Intellectica, *1999/2, 29, pp. 9-34*

Jean-Pierre GOULETTE[*]

Sémantique formelle de l'espace.

Une application au raisonnement spatial qualitatif en architecture[1]

Nous présentons tout d'abord brièvement une analyse de descriptions textuelles d'éléments d'architecture. Nous rejoignons alors certains travaux menés en sémantique formelle de l'espace, *travaux qui prennent pour point de départ l'étude de textes décrivant des phénomènes spatiaux et qui visent à la définition de modèles formels de raisonnement spatial. Nous reprenons et complétons, en les adaptant à notre propos, certains résultats de ces travaux. L'analyse des descriptions textuelles d'éléments d'architecture et de leurs compositions nous permet de spécifier les caractéristiques de l'espace qualitatif de la composition architecturale. En nous inspirant des théories axiomatiques de la méréotopologie et de la méronomie formelle, nous proposons un cadre d'énonciation des connaissances relatives à la composition en architecture. Nous définissons alors un modèle de raisonnement spatial qualitatif et un langage formel permettant d'exprimer certaines lois de la composition architecturale et de raisonner sur les propriétés des compositions et de leurs constituants.*

Mots-clés *: Représentation des connaissances, raisonnement spatial qualitatif, architecture, conception assistée par ordinateur.*

Formal semantics of space. An application to the qualitative spatial reasoning in architecture. *Through the "Architectural Vocabulary", we analyse the textual descriptions of architectural elements. We join some works based on* formal semantics of space, *which have as starting point the study of texts describing the spatial phenomena, and wich*

---

[*] *Laboratoire d'Informatique Appliquée à l'Architecture (Li2a) École d'Architecture de Toulouse - 83, rue Aristide Maillol, BP 1329 - 31106 Toulouse Cedex 1*
Tél. : 05 62 11 50 41, Fax : 05 62 11 50 49
E-mail : goulette@cict.fr

[1] *Cette étude est menée en étroite collaboration avec l'équipe Langue, Raisonnement, Calcul de l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse*

attend to present formalisms for some aspects of human spatial reasoning. Using these works conclusions, we adapt them to our approach. By the analysis of textual descriptions of architectural elements and their compositions, we are allowed to specify the characteristics of the qualitative space of architectural composition. Through the axiomatic theories of mereotopology and formal meronomy, we propose a framework for representing the knowledge related to architectural composition. Therefore we define a model of qualitative spatial reasoning and a formal language which enables us to express some architectural composition laws, and also to reason about the compositions properties and their constituting elements.

Keywords*: Knowledge representation, qualitative spatial reasoning, architecture, computer aided design.*

I. INTRODUCTION

Les recherches que nous présentons dans ce document s'inscrivent dans un double cadre : celui de l'étude d'une assistance logicielle à la conception architecturale, *et celui des travaux portant sur le* raisonnement spatial qualitatif. *Ces recherches ont en effet pour thématique générale la* représentation (formelle et informatique) des connaissances spatiales de la composition architecturale. *Cette thématique s'articule sur deux objets d'étude, les* connaissances et les modes de raisonnement spécifiques à l'architecture *et* l'espace qualitatif de la conception*: la composition architecturale est un savoir propre de l'architecture qui se développe, comme nous le montrerons par la suite, dans un espace symbolique hautement qualitatif. Nous rejoignons alors des recherches plus générales portant sur la représentation des connaissances spatiales et sur la sémantique formelle de l'espace.*

II. LA COMPOSITION EN ARCHITECTURE

II.A. Notions relatives à la composition architecturale

L'étude du processus de conception architecturale, en tant qu'activité "abstraite" préliminaire à l'acte de construire, est relativement récente (Asimow W. 1962), (Chermayeff S. et Alexander C. Boudon P. 1971), (Broadbent G. 1973). Les recherches menées dans ce domaine proposent différentes schématisations de ce processus, et distinguent généralement trois phases dans ce

processus : analyse, synthèse et adaptation. Toutefois, ces trois phases sont intimement imbriquées et le déroulement du processus n'a rien de linéaire (Jones J. C. 1980), (Conan M. 1990), (Hamel R. 1994). Ces recherches semblent s'accorder sur un point : les problèmes de conception sont mal structurés, et une des tâches du concepteur va résider dans la structuration de ces problèmes (le problème est reformulé durant le processus). La formulation du problème, qui va de pair avec la recherche de la solution, fait appel à des références propres à l'architecture comme problème en soi. *Trois principales thématiques concernant les références architecturales sont investies par la recherche en CAO architecturale : les précédents architecturaux (Schmitt G. 1994), (Oxman R. et Oxman R. 1994), (Léglise M. 1995), les grammaires de formes architecturales (Stiny G. 1994), (Mitchell W. J. 1994), et les travaux visant à formaliser les connaissances architecturales (Bijl A. 1985), (Coyne R. D., Rosenman M. A. et al. 1990). Notre étude porte sur un aspect précis des problèmes évoqués par ces thématiques : la définition formelle de connaissances relatives à la composition architecturale.*

Nous présentons succinctement ici certains items permettant de repérer les notions intervenant dans la définition des constituants et des principes de la composition architecturale (pour un développement argumenté autour de ces notions, le lecteur pourra consulter (Quintrand P., Autran J. et al. 1985), (Goulette J. P. 1997) :

- *Les objets abstraits : l'objet manipulé dans le cadre d'une composition ne réfère pas toujours un objet physique concret, identifiable par sa substance et ses limites précises. De plus, cet objet est décrit selon différents niveaux d'abstraction.*
  (Exemples : il peut s'agir de morceaux d'objets, comme le mur sous-appui (morceau de mur situé sous une fenêtre et délimité latéralement par des frontières virtuelles correspondant au prolongement des limites latérales de la fenêtre), ou de faces d'éléments, comme le tableau ou le jambage (faces de piédroit) ; il peut s'agir aussi d'espaces vides, "en creux" et délimités par des objets physiques, ou encore d'éléments géométriques comme les axes ou les plans prolongeant les limites d'un objet physique.)

- *Les relations partie-tout : la composition a pour but de regrouper en un tout unitaire un ensemble d'éléments. Les éléments constitutifs sont donc "parties" d'un "tout homogène", lui-même pouvant être "partie" d'une unité d'ordre supérieur.*

(Exemple : la baie est un tout, regroupant un ensemble de parties, qui peut intervenir en tant qu'élément unitaire dans un regroupement d'ordre supérieur comme une composition de baies.)

• *Les relations spatiales : il s'agit certainement de notions essentielles de la composition dont dépendent les autres notions. Les relations spatiales entre objets dépassent le cadre d'une géométrie classique pour faire appel à des aspects topologiques et qualitatifs.*
(Nous détaillerons ces relations dans le chapitre II.B.3.)

• *Les modèles de composition : il s'agit de schémas réguliers de composition reposant sur un ensemble de règles contrôlant le positionnement et le dimensionnement relatifs d'un ensemble d'éléments dans une disposition unificatrice.*
(Nous étudierons dans la suite de ce texte le modèle de composition serlienne*.)*

Afin de mieux préciser et d'illustrer certaines de ces notions, nous étudierons un élément privilégié de la composition architecturale, à la fois composé et composant : la baie. Pour étudier cet élément, nous nous référons principalement au "Vocabulaire de l'architecture" (Pérouse de Montclos J. M. 1972) en analysant les descriptions textuelles d'objets architecturaux qui y sont proposées. Nous rejoignons ainsi différentes recherches menées en sémantique formelle de l'espace, et qui adoptent une approche dont la méthodologie repose sur la volonté de donner une base empirique observable, c'est-à-dire explicite et de portée contrôlable, aux modèles formels développés : cette base est constituée par des segments du langage naturel, des descriptions textuelles de phénomènes spatiaux.

II.B. LE "VOCABULAIRE" DE LA BAIE

La baie est une "Ouverture de fonction quelconque, ménagée dans une partie construite, et son encadrement". *Elle est tout d'abord un élément composé : un élément formé de différents constituants selon une disposition spécifiée.*

II.B.1. Les constituants de la baie

La baie *est principalement constituée d'une* assise, *d'une* structure *et d'une* embrasure. *Elle peut aussi être dotée d'une* fermeture *et*

d'un décor. *L'assise est le volume limite inférieur de la baie. La structure est généralement formée de deux* piédroits[2] *et d'un* couvrement[3]. *L'embrasure est un* "Espace ménagé dans l'épaisseur d'une construction par le percement d'une baie". *Cette embrasure est délimitée par la structure de la baie et l'assise ; une* fermeture[4] *peut y être rapportée. Parmi les éléments fixes de fermeture, on distingue le* remplage[5].

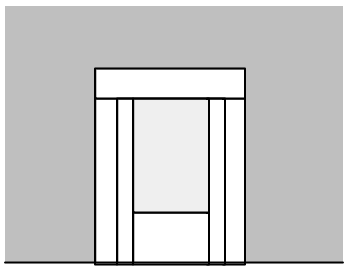


fig 1. Représentation schématique d'une baie

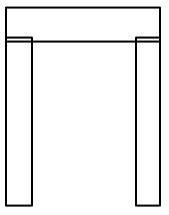


fig 2. Structure

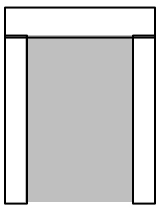


fig 3. Embrasure

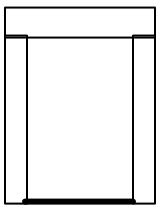


fig 4. Assise

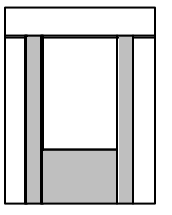


fig 5. Remplage

II.B.2. Un modèle de composition de baies : la serlienne

La serlienne est "Dans l'architecture antique, classique et moderne, triplet formé d'une baie centrale couverte d'un arc en plein cintre et de deux baies latérales couvertes d'un linteau ou plate-bande à hauteur de

---

[2] *Piédroit :* "Montant portant le couvrement de la baie".

[3] *Couvrement :* "Organe ou ouvrage limitant par le haut un entrecolonnement, une baie, une pièce, un vaisseau".

[4] *Fermeture :* "Ensemble des éléments fixes ou mobiles rapportés dans l'embrasure d'une baie pour réduire son ouverture, barrer l'accès ou empêcher le passage de l'air et de la lumière".

[5] *Remplage :* "Ensemble des parties fixes, dans le même matériau que l'embrasure, rapportées dans celle-ci pour réduire ou diviser l'ouverture. Le remplage est formé par un mur léger, moins épais que celui dans lequel l'embrasure est ménagée, ou par des éléments ressemblant à des nervures".

l'imposte de la baie centrale. Les baies latérales sont habituellement plus étroites que la baie centrale et peuvent même être réduites à un court espace entre le piédroit de la serlienne et la colonne ou le pilier recevant les naissances de l'arc central".

La serlienne est donc définie comme un groupement de trois baies. Mais elle peut aussi être interprétée comme une baie, son embrasure étant alors limitée par un couvrement composite et par les deux piédroits latéraux. Dans ce cas, les deux piédroits de la baie centrale sont assimilés à des éléments de remplage (piliers). Nous avons alors deux niveaux d'interprétation *de la serlienne : le niveau Neutre et le niveau Composition.*

Cette notion de niveau d'interprétation n'est pas particulière à la serlienne, on la retrouve dans les autres modèles de composition de baies. En effet, un groupement de baies peut être lui-même assimilé à une baie, ou, si l'on préfère, une baie peut être composée de plusieurs baies. Cette caractéristique a une incidence sur la dénomination des éléments, selon le niveau d'interprétation utilisé dans la description :

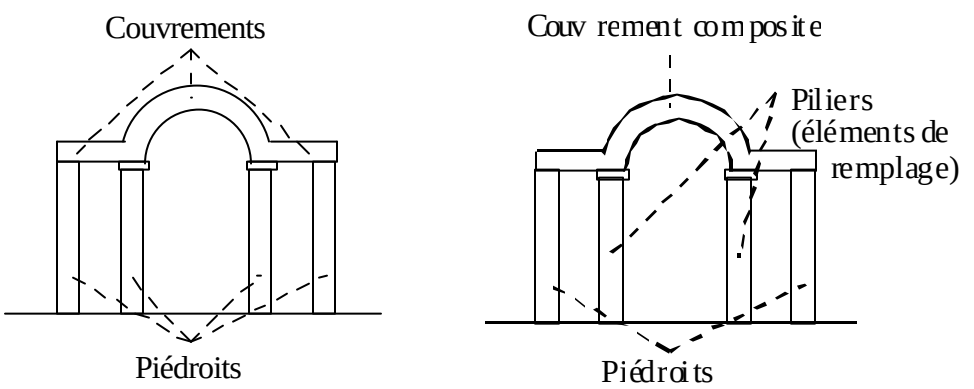


fig 6. Serlienne aux niveaux d'interprétation Neutre (trois baies) et Composition (une baie composée)

• *Le niveau* Neutre *correspond à une interprétation objective : ce qui est interprété comme une baie en possède au premier degré les éléments constitutifs.*

• *Le niveau* Composition *correspond à une interprétation synthétique d'un groupement de baies l'assimilant à une seule baie. Dans ce dernier cas, la baie composée ne possède pas, en quelque sorte, d'éléments propres : elle emprunte ses éléments*

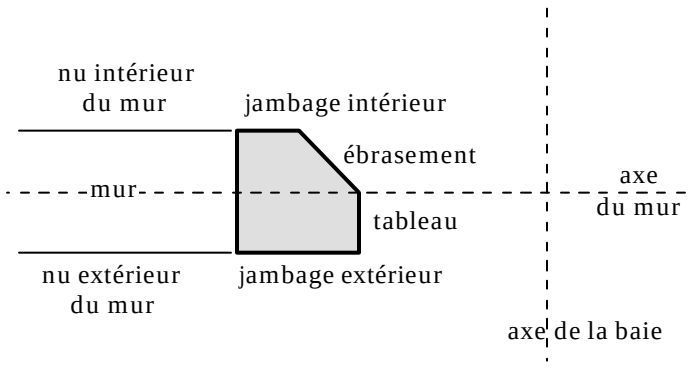
constitutifs aux éléments des baies composantes, mais dans un niveau d'interprétation qui modifie leur statut. Il y a "abstraction" et changement de dénomination de certains des éléments constitutifs des baies.

II.B.3. Les relations spatiales

La "géométrie" mise en œuvre dans les descriptions textuelles que nous analysons est une géométrie complexe. En effet, ces descriptions ne réfèrent pas un espace absolu et orthonormé : il s'agit plutôt d'un espace de la perception*, un* espace cognitif *dont la structure repose en grande partie sur les aspects fonctionnels et symboliques des objets décrits, et sur le point de vue du locuteur. Pour décrire les éléments, ce dernier s'intéresse principalement à trois caractéristiques : l'orientation, la délimitation, le positionnement relatif.*

• *L'orientation : elle se fait selon trois axes : l'axe vertical, l'axe du mur, l'axe de la baie.*

• *La délimitation : elle permet de définir les frontières, la "peau" des éléments. Chaque frontière susceptible d'intervenir dans un principe de composition reçoit une dénomination particulière ; parfois, cette dénomination ne s'adresse qu'à la partie apparente de cette frontière.*



Représentation schématique (en plan) des faces verticales d'un mur et d'un piédroit (la face en contact avec le mur ne possède pas de dénomination particulière).
L'axe du mur et l'axe de la baie (qui lui est perpendiculaire) sont indiqués sur ce schéma (l'axe vertical est bien entendu "de bout", perpendiculaire au plan du schéma).

• *Le positionnement relatif : il permet de préciser la position d'un élément ou d'un attribut d'un élément (axe ou plan virtuel), relativement à un autre élément ou à un de ses attributs. Le deuxième objet, le site, devient alors le* référentiel architectural *qui permet de préciser la position du premier par le biais de préposition de localisation. Cette localisation se fait principalement d'une manière qualitative par le biais de relations topologiques ou projectives.*

Exemples de relations : couronner[6]*, limiter par le bas, diminuer latéralement, être dans, être entre, diviser, encadrer, être au nu*[7]*, être sur le nu, être en renfoncement par rapport au nu, etc.*

Ces différentes caractéristiques, et les notions qui les accompagnent, dépassent le cadre d'une topologie ou d'une géométrie classiques. Afin de les étudier et de préciser les mécanismes de raisonnement spatial qui leur sont associés, nous nous inspirons des représentations "alternatives" de l'espace proposées dans les travaux relevant principalement du domaine de l'intelligence artificielle, et visant à définir des principes de calcul et de raisonnement sur ces représentations particulières.

---

[6] "Former le faîte horizontal ou le sommet pyramidé d'une élévation ou d'une partie d'élévation".

[7] "Se dit d'une partie d'élévation comprise dans le même plan qu'une autre partie".

III. SEMANTIQUE FORMELLE DU VOCABULAIRE DE L'ARCHITECTURE

III.A. Premier principe : trois types d'objets

L'analyse du vocabulaire de l'architecture et de travaux relatifs au raisonnement spatial nous amène à différencier, dans notre étude, trois types d'objets[8] *: l'*élément d'architecture, *son* référent spatial, *et sa* représentation géométrique. *Nous précisons ici les deux premiers types d'objets (le troisième type d'objet étant bien connu des études relevant de la CAO et de la modélisation géométrique).*

*L'*élément d'architecture *appartient avant tout au domaine de la représentation mentale : c'est un objet cognitif, un objet pour penser et concevoir un projet d'architecture, ou pour décrire une réalisation construite. Sa caractéristique essentielle est de pouvoir être nommé dans le discours, être désigné par un terme spécifique auquel est associé un ensemble de caractéristiques fonctionnelles et géométriques (rôles, disposition, proportion, morphologie...). Le vocabulaire de l'architecture découpe le construit (projeté ou réalisé) et l'organise selon une structure signifiante qui ne peut être réduite à sa manifestation matérielle et géométrique. Et le découpage effectué n'est pas unique ou figé, il dépend d'un niveau d'interprétation.*

Le référent spatial *d'un élément d'architecture est un objet "qualitatif" (Freksa C. 1991), (Hernández D. 1994). Il résulte des caractéristiques proprement spatiales (topologiques et géométriques) de l'élément d'architecture, et ses caractéristiques ne précisent que les "distinctions nécessaires" à la classification correcte de l'élément. La description géométrique des éléments repose avant tout sur des traits différentiels et non sur des critères absolus ou quantitatifs.*

III.B. Le raisonnement sur les référents spatiaux

III.B.1. Une adaptation de la méréotopologie

Afin de proposer un modèle de raisonnement sur les référents spatiaux, nous proposons une adaptation de la méréotopologie. En regard des hypothèses sous-tendant généralement les travaux

---

[8] *Cette liste de trois types d'objets n'est évidemment pas exhaustive, d'autres types d'objets sont manipulés durant le processus de conception en architecture (Léglise M. 1997).*

portant sur la méréotopologie (Varzi A. C. 1993), (Asher N. et Vieu L. 1995), (Vieu L. 1997) ou le calcul des individus (Leonard H. et Goodman N. 1940), (Clarke B. L. 1981), (Randell D. A., Cui Z. et al. 1992), nous sommes confrontés à un ensemble de contraintes bien particulier :

- *Un nombre fini d'individus identifiés et décrits : nous ne ferons pas l'hypothèse de l'existence d'individus autres que ceux introduits explicitement dans nos définitions (notre espace n'est pas* a priori *peuplé d'objets).*

- *Une notion de frontière totalement légitime : la notion de frontière des objets est particulièrement importante en architecture : les objets sont perçus par leurs frontières apparentes, et celles-ci jouent un rôle majeur dans la conception. Notre théorie "fera donc une place explicite" à la notion de frontière (et ceci, évidemment, en prenant garde d'éviter les différentes incohérences que cette "place explicite" génère dans d'autres théories, comme le soulignent (Vieu L. 1991) et (Biacino L. et Gerla G. 1991).*

- *Une notion de partage de frontières différente de celle de partage de parties : certains éléments partagent une frontière sans pour autant partager de partie. C'est le cas, par exemple, des référents spatiaux de l'embrasure et du piédroit (le piédroit délimite l'embrasure, mais l'un, le piédroit, est associé à un objet matériel, et l'autre, l'embrasure, à un volume vide). Il s'agit sans doute d'une des notions les plus importantes (et les plus contraignantes) de notre théorie : elle permet de traiter les relations entre les objets et l'espace résiduel (et cet espace résiduel est primordial pour l'architecte qui décrit des objets en même temps qu'il conçoit un espace...) sans pour autant provoquer les incohérences liées au recouvrement d'objets matériels et immatériels. De plus, ces deux notions sont différentes de la notion de contact où deux objets sont simplement juxtaposés sans partager ni partie, ni frontière (ce qui n'est pas le cas dans les théories "classiques" de la méréotopologie) (Varzi A. C. 1995).*

Partant de cet ensemble de contraintes, notre théorie repose sur deux primitives indépendantes *: P (la relation classique de la méréologie, P(x, y) : x est une partie de y) et F (la relation de frontière, F(x, y) : x est une frontière de y). Une axiomatique permet de décrire les qualités requises pour ces deux primitives (P est un ordre partiel extensionnel, toute frontière est sa propre frontière), et*

définir les relations classiques de la méréotopologie[9]*. Pour respecter notre troisième contrainte, la qualité de* frontière *d'un objet n'implique pas celle de* partie *de ce même objet.*
L'axiomatique concernant ces deux primitives est donnée dans l'annexe 1.

III.B.2. Une géométrie projective

Les axiomes concernant la géométrie projective s'intéressent à l'orientation et au positionnement relatif des objets. Ils reposent principalement sur trois primitives qui décrivent trois types de relations entre objets : la partie géométrique, la délimitation géométrique et la frontière géométrique. On retrouve les notions de parties et de frontières mais associées ici à un mécanisme d'orientation qui permet de préciser le positionnement relatif des objets. Intuitivement, il s'agit de représenter les trois possibilités de définition de l'extension d'un volume dans une direction donnée. Ces trois possibilités, qui sont mises en œuvre par les relations du "Vocabulaire de l'architecture", sont (nous illustrons ces possibilités par des schémas où le volume dont on définit l'extension est cerné d'un trait épais, et l'autre volume, utilisé à cet effet, est représenté en grisé, cerné par un trait discontinu, sauf dans le dernier schéma où il s'agit d'une frontière) :

• *La* partie géométrique *: il s'agit d'un individu "interne" et situé à une extrémité du volume) :*

fig 7. La partie géométrique (c'est l'individu en grisé et limité par des pointillés)

• *La* délimitation géométrique *: la définition de l'extension du volume dans une direction donnée se fait par un individu "externe" (dans un rapport mutuel du type "je commence où tu*

[9] *Il s'agit des relations topologiques pouvant intervenir entre deux objets dans l'espace. Il a été démontré (Goulette J. P. 1997) que les relations définies respectent la structure de treillis des relations RCC (Randell D. A., Cui Z. et Cohn A. G. 1992), et que nous disposons donc d'un ensemble complet de relations mutuellement exclusives (deux objets dans l'espace sont obligatoirement en relation par une et une seule de ces relations).*

t'arrêtes"). Dans ce cas les deux volumes peuvent partager une frontière ou être simplement en contact[10] *:*

fig 8. La délimitation géométrique (idem)

• *La* frontière géométrique *: la définition de l'extension du volume dans une direction donnée se fait par une de ses frontières (qui peut être une partie du volume ou non) :*

fig 9. La frontière géométrique

Un ensemble d'axiomes permet de relier ces trois relations aux relations de la méréotopologie : une partie géométrique possède les qualités d'une partie propre topologique, une frontière géométrique est une frontière topologique, ...
L'axiomatique concernant ces relations est donnée dans l'annexe 2.

III.C. Le raisonnement sur les éléments d'architecture

III.C.1. Les relations méronomiques[11]

Les relations méronomiques permettent de préciser les différents types de relations partie-tout pouvant exister entre éléments d'architecture. En nous inspirant de travaux de méronomie formelle

---

[10] *Nous rappelons ici que, contrairement à d'autres propositions, notre théorie permet de faire une claire distinction entre le partage de frontière (la "connexion externe") et le contact. Cette distinction est importante en architecture : il s'agit en effet de distinguer la simple relation de contact entre deux objets matériels, de la relation existant entre un espace immatériel (l'intérieur d'une pièce, par exemple) et les objets matériels qui le délimitent (les murs, dans l'exemple). Dans ce dernier cas, la relation est "plus forte" qu'un simple contact, il y a partage de frontière (mais non partage de partie, un objet étant immatériel, l'autre matériel ; le contact, le partage de frontière et le partage de partie sont trois relations différentes dans notre théorie).*

[11] *La méronomie s'intéresse aux différentes types de relations reliant une partie à un tout (du grec meros : parties).*

(Aurnague M. et Vieu L. 1993), (Simmons G. 1994), nous définissons quatre types de relations partie-tout qui sont mises en œuvre dans le "Vocabulaire de l'architecture" : Morceau-Tout, Composant-Assemblage, Membre-Collection, SousCollection-Collection. *Nous ne détaillerons pas ici la définition de ces relations (qui reprend et adapte certains résultats bien établis de méronomie formelle). Nous nous permettons simplement de préciser que, si les relations concernant les "morceaux" ou les "collections" s'intéressent principalement à des notions d'ordre topologique ou ensembliste, la relation de "composant", en faisant intervenir le* rôle *du composant par rapport à l'assemblage, introduit une* composante fonctionnelle *("à quoi sert cet objet ?") sur les éléments.*

III.C.2. Les relations spatiales

Les relations spatiales entre éléments d'architecture viennent préciser les relations méréotopologiques et de géométrie projective entre leurs référents spatiaux. Nous nous intéressons ici à quatre de ces relations (les autres relations utilisées dans le vocabulaire de l'architecture peuvent être partiellement construites sur la base de ces quatre relations, elles-mêmes construites sur les relations précédemment définies sur les référents spatiaux) :

• Limiter *: "Le couvrement limite la baie par le haut".*
Les référents spatiaux des deux éléments d'architecture sont en relation de partie géométrique.

• Face *: "Le tableau est une face latérale de piédroit".*
Les éléments d'architecture sont en relation "Limiter", et leurs référents spatiaux sont en relation de frontière.

• Diminuer *: "Le tympan diminue l'ouverture par le haut".*
Les référents spatiaux des deux éléments d'architecture sont en relation de délimitation géométrique.

• Délimiter *: "Le tableau délimite latéralement l'ouverture".*
Les éléments d'architecture sont en relation "Diminuer", et leurs référents spatiaux sont en relation de frontière.

III.C.3. Les relations de composition

Les relations définies permettent de décrire une succession de baies*, comme un ensemble de baies jumelées où chaque baie possède un piédroit qui partage son référent spatial avec la baie suivante : par exemple, la serlienne (voir schéma plus haut) est une succession*

de trois baies où la baie centrale partage les référents spatiaux de ses piédroits avec les baies latérales (pour les trois baies composant la serlienne, il y a, au niveau d'interprétation Neutre, six piédroits, et uniquement quatre référents spatiaux de piédroits).

Un axiome permet de préciser qu'une succession de baies est elle-même une baie au niveau d'interprétation Composition*, et de poser un ensemble de contraintes concernant les aspects matériels et les référents spatiaux : un changement de niveau d'interprétation ne crée ni matière, ni référent spatial ; il y a* émergence d'un élément d'architecture *(une baie composée) qui doit "emprunter" sa matière et son référent spatial à la succession de baies. En particulier, cet axiome ne précise pas la requalification des piédroits de la succession de baies en piédroits ou en piliers (éléments de remplage) de la baie composée : ce sera le calcul sur les différentes organisations (méronomique, spatiale et compositionnelle) des éléments qui viendra* inférer *cette requalification.*

III.C.4. Les éléments d'architecture

Les éléments d'architecture sont décrits sur la base des relations précédemment définies (méronomiques, spatiales et compositionnelles). À titre d'illustration, nous donnons trois de ces définitions :

Structure(x, b, n) º$_{def}$ Collection(x) Ù PBaie(b, n) Ù

" y [MC(y, x) Û Elt-structure(y, b, n)]

La structure est la collection des éléments de structure d'une baie (chaque élément de structure est membre de cette collection, et réciproquement)

Piédroit(x, b, n) º$_{def}$ Elt-structure(x, b, n) Ù Limiter-latéralement(x, b) Ù

" c [Couvrement(c, b, n) Þ Porter(x, c)]

Le piédroit est un élément de structure d'une baie qui limite latéralement la baie, et qui porte le couvrement

Serlienne(x, y, z, m, Neutre) º$_{def}$ Triplet(x, y, z, m, Neutre) Ù

$ a, c, d, s, t [Arc(a, y, Neutre) Ù Couvrement(c, x, Neutre) Ù Couvrement(d, z, Neutre) Ù Soffite(s, c, Neutre) Ù Soffite (t, d, Neutre)]

La serlienne est un triplet (lui-même défini comme une succession de baies) dont la baie centrale est couverte d'un arc et les deux baies latérales ont un couvrement présentant un soffite

III.D. Un modèle formel de raisonnement spatial qualitatif

Nous ne détaillerons pas ici les différents calculs utilisés pour construire, par application des mécanismes classiques de la logique des prédicats sur l'axiomatique précédemment décrite, les organisations spatiales, méronomiques et compositionnelles des éléments d'architecture constituant la baie et ses modèles de composition. Les résultats obtenus sont conformes aux raisonnements mis en œuvre dans les références empiriques que constituent les descriptions textuelles des éléments d'architecture. En particulier :

- *la disposition relative des référents spatiaux est spécifiée à travers la "sommation" des différentes relations spatiales, méronomiques et compositionnelles entre éléments d'architecture ;*
- *l'axiomatique relative à la composition des baies permet de modéliser les mécanismes de changement d'interprétation mis en œuvre (par le "Vocabulaire de l'architecture") dans l'interprétation de la composition des baies : la serlienne est "calculée" au niveau Composition comme une baie possédant deux éléments de remplage en place des deux piédroits de la baie centrale composante.*

Les inférences développées au cours du calcul des différentes organisations des éléments illustrent, et explicitent sur le plan formel, un modèle général de raisonnement spatial qualitatif *où il ne s'agit plus de raisonner uniquement sur des aspects géométriques, mais qui conjugue et fusionne trois types de raisonnements particuliers s'intéressant :*

- *aux aspects relevant de la topologie et de la géométrie projective ("Quelle est la disposition relative des frontières des objets ?") ;*
- *aux relations méronomiques ("Quelle est l'organisation fonctionnelle des éléments ?") ;*
- *à la notion de niveau d'interprétation ("Quel est le point de vue adopté ?").*

Ce modèle est implémenté dans une maquette logicielle associant un langage de programmation en logique, un modeleur tridimensionnel et des fonctionnalités d'édition graphique bidimensionnelle. Les maquettes géométriques obtenues par regroupement des informations contenues dans la base de connaissances (spécifiant l'organisation spatiale qualitative des éléments) et celles contenues dans les schématisations graphiques bidimensionnelles (précisant certaines valeurs numériques quantitatives) peuvent être découpées *selon les termes du "Vocabulaire de l'architecture" et* organisées *selon des niveaux d'interprétation : nous disposons alors d'un prototype de logiciel de CAO où les découpages et les organisations volumiques du modèle géométrique* font sens *dans les modes de raisonnement de l'architecte.*
Un exemple de fonctionnement de la maquette, et du raisonnement spatial associé, est donné dans l'annexe 3.

IV. CONCLUSION

Le processus de conception (en architecture, mais aussi dans la conception d'autres types d'artefacts) semble pouvoir constituer, comme le précisait déjà il y a quelques années H. Simon (Simon H. 1969), un sujet d'étude particulièrement riche pour les sciences cognitives. Si la contribution que nous proposons n'aborde qu'un aspect partiel de ce vaste problème, elle lève tout de même une partie du voile sur certains modes de raisonnement utilisés dans la composition d'objets dans l'espace, et sur le type de représentations mentales associées. En effet, le modèle de raisonnement spatial qualitatif que nous représentons dans notre théorie formelle répond aux attentes de l'analyse des descriptions textuelles d'éléments d'architecture. Il ne s'agit pas pour autant d'affirmer que l'étude des expressions langagières de connaissances architecturales suffit à expliciter totalement et précisément les représentations et les processus mentaux des concepteurs. La langue n'est pas une "boite de verre"... Mais elle constitue un outil privilégié d'investigation des connaissances (Talmy L. 1983), (Borillo M. 1991), et, dans notre cas, son étude permet d'identifier certains des processus cognitifs mis en œuvre dans la description et la définition de compositions spatiales. Les principes et les mécanismes déductifs définis dans nos calculs possèdent tout au moins une qualité importante : l'adéquation au vocabulaire du concepteur.

ANNEXES

Annexe 1 : l'axiomatique concernant la méréotopologie

P(x, y) : le volume x est une partie du volume y

Définitions :

Le recouvrement :

O(x, y) º$_{def}$ $ z [P(z, x) Ù P(z, y)]

x recouvre y : ils ont une partie commune

L'égalité :

EQ(x, y) º$_{def}$ P(x, y) Ù P(y, x)

x est égale à y : x est une partie de y et y est une partie de x

Axiome reliant P et O (et imposant les contraintes nécessaires sur P) :

" x, y [P(x, y) Û " z [O(z, x) Þ O(z, y)]]

x est une partie de y si et seulement si tout ce qui recouvre x recouvre y

Ceci permet de démontrer, entres autres, la réflexivité, la transitivité et l'extensionalité (deux volumes sont égaux si et seulement si toute partie de l'un est partie de l'autre) de P.

F(x, y) : x est en relation de frontière avec y

Les deux définitions suivantes nous permettent de préciser la notion de "morceau" de volume :

pf(x) º$_{def}$ $ y F(x, y)

x est une frontière : il existe un individu y avec lequel x est en relation de frontière

pm(x) º$_{def}$ pf(x) Ú $ y [F(y, x) Ù ¬ P(y, x)]

x est un morceau de volume : x est une frontière, ou x a (au moins) une frontière qui n'est pas une de ses parties

L'axiome caractérisant une frontière :

" x [pf(x) Þ F(x, x)]
Une frontière est en relation de frontière avec elle-même

Ceci permet de définir les relations "classiques" des théories de la méréotopologie :

C(x, y) º$_{def}$ O(x, y) Ú $ z [F(z, x) Ù F(z, y)]
x est connecté à y : x et y ont une partie ou une frontière commune

EC(x, y) º$_{def}$ C(x, y) Ù ¬ O(x, y)
x est extérieurement connecté à y : x et y sont connectés mais ne se recouvrent pas

DC(x, y) º$_{def}$ ¬ C(x, y)
x n'est pas connecté à y

PP(x, y) º$_{def}$ P(x, y) Ù ¬ P(y, x)
x est une partie propre de y

PO(x, y) º$_{def}$ O(x, y) Ù ¬ P(x, y) Ù ¬ P(y, x)
x recouvre partiellement y

DR(x, y) º$_{def}$ ¬ O(x, y)
x est disjoint de y

TPP(x, y) º$_{def}$ PP(x, y) Ù $ z [P(z, x) Ù F(z, y)]
x est une partie propre tangentielle de y : x est une partie propre de y, et il existe une partie de x qui est en relation de frontière avec y

NTPP(x, y) º$_{def}$ PP(x, y) Ù ¬ $ z [P(z, x) Ù F(z, y]
x est une partie propre non tangentielle de y : x est une partie propre de y, et il n'existe pas de partie de x qui soit en relation de frontière avec y

et de démontrer que ces relations respectent une structure de treillis et constituent un ensemble complet de relations mutuellement exclusives.

Annexe 2 : axiomatique concernant les relations de géométrie projective

La position d'un volume par rapport à un autre se fait d'une manière qualitative selon trois possibilités : le volume est avant, à peu près à la même position ou après l'autre volume par rapport à un axe, selon un repère :

Position(x, y, pos, ax, rep) : x est à la position pos *par rapport à y sur l'axe* ax *dans le repère* rep*, avec :*
pos Î {-, ±, +}
ax Î {vertical, frontal, latéral}
rep Î {absolu, déictique}

Axiomes :

" x, y, p, a, r [Position(x, y, p, a, r) Û Position(y, x, Inv-Pos(p), a, r)]
Si x est à la position p par rapport à y sur un axe et un repère, alors y est à la position Inv-Pos(p) par rapport à x sur le même axe et dans le même repère

" x, a, r Position(x, x, ±, a, r)
Tout volume est à la même position que lui-même

" x, y, z, p, a, r [(Position(x, y, p, a, r) Ù Position(y, z, p, a, r)) Þ Position(x, z, p, a, r)]
"Transitivité" de la relation Position

" x, y, z, p, a, r [(Position(x, y, p, a, r) Ù Position(y, z, ±, a, r)) Þ Position(x, z, p, a, r)]
"Neutralité" de la position ±

" x, y, p, a, r [(Position(x, y, p, a, r) Ù (p = - Ú p = +)) Þ
" z [P(z, x) Þ Position(z, y, p, a, r)]]
La position "avant" ou "après" sur un axe et dans un repère peut être "distribuée" aux parties du volume

La partie géométrique :
Pg(x, y, pos, ax, rep) : x est la partie géométrique située à la position pos *de y sur l'axe* ax *dans le repère* rep*, avec :*
pos Î {-, +}

ax Î {vertical, frontal, latéral}
rep Î {absolu, déictique}

Axiomes :

" x, y, p, a, r [Pg(x, y, p, a, r) Þ PP(x, y)]
Une partie géométrique est une partie propre topologique

" x, y, z, p, a, r [(Pg(x, z, p, a, r) Ù Pg(y, z, Inv-Pos(p), a, r)) Þ Position(x, y, p, a, r)]
Une partie géométrique située à la position p et à l'opposé, sur le même axe et dans le même repère, d'une deuxième partie géométrique d'un même volume, est à la position p par rapport à cette deuxième partie (par exemple, la "partie gauche" est "à gauche" de la "partie droite")

La délimitation géométrique :
Dlmg(x, y, pos, ax, rep) : x délimite y à la position pos*, sur l'axe* ax *dans le repère* rep*, avec :*
pos Î {-, +}
ax Î {vertical, frontal, latéral}
rep Î {absolu, déictique}

Axiomes :

" x, y, p, a, r [Dlmg(x, y, p, a, r) Þ DR(x, y)]
Si x délimite géométriquement y, alors x et y sont disjoints (d'où, par TR2, x et y sont soit extérieurement connectés, soit non connectés)

" x, y, p, a, r [Dlmg(x, y, p, a, r) Þ Position(x, y, p, a, r)]

La frontière géométrique :
Fg(x, y, pos, ax, rep) : x est la frontière de y à la position pos*, sur l'axe* ax *et dans le repère* rep*, avec :*
pos Î {-, +}
ax Î {vertical, frontal, latéral}
rep Î {absolu, déictique}

Axiomes :

" x, y, p, a, r [Fg(x, y, p, a, r) Þ F(x, y)]
Une frontière géométrique est une frontière topologique

" x, p, a, r [$ y Fg(x, y, p, a, r) Þ Fg(x, x, p, a, r)]

Une frontière géométrique est sa propre frontière géométrique

" x, y, z, p, a, r [(Fg(x, z, p, a, r) Ù Fg(y, z, Inv-Pos(p), a, r) Ù ¬ EQ(x, y)) Þ
Position(x, y, p, a, r)]
Une frontière géométrique située à la position p et à l'opposé, sur le même axe et dans le même repère, d'une deuxième frontière géométrique d'un même volume, est à la position p par rapport à cette deuxième frontière (par exemple, la "frontière gauche" est "à gauche" de la "frontière droite"; une frontière étant sa propre frontière, par AFgFg, on évite le cas EQ(x, y))

" x, y, p, a, r [(pf(x) Ù (Pg(x, y, p, a, r) Ú Dlmg(x, y, p, a, r))) Þ
Fg(x, y, p, a, r)]
Si x est une frontière topologique et x est une partie géométrique ou une délimitation géométrique de y, alors x est une frontière géométrique de y

" x, y, z, p, a, r [(pf(x) Ù Pg(x, y, p, a, r) Ù Dlmg(x, z, Inv-pos(p), a, r))
Þ Dlmg(y, z, Inv-pos(p), a, r)]
Si x est une frontière topologique et x est une partie géométrique de y dans une direction donnée et x est une délimitation géométrique de z dans la direction opposée, alors y est une délimitation de z dans cette direction opposée

" x, y, z, p, a, r [(Pg(x, y, p, a, r) Ù Fg(z, x, p, a, r)) Þ Fg(z, y, p, a, r)]
Si x est la partie "p" de y et z est la frontière "p" de x, alors z est la frontière "p" de y (la frontière gauche de la partie gauche est frontière gauche du tout)

Annexe 3 : un exemple de fonctionnement de la maquette logicielle

La maquette logicielle est composée de trois parties : un éditeur graphique 2D permettant le dessin en plan et en coupe (selon la technique habituelle des architectes), une base de connaissance et un modeleur tridimensionnel.

Les règles concernant la composition et mises en œuvre dans l'exemple sont (les règles concernant les méronomies, les relations spatiales "architecturales" - limiter, délimiter, diminuer, couvrir,

couronner, porter, diviser, au nu, ...-, et les éléments d'architecture ne sont pas décrites ici, mais sont définies sur la base des axiomatiques présentées en annexe 1 et 2) :

BC(x, y) º$_{def}$ $ m [Baie(x, m, Neutre) Ù Baie(y, m, Composition)] Ù P(x, y*)*
x est une baie composant la baie y : x est une baie au niveau Neutre et y une baie au niveau Composition, les deux baies sont inscrites dans le même mur (m), et le volume de x est intégralement inclus dans le volume de y

Baies-groupées(x, y, m, n) º$_{def}$ Baie(x, m, n) Ù Baie(y, m, n) Ù
" p, q [(Piédroit(p, x, n) Ù Piédroit(q, y, n)) Þ Même-pos-verticale(p, q*)]*
" a, b [(Assise(a, x, n) Ù Assise(b, y, n)) Þ Même-pos-verticale(a, b*)]*
" p, q [(Piédroit(p, x, n) Ù Limiter-par-la-droite(p, x) Ù
Piédroit(q, y, n) Ù Limiter-par-la-gauche(q, y)) Þ EQ(p, q*)]*
Deux baies groupées sont des baies pour le même niveau d'interprétation, leurs piédroits sont à la même position verticale, ainsi que leurs assises (il n'est pas fait d'hypothèse sur leurs couvrements qui peuvent être différents), et le piédroit qui limite par la droite la baie de gauche a le même référent spatial que le piédroit qui limite par la gauche la baie de droite

Succession-baies((b$_1$, .., b$_n$), m, n) º$_{def}$
" i Î [1, n-1] Baies-groupées(b$_i$, b$_{i+1}$, m, n)
Une succession de baies est un ensemble de baies groupées

L'axiome suivant nous permet de former une baie composée à partir d'une succession de baies :

" b$_1$, .., b$_n$, m, p$_1$, .., p$_{n+1}$, c$_1$, .., c$_n$, e$_1$, .., e$_n$, a$_1$, .., a$_n$
[(Succession-baies((b$_1$, .., b$_n$), m, Neutre) Ù
Piédroit(p$_1$, b$_1$, Neutre) Ù Limiter-par-la-gauche(p$_1$, b$_1$) Ù
" i Î [1, n] [Piédroit(p$_{i+1}$, b$_i$, Neutre) Ù Limiter-par-la-droite(p$_{i+1}$, b$_i$) Ù
Couvrement(c$_i$, b$_i$, Neutre) Ù Embrasure(e$_i$, b$_i$, Neutre) Ù
Assise(a$_i$, b$_i$, Neutre)] Ù

Þ
$ b, c, e, a, q_1, .., q_{n+1}
[Baie(b, m, Composition) Ù " i Î [1, n] BC(b_i, b) Ù
Couvrement(c, b, Composition) Ù EQ(c, fusion(c_1*, .., c_n*) Ù*
Embrasure(e, b, Composition) Ù P(fusion(e_1, .., e_n*, p_2*, .., p_n*), e*) Ù*
" i Î [1, n+1] [CA(q_i, b, Constructif) Ù EQ(q_i, p_i*) Ù MMatériau(q_i, p_i) Ù Porter(q_i, c)] Ù*
Limiter-par-la-gauche(q_1, b) Ù Limiter-par-la-droite(q_{n+1}, b) Ù
Assise(a, b, Composition) Ù P(fusion(a_1, .., a_n*), a*)]]*
b_1, .., b_n est une succession de baies au niveau Neutre,
p_1, .., p_{n+1} sont les piédroits des baies, p_1 est le piédroit le plus à gauche et p_{n+1} le piédroit le plus à droite,
c_1, .., c_n sont les couvrements des baies,
e_1, .., e_n sont les embrasures des baies
on peut en déduire,
il existe, au niveau Composition, une baie composée de ces baies et comprenant :
un couvrement (fusion volumique des couvrements des baies),
une embrasure (qui contient la fusion volumique des embrasures des baies et des piédroits des baies situés entre deux baies),
des éléments d'architecture dont les référents spatiaux et les matériaux sont identiques à ceux des piédroits des baies, qui sont composants constructifs de la baie et qui portent le couvrement,
la baie composée est limitée latéralement par les deux éléments dont les référents spatiaux sont identiques à ceux (respectivement) du piédroit le plus à gauche et du piédroit le plus à droite,
une assise (qui contient la fusion volumique des assises des baies)

Dans l'éditeur graphique 2D, l'utilisateur dessine des figures en plan et en coupe. Il peut ensuite demander la création d'éléments d'architecture en indiquant sur son dessin les figures correspondant aux projections (en plan et en coupe) de cet élément. Dans notre exemple, l'utilisateur a dessiné les projections de trois piédroits et de deux couvrements, il procède ensuite à la création de deux baies (l'une après l'autre) en désignant les projections de leurs piédroits et couvrements : la particularité est ici que la deuxième baie "partage" un piédroit avec la première (le piédroit de droite de la baie de gauche est identique au piédroit de gauche de la baie de

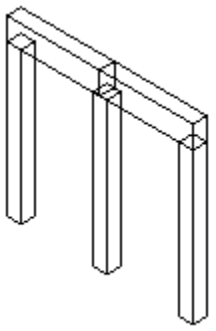
droite, voir l'illustration ci-dessous). En s'appuyant sur les règles contenues dans la base de connaissances, la maquette procède alors à la création des éléments d'architecture constitutifs de ces deux baies, et à la génération, dans le modeleur tridimensionnel, de leurs modèles géométriques :

Le modèle géométrique des deux baies
(par défaut, et pour les besoins de l'exercice, la maquette est initialisée avec un "plancher" et un "mur" représentés ici schématiquement).

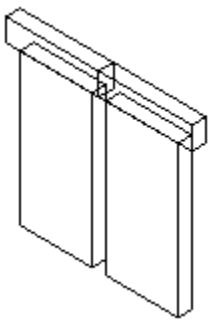
Les éléments d'architecture constitutifs de ces deux baies (et dont la plupart ont été crées à partir des données de la base de connaissances) sont alors disponibles dans un menu d'éléments :

Le menu des éléments au niveau d'interprétation Neutre

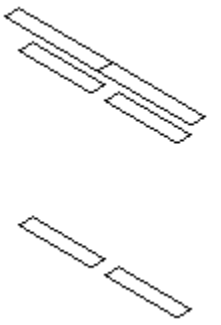
Ces éléments sont associés, dans le modeleur géométrique, à une décomposition du volume global élaborée selon leurs caractéristiques topologiques et géométriques. Cette décomposition ne se fait pas en "primitives géométriques", mais en entités spatiales signifiantes dans le vocabulaire de l'architecture :



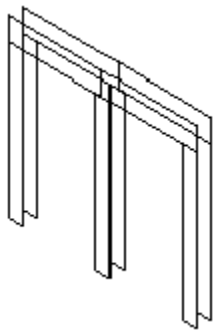
Les deux structures



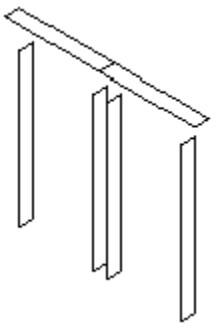
Les embrasures et couvrements



Les assises, soffites et arasements



Les jambages et fronts



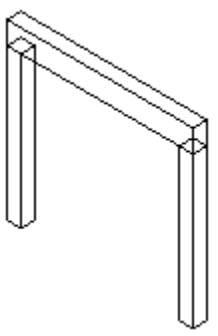
Les tableaux et arasements

etc.

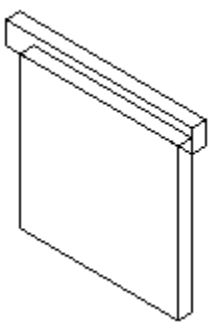
De plus, comme ces deux baies respectent un schéma de composition (elles “partagent” un piédroit), une troisième baie (et ses éléments constitutifs) est crée automatiquement : elle correspond à la baie composée par ces deux baies et peut être consultée au niveau d’interprétation Composition :

Le menu des éléments au niveau d’interprétation Composition

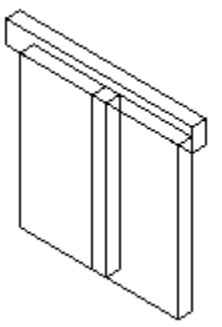
Aux éléments constitutifs de cette baie composée est associée une autre décomposition spatiale de la volumétrie globale :



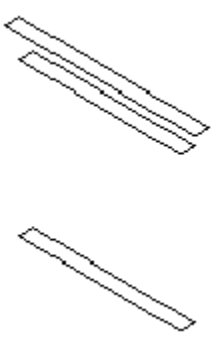
La structure



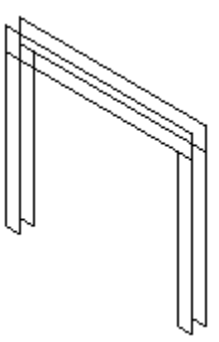
L'embrasure et le couvrement



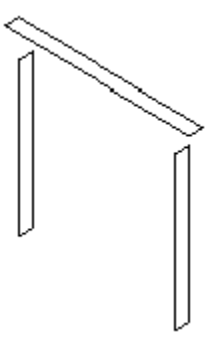
L'embrasure, le couvrement et le remplage



L'assise, le soffite et l'arasement



Les jambages et les fronts



Les tableaux et l'arasement

Ainsi, l'identification des éléments et les découpages volumiques qui sont effectués dans la maquette logicielle correspondent au "découpage spatial" auquel procède le vocabulaire de l'architecture dans une totalité construite (ou conçue). Ils s'accordent de plus avec les points de vue différents qui peuvent être adoptés dans l'interprétation d'une composition.

Références

Asher, N. et Vieu, L. (1995) «Toward a geometry of common sense: a semantics and a complete axiomatisation of mereotopology», in Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence, *Montréal, août 1995, pp. 846-852.*

Asimow, W. (1962) Introduction to Design, *Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.*

Aurnague, M. et Vieu, L. (1993) «Toward a formal representation of space in language : a commonsense reasoning approach», in Workshop Spatial and temporal reasonning, *International Joint Conference on*

Artificial Intelligence, édité par F. Anger, H. W. Guesgen et J. van Benthem, Chambéry, France, pp. 123-158.

Biacino, L. et Gerla, G. (1991) «Connection structure», Notre Dame Journal of Formal Logique.

Bijl, A. (1985) «Designing with words an pictures in a logic modelling environment», in Computer-Aided Architectural Design Futures, Proceedings of the International Conference on Computer-Aided Architectural Design, Technical University of Delft *édité par A. Pipes, Butterworths Publisher, London, pp. 126-145.*

Borillo, M. (1991) «Sémantique de l'espace et raisonnement spatial», in Proceedings of ICCS'91*, San-Sebastian.*

Boudon, P. (1971) Sur l'espace architectural. Essai d'epistémologie de l'architecture, *Ed. Dunod, Paris.*

Broadbent, G. (1973) Design in architecture. Architecture and the human science, *Ed. John Wiley and sons, London.*

Chermayeff, S. et Alexander, C. (1963) Community and Privacy - Towards a New Architecture of Humanism*, New York.*

Clarke, B. L. (1981) «A calculus of individuals based on connection», Notre Dame Journal of Formal Logic*, vol. 22, n° 3.*

Conan, M. (1990) Concevoir un projet d'architecture, *Ed. L'Harmattan.*

Coyne, R. D., Rosenman, M. A., Radford, A. D., Balachandran, M. et Gero, J. S. (1990) Knowledge-based design systems, *Ed. Addison-Wesley Publishing Compagny.*

Freksa, C. (1991) «Qualitative spatial reasoning», in Cognitive and linguistic aspects of geographic space, *édité par D. M. Mark et A. U. Frank, NATO Advanced Studies Institute, Kluwer, Dordrecht, pp. 361-372.*

Goulette, J. P. (1997) Représentation des connaissances spatiales pour la conception architecturale. Contribution au raisonnement qualitatif, *Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.*

Hamel, R. (1994) «A model of the architectural design process, and some implications», in Automation Based Creative Design, *édité par A. Tzonis et I. White, Elsevier Science B.V., pp. 333-347.*

Hernández, D. (1994) Qualitative representation of spatial knowledge, *Ed. Springer-Verlag, Lectures Notes in Artificial Intelligence n° 804.*

Jones, J. C. (1980) Design methods, seeds of human futures, *Ed. John Wiley & Sons, New York.*

Léglise, M. (1995) «Art under constraint. Preserving the creative dimension in computer-aided architectural design», Languages of design*, vol. 3, n° 1, ed. Elsevier Science B.V., pp. 55-72.*

Léglise, M. (1997) «Des objets architecturaux aux objets de la conception architecturale» in Proceedings of O1Design'97, 5° table ronde sur la

conception : les objets en conception, *Thèoule sur mer, 24-26 septembre 1997.*

Leonard, H. et Goodman, N. (1940) «The calculus of individuals and its uses». The journal of symbolic logic, *vol. 5, n° 2.*

Mitchell, W. J. (1994) «Artifact grammars and architectural invention», in Automation based Creative Design, *édité par A. Tzonis et I. White, Elsevier Science B.V., pp. 139-159.*

Oxman, R. et Oxman, R. (1994) «Remembrance of things past: design precedents in libraries», in Automation based Creative Design, *édité par A. Tzonis et I. White, Elsevier Science B.V., pp. 333-347.*

Pérouse de Montclos, J. M. (1972) Vocabulaire de l'architecture, *Ed. Imprimerie Nationale, Paris.*

Quintrand, P., Autran, J., Florenzano, M., Fregier, M. et Zoller, J. (1985) La CAO en architecture, *Ed. Hermes, Paris.*

Randell, D. A., Cui, Z. et Cohn, A. G. (1992) «A spatial logic based on regions and connection» in Proceedings of KR'92, knowledge representation and reasonning, *Los Altos, Morgan Kaufmann, pp. 394-398.*

Schmitt, G. (1994) «Case-Based Design and creativity», in Automation Based Creative Design, *édité par A. Tzonis et I. White, Elsevier Science B.V., pp. 41-53.*

Simmons, G. (1994) «Shapes, part structures and objects concepts» in Workshop Parts and wholes, *11° European Conference on Artificial Intelligence, Amsterdam, 8-12 août 1994.*

Simon, H. (1969) The sciences of artificial. *Ed. MIT Press, Cambridge, Mass.*

Stiny, G. (1994) «The pedagogical grammar», in Automation Based Creative Design, *édité par A. Tzonis et I. White, Elsevier Science B.V., pp. 129-138.*

Talmy, L. (1983) «How language structures space», in Spatial orientation: theory research and application, *édité par H. L. Pick et L. P. Acredolo, Plenum Publishing Corporation, New-York.*

Varzi, A. C. (1993) On the boundary between mereology and topology, *Technical Report # 9308-04 Instituto per la Ricerca Scientifica e Tecnologica, Povo (Trento), Italy, août 1993.*

Varzi, A. C. (1995) «Boundary, continuity and contact» in Workshop Time, Space and Movement, *édité par P. Amsili, M. Borillo et L. Vieu, Toulouse, 23-27 juin 1995, pp. 79-100.*

Vieu, L. (1991) Sémantique des relations spatiales et inférences spatio-temporelles : une contribution à l'étude des structures formelles de l'espace en langage naturel, *Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.*

Vieu, L. (1997) «Spatial representation and reasoning in artificial intelligence», in Spatial and temporal reasoning, *édité par O. Stock, Kluwer, Dordrecht.*