;;; l'interieur de l'environnement AutoCAD. Il est suppose donner
;;; a l'utilisateur un moyen pour decrire les differentes unites et
;;; forces a l'interieur de l'espace de conception ainsi que leurs
;;; interrelations.
;;;--fin de l'entete-----

;;;-----
;;; Preambule - activation des parametres globaux du systeme
;;; fonctions necessaires pour l'environnement AutoCAD
;;;-----
(vl-load-com) ;_charger ActiveX

;;;-----
;;; Pour les fonctions ActiveX, nous avons a definir une variable
;;; global qui "pointe" vers l'espace modele du dessin actif. Cette
;;; variable, *ModelSpace* est cree lors du chargement.
;;;-----
(setq *ModelSpace*
      (vla-get-ModelSpace
        (vla-get-ActiveDocument (vlax-get-acad-object))
      ) ;_ end of vla-get-ModelSpace
      ) ;_ end of setq
;;;--fin de preambule-----

```

```
;;;-----  
;;; Fonctions de premier niveau  
;;;-----  
  
(defun c:diagramme ()  
  ;; etablir l'espace de conception  
  (origine)  
  (directions)  
  
  ;; introduire les forces/contraintes fixes du projet  
  (force_fixe)  
  
  ;; introduire les forces dynamiques du systeme  
  (force_dynamique)  
  (relation)  
  
  ;; creer les lieux  
  (lieu_espace)  
  (lieu_activite)  
  
  ;; calculer le diagramme  
  (calc_diagramme)  
  
  ;; afficher resultat  
  (affich_diagramme)  
  
  ;; confirmer, continuer, etc.  
  (modif_diagramme)  
  )  
  
(defun dg:calc_diagramme ()  
  (?? operation de calcul est quoi??)  
  ;; le calcul de diagramme est l'identification des conflits parmi  
  ;; les relations etablies, la modification des lieux ou la  
  ;; suppression des relations pour eliminer les conflits.  
  ;; la fonction doit aller chercher la liste des composantes a  
  ;; considerer dans le calcul, voir la hierarchie et appeler les  
  ;; fonctions necessaires de modification.  
  (list_composantes)
```

```
(hierarchie)
(modif_composantes)
)

(defun dg:affich_diagramme ()
  (dg:draw (list_composantes))
)

(defun dg:modif_diagramme ()
  (dg:select_composante)
  (dg:calc_diagramme)
  (dg:affich_diagramme)
)
;;;--fin de fonctions premier niveau-----
```

```

;;;-----
;;; Fonctions de deuxieme niveau
;;;-----

(defun dg:force_fixe ()
  (dg:set_object)
  (dg:non_chang)
)

(defun dg:force_dynamique ()
  (dg:set_object)
  (dg:chang)
)

(defun dg:relation ()
  (dg:rel_perm (composante1 composante2))
  ;; creation des ouvertures
  ;; alignement des ouvertures
  (dg:rel_adj (composante1 composante2))
  ;; choix de cote d'adjacence
  ;; identification de composante a deplacer
  ;; deplacement de la composante
  (dg:rel_vis (composante1 composante2))
  ;; composante qui doit etre visible
  ;; -?? degre de visibilite (peut etre non)
  ;; choix de composante a deplacer
  ;; deplacement de la composante
)

(defun dg:typ_topologique ()
  (dg:lieu_espace)
  ;; choisir lieu_espace
  (dg:num_ouverture) ;_compter numero d'ouvertures
  (if
    ((= num_ouverture 1) setq typ_topol A)
    ((= num_ouverture 2) conditions pour types subsequents??)
  )
)
;;;--fin des fonctions de deuxieme niveau-----

```

```

;;;-----
;;; Fonctions de troisieme niveau
;;;-----

;;;-----
;;; dg:lieu
;;; fonction qui va retourner une liste des proprietes d'un
;;; lieu a partir des donnees entrees par l'utilisateur
;;;-----
(defun dg:lieu (/ ctr nom typ lpoints)
  (if
    (setq ctr (getpoint "\nIndiquer le centre du lieu: "))
    (if
      (setq nom (getstring "\nQuel est le nom du lieu: "))
      (if
        (setq typ
          (getstring "\nEst-ce le type espace ou activite [e/a]: "
            ) ;_ end of getstring
          ) ;_ end of setq
        (progn
          (if
            (or (= typ "e") (= typ "E"))
            (setq lpoints (ctr->4pts_espace ctr)) ;_lieu_espace
            (setq lpoints (ctr->4pts_activite ctr)) ;_lieu_activite
            ) ;_ end of if
          (append
            l'. (list nom
              (cons 1 nom)
              (cons 2 typ)
              ) ;_ end of list
            lpoints
            ) ;_ end of append
          ) ;_ end of progn
        ) ;_ end of if
      ) ;_ end of if
    ) ;_ end of defun
  ) ;_--fin fonction dg:lieu-----

```

```

;;;-----
;;; Fonctions de quatrieme niveau
;;;-----

;;;-----
;;; dg:dessiner_lieu
;;; fonction qui va dessiner la frontiere d'un lieu
;;;-----
(defun dg:dessiner_lieu (lieu_data /
                        p1 p2 p3 p4 polypoints pline VLADataPts)
  (setq p1 (cdr (assoc 11 BoundaryData))
        p2 (cdr (assoc 12 BoundaryData))
        p3 (cdr (assoc 13 BoundaryData))
        p4 (cdr (assoc 14 BoundaryData))
        polypoints (apply 'append
                          (mapcar '3dpt->2dpt
                                   (list p1 p2 p3 p4)
                                   ) ;_ end of mapcar
                          ) ;_ end of apply
        ) ;_ end of setq
  ;; ***** conversion des data *****
  ;; polypoints en format AutoLisp, une liste des 4 vertex
  ;; la variable doit etre convertie en parametre convenable
  ;; aux fonctions ActiveX
  (setq VLADataPts (dl:list->variantArray polypoints))
  ;; ajouter polyline a l'espace modele avec ActiveX
  (setq pline (vla-addLightweightPolyline
              *ModelSpace* ;_ Global Definition for Model Space
              VLADataPts
              ) ;_ end of vla-addLightweightPolyline
        ) ;_ end of setq
  (vla-put-closed pline T)
  ;; Return the ActiveX object name for the outline polyline
  ;; The return value should look something like this:
  ;; #<VLA-OBJECT IAcadLWPolyline 02351a34>
  pline
  ) ;_ end of defun
;;;-fin de fonction dg:dessiner_lieu-----

```

```
;;;-----  
;;; dg:ouverture  
;;;  fonction qui va retourner une liste des proprietes d'une  
;;;  ouverture a partir d'un lieu choisi par l'utilisateur et  
;;;  et autres donnees entrees.  
;;;-----  
  
;|(defun dg:ouverture ()  
  (dg:get_lieu) ;_choisir le lieu  
  (dg:ver_type) ;_verifier type de lieu  
  (if  
    (= typ espace)  
    (dg:getborne) ;_choisir le cote de l'ouverture  
    (dg:draw_ouv) ;_info pour polygon representant ouverture  
    (= typ activite)  
    (dg:getquad) ;_choisir le quadrant pour l'ouverture  
    (dg:draw_rel) ;_info pour ligne representant lien  
  )  
)|;  
;;;--fin des fonctions de quatrieme niveau
```

```

;;;-----
;;; Fonctions utilitaires
;;;-----

;;;-----
;;; ctr->4pts_espace
;;; fonction qui va retourner une liste des 4 vertex d'un carre
;;; a partir d'un point centre.
;;;-----
(defun ctr->4pts_espace (centre / dim_r p1 p2 p3 p4)
  (setq dim_r 50
    p1 (list
      (- (car centre) dim_r)
      (- (cadr centre) dim_r)
      (caddr centre)
    ) ;_fin p1
    p2 (list
      (+ (car centre) dim_r)
      (- (cadr centre) dim_r)
      (caddr centre)
    ) ;_fin p2
    p3 (list
      (+ (car centre) dim_r)
      (+ (cadr centre) dim_r)
      (caddr centre)
    ) ;_fin p3
    p4 (list
      (- (car centre) dim_r)
      (+ (cadr centre) dim_r)
      (caddr centre)
    ) ;_fin p4)
  ) ;_ end of setq
(list
  (cons 10 centre)
  (cons 11 p1)
  (cons 12 p2)
  (cons 12 p3)
  (cons 14 p4)
) ;_ end of list

```

```

) ;_ end of defun
;;;--fin de fonction ctr->4pts_espace-----

;;;-----
;;; ctr->4pts_activite
;;; fonction qui va retourner une liste des 4 vertex d'un carre
;;; a partir d'un point centre.
;;; Noter: p1 est situe a l'est, pt2 au nord etc.
;;;-----
(defun ctr->4pts_activite (centre / dim_r p1 p2 p3 p4)
  (setq    dim_r 50
    p1    (list
            (+ (car centre) dim_r)
            (cadr centre)
            (caddr centre)
            ) ;_fin p1
    p2    (list
            (car centre)
            (+ (cadr centre) dim_r)
            (caddr centre)
            ) ;_fin p2
    p3    (list
            (- (car centre) dim_r)
            (cadr centre)
            (caddr centre)
            ) ;_fin p3
    p4    (list
            (car centre)
            (- (cadr centre) dim_r)
            (caddr centre)
            ) ;_fin p4)
  ) ;_ end of setq
(list
  (cons 10 centre)
  (cons 11 p1)
  (cons 12 p2)
  (cons 12 p3)
  (cons 14 p4)
  ) ;_ end of list

```

```
) ;_ end of defun
;;;--fin de fonction ctr->4pts_espace-----

;;;-----
;;; dg:list->variantArray
;;; fonction qui va convertir une liste des valeur doubles
;;; representant une liste des points en un variant lisible par
;;; une fonction ActiveX
(defun dg:list->variantArray (ptsList / arraySpace sArray)
  (setq arraySpace
    (vlax-make-safearray
      vlax-vbdouble ;_ element type
      (cons 0
        (- (length ptsList) 1)
      ) ;_ array dimension
    ) ;_ end of vlax-make-safearray
  ) ;_ end ofsetq
  (setq sArray (vlax-safearray-fill arraySpace ptsList))
  ;; return array variant
  (vlax-make-variant sArray)
  ) ;_ end of defun
;;;--fin de fonction dg:list->variantArray -----
```