



Didier Faucher
École d'architecture de Nantes
faucher@nantes.archi.fr

Marie-Laure Nivet
École d'architecture de Nantes
nivet@cerma.archi.fr

Playing with Design Intents: Integrating Physical and Urban Constraints in CAD

Our work deals with the exploration of a universe of forms that satisfy some design intents. That is, we substitute a "generate and test" approach for a declarative approach in which an object is created from its properties. In this paper we present an original method that takes into account design intents relative to sunlight, visibility and urban regulation. First of all we study how current CAD tools have considered these properties until now. Our conclusion is that the classical design / simulation / analysis process does not suit design practices, especially in the early stages. We think that an improved CAD system should offer the architect the option of manipulating abstract information such as design intents.

We define an intent as a conceptual expression of constraints having an influence on the project. For instance, a visual intent will be stated with no reference to vision geometry: "from this place, I want to see the front of the new building". We show how to represent each of these constraints with a 3D volume associated to some characteristics. If some solutions exist, we are sure that they are included in these volumes. For physical phenomena we compute the volume geometry using the principles of inverse simulation. In the case of urban regulation we apply deduction rules.

Design intents are solved by means of geometrical entities that represent openings or obstructions in the project. Computing constraint volumes is a way of guiding the architect in his exploration of solutions. Constraint volumes are new spaces that can restore the link between form and phenomenon in a CAD tool. Our approach offers the designer the possibility of manipulating design intents.

Le jeu des intentions:

intégration de contraintes physiques et urbaines en CAO

Notre objectif est d'offrir à l'architecte les moyens d'explorer un espace de formes défini à partir d'intentions de conception. Parallèlement à l'approche du type générer/tester, nous proposons une approche déclarative dans laquelle l'objet est créé à partir de ces propriétés. Nous présentons dans cet article une méthode originale de prise en compte, dans un système de CAO, des intentions de conception relatives à l'ensoleillement, la visibilité et la réglementation urbaine. Dans un premier temps nous relatons de quelle manière ces propriétés sont prises en compte dans le processus de conception assistée par ordinateur. Les outils actuels imposent de construire une maquette numérique du projet avant de pouvoir en étudier les différentes caractéristiques. Le constat que nous pouvons dresser à la suite de cette étude est que le cycle modélisation d'une scène, simulation, analyse des résultats est mal adapté aux phases amont de la conception, lorsque le projet est encore mal défini. Il paraît souhaitable, dans un système de CAO, d'autoriser l'architecte à manipuler des informations d'un haut niveau d'abstraction : les intentions.

Nous définissons une intention comme l'expression, sous sa forme conceptuelle, d'une contrainte imposée ou non, influençant le projet. Par exemple, une intention visuelle sera exprimée sans avoir recours à la géométrie de la vision qui lui est sous-jacente : « de cette place je veux voir la façade du bâtiment projeté ». Nous montrons pour chacune des contraintes considérées qu'il est possible de représenter ses conditions de satisfaction sous la forme d'un volume en trois dimensions doté de certaines caractéristiques. Ces volumes géométriques représentent des sous-ensembles de l'espace portant les solutions, si elles existent. La géométrie d'un volume est obtenue en utilisant les principes de la simulation inverse en ce qui concerne les phénomènes physiques, et par l'application de règles de déduction pour les contraintes réglementaires. Le calcul de ces volumes nous permet de guider l'architecte dans son exploration des solutions, masques ou évidements, qui résolvent les intentions énoncées quelque soit leur type.

Ces nouveaux espaces de recherche que constituent les volumes de contraintes rétablissent, dans une certaine mesure, le lien entre forme et phénomène en situation d'utilisation de l'outil informatique. Notre approche offre au concepteur la possibilité de mener un véritable jeu d'intention, en lui permettant d'étudier différentes hypothèses de conception.

introduction

Our work deals with the exploration of a universe of forms that satisfy some design intents. That is, we substitute a "generate and test" approach for a declarative approach in which an object is created from its properties. This paper presents a hypothetical project dealing with the representation and the integration of physical and urban constraints in a design process. It is not concerned with the presentation of an operational system that can be integrated into a real design process.

During the early stages of architectural design, the designer must deal with various constraints. Some of these, (like urban regulation), take on an imperative character. Some others result only from design intents that follow the customer's requests or architect's desires. The visual impact of the project, its lighting qualities or its thermal and acoustical properties have to be considered. The choices made at this preliminary step will determine the global evaluation of the proposal. Analysis tools, which are required to grasp such qualitative factors, are not yet integrated into CAD systems. These latter only construct a geometric model that is used to simulate some phenomena or make realistic images. In fact these processes are only applied to validate or to invalidate some previous choices. These tools require a full description of the structure and so they cannot be used before the last stage of design. The project has to be well-defined and well-known to be tested. The designer follows a generate and test process: he thinks about his project, makes some simulations on it and he observes the results. If his intents are not reached, the designer has to repeat the whole process. This is not always possible because of fixed decisions.

Moreover, as shown by some observations, the way an architect works is modified by the use of a CAD system. In such a context he is often wrapped up in geometrical aspects instead of considering physical and realistic features which determine the ambience of his project. Thus, sketching with CAD tools does not permit to state the design problem and to explore more than one solution. Such systems are only drawing and visualization tools. For some years, we have seen various attempts to remedy this situation. Especially, it has been demonstrated that reverse simulation

methods lead to parameter values meeting lighting properties and visual constraints. By these means, the architect devotes his time to examining multiple hypothesis of design instead of searching how to satisfy one given property. To play with design intents it is necessary to solve some difficulties: on the one hand, how to take into account the multiplicity of solutions; on the other hand how to integrate several phenomena.

In this paper three kinds of properties will be considered: urban planning regulations, lighting properties, and visual constraints. We make a brief study of relative works in design context. We will show how to represent these properties by a 3D volume associated with some characteristics. Mechanisms to explore the set of solutions included in a constraint volume will be described. The solution space generated by the intersection of two or more constraint volumes will be outlined. All these points will be studied in view of the architectural design. The pedagogic advantage of our approach will be discussed. Finally we will conclude with a discussion about the benefit of such a representation in the design process.

physical and urban constraints in design

The architect has usually to adhere to a program that takes into account some features of the site, the budget allocated to the operation, as well as the wishes of the customer. The designer completes this document with his own considerations (aesthetic, functional...). The architect playing with this set of parameters must come up with a suitable compromise in the form of an architectural or urban shape. Some elements, such as the visibility or the urban regulation of the site, are part of the program, or sometimes predominant (MVRDV 1996). The building position with regard to public roads, or the will to provide a good quality of sunlight to the project will have some direct effects on the constructed shape. Many computer tools allow one to analyze projects from the point of view of different phenomena. We present a brief state of the art in the following paragraphs.

We consider exclusively numerical systems related to the three following aspects: sunlight, visibility and urban regulation. Though they bring a lot of elements to the reflection, we omitted the

introduction

Notre objectif est d'offrir à l'architecte les moyens d'explorer un espace de formes défini à partir d'intentions de conception. Parallèlement à l'approche du type générer/tester, nous proposons une approche déclarative dans laquelle l'objet est créé à partir de ces propriétés. Cet article présente un travail prospectif sur la représentation et l'intégration de contraintes physiques et urbaines en conception. Il ne s'agit en aucun cas de la présentation d'un système complètement abouti pouvant être intégré dans un processus de conception réel.

Durant la phase préliminaire d'un projet architectural, le concepteur est confronté à un ensemble de contraintes diverses. Celles-ci revêtent parfois un caractère incontournable (la réglementation du site). D'autres résultent de simples souhaits issus de la demande du client ou de la volonté de l'architecte/urbaniste. C'est pendant cette phase d'ébauche que sont envisagées, entre autres, l'intégration visuelle de l'ensemble, sa qualité d'ensoleillement, ou encore ses performances thermiques et acoustiques. Les options retenues lors de cette étape détermineront la valeur globale de l'opération.

Les outils de CAO n'intègrent pas les fonctions d'analyse nécessaires à l'appréhension des phénomènes évoqués. Par leur intermédiaire, l'architecte ne fait que modéliser la géométrie du projet, données nécessaires à la réalisation d'analyses et de rendus réalistes qui ne peuvent intervenir que pour valider ou invalider des choix déjà entérinés.

En effet, les outils classiques de simulation nécessitent une série de paramètres précis. Le projet doit être défini entièrement avant de pouvoir être testé. Le concepteur entre alors dans un processus d'essais/erreurs : il pense son projet, le soumet à l'analyse et observe les résultats. Si ceux-ci ne correspondent pas à ses attentes, le processus conception/simulation/analyse doit être réitéré. Ceci n'est pas toujours possible étant donné le caractère irréversible de certaines décisions.

L'observation d'architectes en situation d'utilisation d'un système de CAO a montré un

bouleversement des méthodes de conception. En effet, les facultés cognitives des architectes sont grandement absorbées par des détails géométriques au détriment des aspects physiques et réalistes déterminant en partie les ambiances du projet. Ainsi, le dessin, dans sa transposition sur l'écran d'un ordinateur, a perdu son rôle de mise en espace du problème, permettant à la fois le maniement des «certains» et des «probables». Il se trouve réduit à un moyen de visualisation et de présentation du projet. Alors qu'un système informatique pourrait être un outil formidable d'exploration d'un univers des possibles, il ne fait que cloisonner l'architecte dans des procédures d'utilisation rigides. Depuis quelques années déjà, de nombreux travaux s'attachent à offrir de nouvelles alternatives.

En particulier, il a été montré que l'utilisation de la simulation inverse permettait d'obtenir les conditions nécessaires à la réalisation de propriétés d'ensoleillement et de contraintes visuelles. Ayant par ce moyen permis au concepteur de réduire le temps passé à satisfaire une propriété donnée, nous souhaitons désormais lui offrir la possibilité de mener un véritable jeu d'intention, en lui permettant d'étudier différentes hypothèses de conception. Cet objectif soulève de nouvelles difficultés. Celles-ci sont liées, d'une part à la multiplicité des solutions envisageables, d'autre part à la mixité des phénomènes qui entrent en jeu dans un processus de conception.

Dans cet article nous considérons trois types de propriétés caractéristiques d'un projet urbain : les contraintes réglementaires, les propriétés d'ensoleillement, et les propriétés d'accessibilité visuelle. Nous parcourons rapidement les travaux relatifs au traitement de ces propriétés dans le cadre de la conception. Nous montrons pour chacune d'elles qu'il est possible de représenter ses conditions de satisfaction sous la forme d'un volume 3D doté de certaines caractéristiques. Nous présentons des mécanismes à mettre en œuvre pour explorer l'ensemble des solutions inclus dans un volume de contrainte. Nous exposons également les difficultés inhérentes à la prise de connaissance d'un espace né de l'intersection de plusieurs volumes de contraintes.

other methods voluntarily (graphical, analog...). The reader will find more details in (Siret 1997) concerning sunlight, (Nivet 1997) for visibility and (Dubois-Maury 1996) for urban regulation.

Sunlight. Numerical methods dealing with sunlight can be classified in two categories: the "classical" systems of simulation which determine the distribution of sunny and shaded spaces during a temporal interval, in a given scene; and the knowledge-based systems which give some help in the use of materials and the global organization of building forms. The former benefited from works in geometric modeling and in image synthesis. They use either perspectives or orthogonal projections (Grau, Johnsen 1995; Groleau, Marenne, Gadilhe 1995; Yezioro, Shaviv 1994), or ray tracing (Siret 1996). Sunlight maps (in two or three dimensions) are computed. It is possible to superimpose them on the numerical model of the site. Then the designer can judge the sunlight distribution and the potential interactions between the building and its neighbourhood. Knowledge-based systems can offer assistance to the energy saving (Silvestrini, Cacopardi 1993). From simple rules derived from statistics these systems propose solutions with aim to improve the project by modifying its materials.

Visibility. The increasing interest in a project's integration into a site, the legibility and the spatial composition encouraged the development of simulation tools about visibility and more particularly about the visual accessibility. A lot of numerical tools rest on the use of the isovist (Benedikt 1979) which can be defined as the set of points that are visible from a particular point or space. Several mathematical and/or intuitive relations (Davis, Benedikt 1979) allow one to describe the architectural space (Benedikt, Burnham 1985; Do, Gross 1997). The isovist is also the kernel of some other systems dedicated to the study of urban (Hillier 1996) and landscaped (Miller, Morrice, and al. 1994) spaces. In urban environment we can also mention (Morin 1995) making use of a sunlight simulation tool (Groleau, Marenne, Gadilhe 1995) to allow visual accessibility analysis. Software can also help in the choice of locations for disruptive elements like high-tension lines (Gro 1991; Koglin, Zewe 1995).

Urban Regulation. Reflections on our modern cities' loss of urbanity have motivated the setting up of analysis and simulation tools. The development of geographical information systems (GIS) is an illustration of this. These systems try to integrate a lot of geographical, economical (Lahti 1997) or environmental (Danahy, Hoinkes 1995) measurements. They sometimes integrate multiple components like geometric modelers and rendering tools (Liggett, Jepson 1994).

Early works related to urban planning which have taken into account regulations made use of techniques derived from expert systems. Though they have brought some results (Elmakhchouni, 1985; Rabie, 1991) these approaches suffer from a lack of interaction and can not be used in the process of urban planning as it is exercised nowadays. This shortcoming is caused by the way information is represented in such systems. Adopting a more interactive approach, the system proposed in (Dupagne, Leclercq, Pirotte, 1988) is available to the architects and other participants in the shaping of the urban form.

To our knowledge, little work has been done in this field during recent years. It seems that the study of the regulation aspects has been forsaken for the one related to negotiation processes. Today, the management of urban environment, especially in France, is also done by means of rules. These latter control the morphology of the building form. However, without reducing the urban planning to the application of urban regulation, it is necessary to notice its importance on the shape of a city. An interesting approach of the modeling of the link between building shape and urban shape is developed in (Dupagne, Teller 1997).

design by intent

The direct simulation tools which have been presented above only permit a validation of a project. They do not support the uncertainty inherent in architectural design, especially in early stages of the project. The architect then manipulates only some ideas or abstract shapes. For instance he can realize some annotated sketches which inform on the atmosphere and the genius loci of the project. The designer plays with these elements and thus simulates graphically (Lebahar 1983) different so-

Considérant les particularités du travail de conception en situation de projet, nous discutons de l'intérêt pédagogique de la représentation des contraintes de conception comme des éléments tangibles, parties intégrantes d'un système de CAO. Nous concluons sur l'apport d'un tel modèle du point de vue du contrôle et de la compréhension d'un objet en conception.

les contraintes physiques et urbaines en conception

Concevoir un projet revient pour l'architecte à répondre à un programme. Ce programme mentionne des caractéristiques du site, le budget alloué à l'opération, ainsi que les volontés du client. Le concepteur complète ce dossier par ses propres considérations (esthétiques, fonctionnelles, ...). L'architecte jouant avec l'ensemble de ces paramètres doit aboutir à la réalisation d'un juste compromis sous la forme d'une configuration architecturale ou urbaine.

Des éléments tels que la visibilité ou la réglementation du site font partie intégrante du programme, voire sont prédominantes (MVRDV 1996). Une simple contrainte d'alignement, ou encore la volonté d'assurer un ensoleillement de qualité au projet auront des conséquences directes sur la forme construite.

De nombreux outils informatiques, permettent d'analyser les projets sous l'angle de différents phénomènes. Nous en présentons un bref état de l'art dans les paragraphes suivants.

Nous parlons exclusivement des systèmes numériques relatifs aux trois aspects considérés dans cet article : l'ensoleillement, la visibilité et la réglementation urbaine. Bien qu'elles apportent beaucoup d'éléments à la réflexion, nous avons volontairement omis les autres méthodes (graphiques, analogiques, ...). Nous renvoyons le lecteur vers (Siret 1997) en ce qui concerne l'ensoleillement, (Nivet 1997) pour la visibilité et (Dubois-Maury 1996) pour la réglementation urbaine.

Ensoleillement. Les méthodes numériques peuvent être classées en deux catégories : les systèmes « classiques » de simulation qui pour une configuration donnée vont déterminer la distribu-

tion des espaces ensoleillés et à l'ombre pour une plage temporelle donnée ; et les systèmes à base de connaissances qui assurent assistance dans l'utilisation des matériaux et l'organisation globale des configurations. Les premiers ont bénéficié du développement des travaux en modélisation géométrique et en synthèse d'image. Ils utilisent soit des projections axonométriques et perspectives (Grau, Johnsen 1995 ; Groleau, Marenne, Gadilhe 1995 ; Yezioro, Shaviv 1994), soit les techniques de lancer de rayon (Siret 1996). Ils calculent pour une scène donnée les zones géométriques ensoleillées ou non dans une plage temporelle définie. L'observation directe de ces cartes d'ensoleillement (en trois ou deux dimensions) superposées à la maquette du site permet au concepteur de juger la répartition de l'ensoleillement et les interactions potentielles entre les constructions et leur environnement. D'autre part les systèmes à base de connaissances offrent une assistance à la maîtrise énergétique du projet (Silvestrini, Cacopardi 1993). À partir de règles simples issues de l'étude statistique des performances de configurations existantes ces systèmes proposent des solutions en vue d'améliorer le projet. Celles-ci ne concernent généralement pas la géométrie du projet mais ses matériaux.

Visibilité. L'intérêt croissant des aménageurs pour l'intégration au site, la lisibilité et la composition spatiale ont encouragé le développement des outils de simulation de la visibilité et plus particulièrement de l'accessibilité visuelle. Une grande partie des outils numériques existants s'appuient sur l'utilisation de l'isovist (Benedikt 1979). L'isovist peut être défini comme l'ensemble des points qui sont visibles depuis un point ou un espace particulier. Plusieurs relations mathématiques et/ou intuitives permettent dans une certaine mesure de qualifier l'espace architectural (Benedikt, Burnham 1985 ; Do, Gross 1997). L'isovist est également le noyau d'autres systèmes dédiés à l'étude des espaces urbains (Hillier 1996) et des sites paysagers (Miller, Morrice, et al. 1994). En milieu urbain on peut également citer (Morin 1995) qui en détournant un logiciel de simulation solaire (Groleau, Marenne, Gadilhe 1995) permet d'obtenir des cartes d'accessibilité visuelle et de co-visibilité bi ou tridimensionnelles.

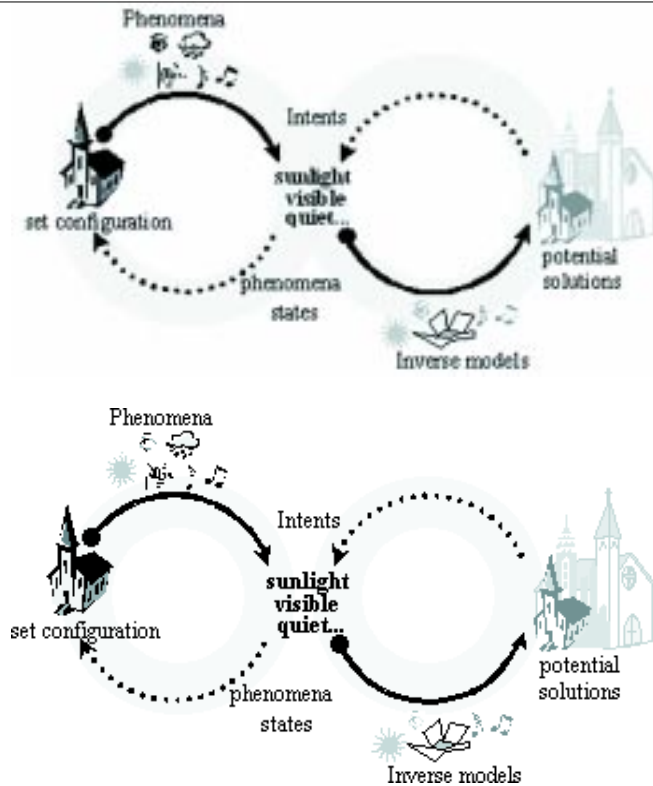


Figure 1. Interaction between simulation and design by intent.
[Interaction entre simulation et conception par l'intention.]

lutions. Without aiming to propose a computer version of a "sketch notebook" and thus fall into the Dr. Pangloss fallacy (Flemming 1994), it seems to be interesting, in a CAD system, to allow the architect to manipulate some information of a high level of abstraction: that is to say intents. We define an intent as a conceptual expression of constraints having an influence on the project. For instance, a visual intent will be stated with no reference to vision geometry: "from this place, I want to see the front of the new building".

The usual cycle of simulation tools is reversed manipulating intents in a computer aided design process. On the left side of Figure 1 the classic cycle is represented: numerical modeling of the scene, simulation, result analysis. This cycle leaves no room for graphical simulation as we defined it previously. Design is achieved outside of the system which only manipulates the geometry of the project. Our approach of design by intents is rep-

resented on the right side of Figure 1. The architect interacts with the system by expressing his intents. The system has enough knowledge to interpret them as a space of solutions that the architect is free to explore graphically. We stress the fact that the system produces only geometrical shapes. We intentionally leave the architectural interpretation (concept, materials, aesthetic or economical qualities...) to the designer in order to preserve the creative nature of this process.

In a simulation cycle (left part of Figure 1) a new numerical model of the scene starts the iteration. In the inverse approach (right part of Figure 1) a new cycle starts by the statement of new intents or by the refinement of the previous ones. The two approaches, direct simulation and design by intents, are complementary. The results of one can be input data for the other. The introduction of intents within a CAD system induces a new formalism of representation. This is the object of the following section.

modeling design intents

In the following, we speak of "intents" when we refer to the interaction designer/project/CAD tool. We use the term "constraint" when these intents are manipulated in the computer system.

We conjecture that a class of intents can be modeled by some geometric volumes of constraint. These geometric volumes represent subspaces in which the solutions are included (if they exist). The geometry of a volume representing a set of solutions is obtained using the principles of inverse simulation when treating physical phenomena, and using deduction rules for urban regulation. The inverse simulation derives its name from research done in physics or in mechanics. By reversing the equations related to a phenomenon, it is possible to find the input parameters of an equation system satisfying a given state.

The visibility and sunlight phenomena can be expressed following the same principle based on the notion of rays (left side of Figure 2). Reversing sunlight or visual ray (Figure 2 on the right) allows to find the corresponding constraint satisfaction subspace: the volume of constraint.

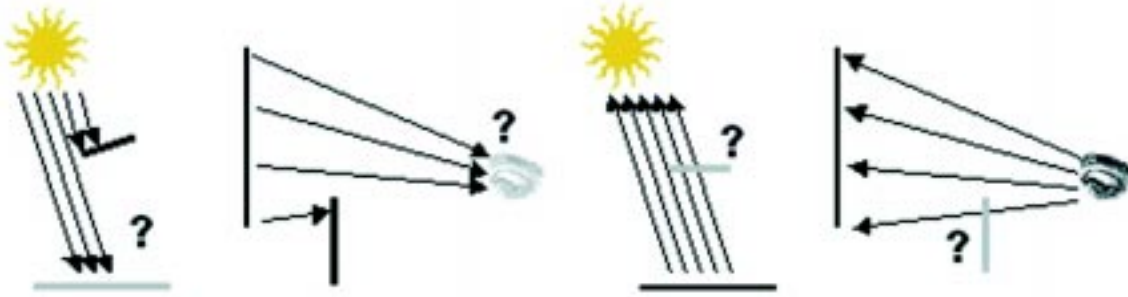


Figure 2. Direct and inverse line of sight or sunbeam. [Rayon direct et inverse, visuel et solaire.]

Il existe également des outils d'assistance à l'implantation d'éléments perturbants comme les lignes haute tension (Grob 1991; Koglin, Zewe 1995).

Réglementation. La réflexion engagée sur la perte d'urbanité de nos villes modernes a conduit à la mise en place d'outils d'analyse et de simulation évolués. Le développement des systèmes d'informations géographiques (SIG) en est une illustration. Ceux-ci tentent d'intégrer de nombreuses dimensions, géographiques bien sûr, mais aussi économiques (Lahti 1997) ou environnementales (Danahy, Hoinkes 1995). La tendance actuelle est à l'intégration de nombreux composants : modèleur géométrique, SIG, outil de rendu réaliste (Liggett, Jepson 1994).

Les premiers travaux relatifs à la planification urbaine, prenant en compte les réglementations, ont fait usage des techniques issues des systèmes experts. Bien qu'ayant donné quelques résultats (Elmakhchouni, 1985; Rabie, 1991) cette approche, de part le peu d'interaction qu'elle offre, s'est avérée peu viable dans le processus d'aménagement urbain tel qu'il est pratiqué de nos jours. Cette lacune provient du mode de représentation de l'information dans de tels systèmes. Adoptant une logique plus participative, le système proposé dans (Dupagne, Leclercq, Pirotte, 1988) s'ouvre aux architectes et maîtres d'ouvrage.

A notre connaissance, peu de travaux ont été réalisés depuis. Il semble que l'étude des aspects

réglementaires ait été délaissée au profit de celle des processus de négociations. Or, la maîtrise de l'environnement urbain, notamment en France, passe aussi par la règle. Celle-ci exerce un contrôle sur la morphologie des unités construites. Sans réduire la planification urbaine à la mise en application d'une réglementation, il faut toutefois noter l'importance de cette dernière sur la forme d'une ville. Une approche intéressante de la modélisation de ce lien entre forme construite et forme urbaine est développée dans (Dupagne, Teller 1997).

conception par l'intention

Les outils de simulation directe qui viennent d'être présentés permettent une validation du projet. Cependant ils ne supportent pas le flou qui caractérise le travail de conception, notamment dans ses phases initiales. En effet l'architecte dans un premier temps ne manipule que des idées ou des formes abstraites. Cela peut se traduire dans le processus de conception par la réalisation de croquis annotés qui renseignent sur les ambiances et l'esprit du projet. Le concepteur joue avec ces éléments et ainsi *simule graphiquement* (Lebahar 1983) différentes possibilités. Sans pour autant proposer une version informatisée du « carnet de croquis », et ainsi tomber dans la *Dr Pangloss fallacies* (Flemming 1994), il paraît souhaitable, dans un système de CAO, d'autoriser l'architecte à manipuler des informations d'un haut niveau d'abstraction : les *intentions*.

Nous définissons une intention comme l'expression, sous sa forme conceptuelle, d'une contrainte imposée ou non, influençant le projet.

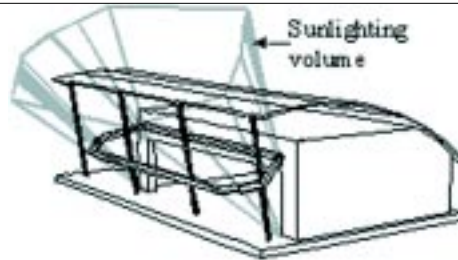


Figure 2a. Sunlight Intent: "The front of the project must be sunlit in the middle of the evening in winter." Parameters needed: time period, the qualifying surface represented as a polygon. Qualification: sunless, sunlit.

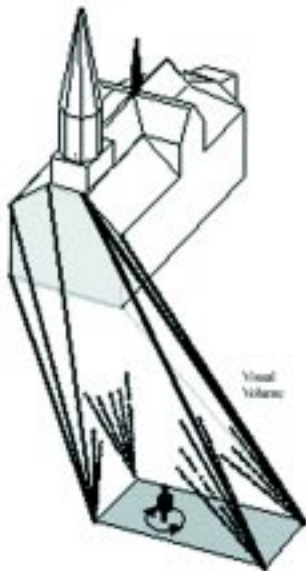


Figure 2b. Visibility Intent: "From the square, the observer must be able to see the front of the church." Parameters needed: Observer, defined by his view field and location; object in the environment. Qualification: to see, not to see.

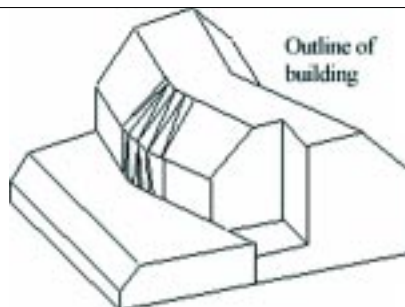


Figure 2c. Urban Intent: "The building must be included in the maximal volume of the site." Parameters needed: plot geometry; maximum building heights; width of the surface to be built; depth of neighboring houses. Qualification: can be built; cannot be built.

Urban regulation is not based on a physical phenomenon but on the politics of management of the city's spaces. Here, we only consider rules influencing the building's shape. In France, these rules are generally defined in articles of a "plan d'occupation des sols" (POS). A POS is a complete document in which plans mention existing constructions and zones of regulation. Every regulation article participates in the definition of one or several volumes of constraints.

geometric representation of constraints

A survey of the representation for each kind of constraints is developed in (Siret 1997) for sunlight, (Nivet, Siret 1998) for the visibility and (Faucher 1998) for urban regulation. We present the main parameters of each model in Figures 2a-c. Each figure indicates an example statement of intent, summarizes the essential parameters of the model, and shows an example of the constraint volume geometry.

We can ensure that if a solution to the expressed intent exists, it is included in the volume of constraint computed by the system. A solution is a geometrical entity, which satisfies a constraint. We insist on the fact that the architectural meaning of this raw shape is given by the designer and not by the CAD system. For example a surface or a volume will be interpreted as a building front, a sunshade or a tree. An empty space will be seen as a street, an aperture or a passage.

In an architectural context, an intent is realised by manipulating some full elements or empty spaces. This is the reason why it is possible to treat the descriptions see/don't see, sunlit/sunless, can be built/can not be built, in a same way. Thus constraints of different kinds are considered homogeneously by introducing the notion of negative or positive constraint: constraints which are resolved using one or several solid elements are defined as positive; constraints which are resolved using one or several empty spaces are defined as negative. As for sunlight and visual properties, the positive constraints are resolved adding some solid elements intercepting all the rays of constraint volumes. The negative constraints imply a total hollowing out of them. In the case of urban rules, the solutions do not depend on the direction of rays. The only thing

Par exemple, une intention visuelle sera exprimée sans avoir recours à la géométrie de la vision qui lui est sous-jacente : « de cette place je veux voir la façade du bâtiment projeté ».

Manipuler les intentions dans un processus de conception informatisé inverse le cycle habituel d'utilisation des outils de simulation comme le montre la Figure 1. À gauche est représenté le cycle classique : modélisation d'une scène, simulation, analyse des résultats. Celui-ci ne laisse aucune place à la simulation graphique dans le sens défini ci-dessus. La phase de conception, en tant que telle, est réalisée en dehors du système, lequel ne manipule que la géométrie du projet. La partie droite figure notre approche de *conception par l'intention*. L'architecte interagit avec le système en énonçant ses intentions. Le système possède la connaissance suffisante pour les interpréter sous la forme d'un espace de solutions géométriques que l'architecte est libre d'explorer graphiquement. Insistons sur le fait que le système ne produit que des formes géométriques. L'interprétation architecturale (parti, matériaux, qualités esthétiques et économiques...) est volontairement laissée au concepteur afin de préserver la dimension créative.

Dans un cycle de simulation (partie gauche du schéma) l'itération est amorcée par la donnée d'une nouvelle configuration. Dans l'approche inverse (partie droite) cette amorce est assurée par l'énoncé de nouvelles contraintes ou par le raffinement des intentions précédentes. Les deux approches, modélisation classique et conception par l'intention sont complémentaires, les résultats de l'une pouvant servir de données à l'autre. L'introduction au sein d'un système de CAO, de la notion d'intention, telle que nous venons de la définir induit la mise au point d'un nouveau formalisme de représentation. Ceci fait l'objet de la section suivante.

modélisation des intentions de conception

Dans la suite, nous parlons d'intention lorsque nous faisons référence à l'interaction concepteur / projet / outil de conception. Nous utilisons le terme contrainte lorsque ces intentions sont manipulées au niveau du système informatique. L'hypothèse que nous avançons et que nous défendons est qu'il existe une classe d'intentions pouvant être

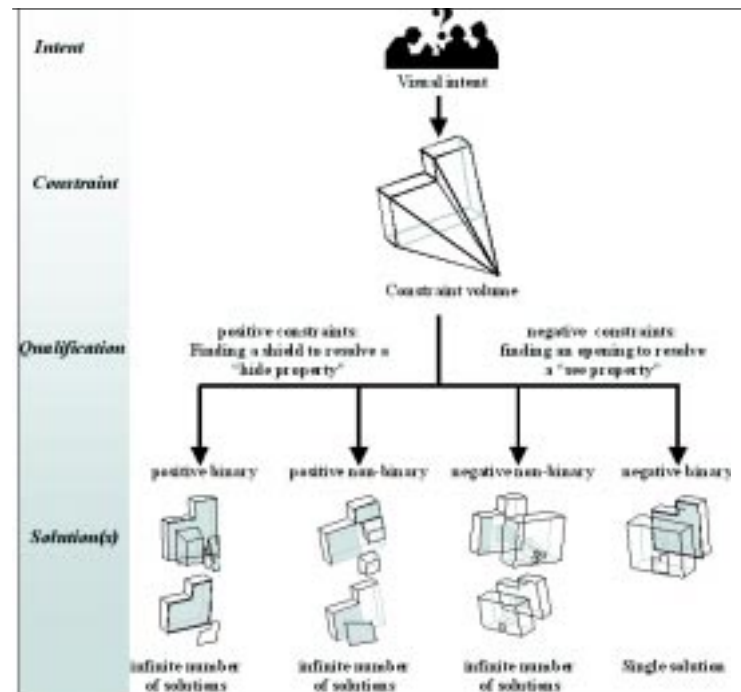


Figure 3. The ratio of description/number of solutions. [Rapport qualification / nombre de solutions.]

modélisées par des *volumes géométriques de contrainte*. Ces volumes géométriques représentent des sous ensembles de l'espace portant les solutions, si elles existent. La géométrie d'un volume représentant l'espace des solutions est obtenue en utilisant les principes de la simulation inverse en ce qui concerne les phénomènes physiques, et par l'application de règles de déduction pour les contraintes réglementaires.

La simulation inverse tire son nom de recherches effectuées en physique ou en mécanique, où par l'inversion des équations relatives à un phénomène précis, il est possible de connaître les paramètres d'entrée d'un système d'équation répondant à un état donné.

Les phénomènes d'ensoleillement et de visibilité peuvent s'exprimer suivant le même principe. En effet ils sont tous les deux supportés par la notion de rayon (Figure 2 à gauche). L'inversion des rayons solaires ou visuels (Figure 2 à droite) permet de connaître la zone de l'espace engagée dans

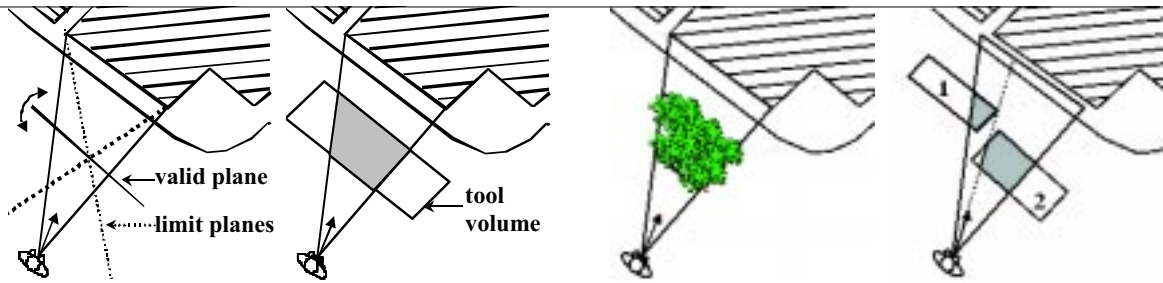


Figure 4. Principles of interaction with solutions. [Principes d'interaction avec les solutions.]

to be considered in the determination of the solutions is the presence or the absence of matter.

In the examples presented hitherto, we always considered binary intents, that is to say some "all or nothing" statements: "see entirely or don't see at all." In many cases, it is interesting to study intents finding their solutions between these two states. In another words we have to enrich the formalism to permit the statement of non-binary intents like "build at least 50% of the front wall in the border of road" or "from this street see a part of the front of the new building." Applying the representation we chose, the state of an intent (positive, negative, binary, non-binary) generates a constraint. The subspace including the potential solutions is represented by a volume. The geometry of a constraint volume does not depend on the description it is linked to. This description is taken into account during the exploration step of the solutions space (Figure 3). A negative binary constraint is achieved only if the corresponding volume is empty. If the constraint is already satisfied, the system prevents any addition of solid in the volume. On the contrary, if the constraint is not satisfied, the resolution consists in hollowing out the constraint volume. This solution is unique; it is necessary and sufficient. The resolution of a positive binary constraint is more problematic, insofar as an infinity of solutions exist. Indeed, in the case of a visual constraint, an infinity of obstructions that cut all the lines of sight can be defined. Finding a solution is the same as choosing a obstructing object among this infinity. The process is identical in the case of the non-binary solutions (positive or negative). For example in the case of the "boundary line rule, used in the POS, only the solid/empty ratio is imposed: the designer has to find a distribution of the wall along the road

that satisfies this condition.

exploring solutions of a constraint

We stress again the fact that our research objectives are not to propose an automatically-generated solution. We wish to offer the designer tools that he will be free to use during the design process. For these reasons, we can not limit ourselves to enumerating all the solutions or randomly choose one solution. Such a procedure would be inapplicable considering the big number of shapes to examine. Keeping this philosophy in mind, we study first the possibilities for solutions in the case of a single constraint.

Positive Binary Constraint. For such a constraint, the simplest case consists in manipulating a structural plane holding a blocking object (Figure 4a). Applying some geometric transformations on this plane (rotations and shifts) the user manipulates the blocking object indirectly. The system controls the degrees of freedom of the plane and computes the minimal blocking object. This object is the intersection surface between the plane and the constraint volume. Another possibility is to use a so called tool volume which intersects completely the constraint volume as it is shown on Figure 4b. A tool volume is represented in the horizontal plane. Its intersection with the constraint volume is indicated in grey. It constitutes an exact blocking object. A designer could interpret this volume as a group of trees (Figure 4c). Note that such a volume can be reduced to a surface.

In order to allow more flexibility in the manipulation of the blocking objects, we also propose to explore the possibilities of non-connected solutions. Extending the previously described inter-

la résolution de la contrainte : le volume de contrainte.

La réglementation urbaine ne s'appuie pas sur un phénomène physique, mais sur une politique d'organisation des espaces d'une ville, qu'ils soient publics ou privés. Nous ne considérons ici que les règles intervenant sur la morphologie du bâti. En France, ces règles sont généralement définies dans les articles d'un plan d'occupation des sols. Un plan d'occupation des sols est un dossier complet comprenant : des plans mentionnant les constructions existantes et les zones de réglementation, des plans d'épannelage, et des règlements applicables dans chaque zone. Chaque article du règlement participe à la définition d'un ou plusieurs volumes de contrainte.

représentation géométrique des contraintes

L'étude des représentations propres à chaque type de contrainte est développée dans (Siret 1997) pour l'ensoleillement, (Nivet 1998) pour la visibilité, (Faucher 1998) pour la réglementation urbaine. Nous présentons ci-après un tableau reprenant sans les détailler, les principaux paramètres des trois modèles. Ce tableau comporte trois colonnes. La première indique le type de contrainte considérée et donne un exemple d'énoncé réalisable. La seconde colonne énumère les paramètres essentiels du modèle. Enfin, la dernière colonne présente un exemple de la géométrie du volume.

Nous pouvons assurer que s'il existe une *solution* à l'intention énoncée par le concepteur, elle est incluse dans le volume de contrainte calculé par le système. Une solution est une configuration géométrique brute assurant la réalisation d'une contrainte. Insistons sur le fait que seul l'architecte lui donne une signification architecturale. Par exemple une surface ou un volume trouveront leurs équivalents dans une façade, un pare-soleil, ou un arbre. Un vide sera interprété comme une rue, une ouverture, un passage.

Dans le cadre de la conception architecturale, assurer la réalisation d'une intention, revient à manipuler des éléments pleins ou vides. Ceci nous offre la possibilité d'uniformiser le principe de résolution des contraintes en traitant d'une même façon les qualifications voir/ne pas voir, au soleil/

à l'ombre, inconstructible/constructible. De la sorte des contraintes de type différent peuvent être résolues de façon homogène en introduisant la notion de *contrainte négative ou positive* :

- les contraintes dont la réalisation passe par la mise en place d'un ou plusieurs éléments matériels sont des contraintes positives ;
- les contraintes réalisées par l'absence de matière sont des contraintes négatives.

S'agissant des propriétés d'ensoleillement et de visibilité les contraintes positives sont résolues par l'ajout d'éléments matériels interceptant l'ensemble des rayons du volume de contrainte. Les contraintes négatives impliquent un évidement total de ce dernier. Dans le cas des règles urbaines, les solutions incluses dans le volume de contrainte ne dépendent pas de la direction d'un rayon. Seule la présence ou l'absence de matière est prise en compte dans la détermination des solutions.

Dans les exemples présentés jusqu'ici, nous avons toujours considéré des *intentions binaires*, c'est-à-dire des énoncés qui s'expriment en « tout ou rien » : « voir entièrement ou ne pas voir du tout ». Or dans bien des cas, il est intéressant d'étudier des intentions trouvant leurs solutions entre ces deux états. Il s'agit donc d'enrichir le formalisme en permettant l'énoncé d'*intentions non binaires* : « construire au moins la moitié de la façade à l'alignement », ou encore « de cette rue voir *une partie* de la façade du nouveau bâtiment ».

En appliquant le mode de représentation que nous avons choisi, la donnée d'une intention (positive, négative, binaire, non binaire) engendre une contrainte. L'espace portant les solutions potentielles est représenté par un volume. La géométrie du volume d'une contrainte ne dépend pas de la qualification qui lui est attachée. En revanche, cette qualification entre en jeu lors de l'exploration de l'espace des solutions (Figure 3).

Une contrainte négative binaire est réalisée si et seulement si son volume associé est laissé libre. Si la contrainte est déjà satisfaite, le système empêche tout ajout de matière à l'intérieur du volume. Si au contraire la contrainte n'est pas satisfaite, la résolution se fait par l'évidement total du volume

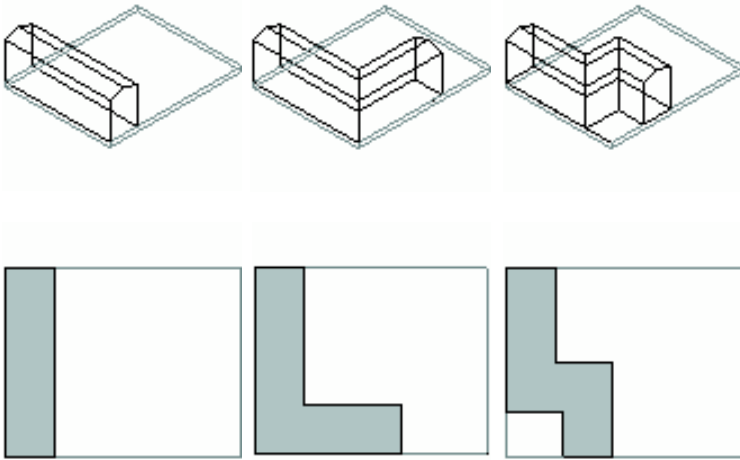


Figure 5. A non-binary constraint example: building land surface.
[Un exemple de contrainte non binaire, l'emprise au sol.]

action means, we allow the designer to manipulate several tool volumes. The user indicates the number of elements to put in order to satisfy the constraint. In Figure 4d, a first tool volume is drawn (volume 1). It does not resolve totally the constraint. Consequently the system computes the complementary constraint volume. The user can then put a second tool volume (volume 2) in order to complete the first occluding element.

Non-binary Constraint. We recall here that a non-binary intent is a statement that introduces a new degree of freedom in the satisfaction of a constraint. Let us take the case of the maximum building surface. It requires that only 80% of the plot surface be constructed. This constraint can be satisfied in different ways as shown in Figure 5.

The user distorts his solution while the system ensures that the surface respects the stated percentage. Such a constraint can be also solved manipulating directly the building plot surface. In this case, the system reduces the solution space and proposes a new constraint volume according to the given percentage. So the new volume can be explored as a binary constraint one.

In a more general way, all non-binary constraints can be treated by graphic interaction on the solution or by refinement of the intent. The exploration by refinement process permits a real game with intents. In a real situation, the multiplicity of the constraints requires this game because it is often difficult to find a compromise without coming back to the initial intents.

interaction in multiple constraints

The statement of several intents brings some situations of competition or opposition between them. Searching for a solution requires in the first place knowing the usable zones (i.e. where it is possible to put some solids). This is why the negative binary intents must be solved in priority by hollowing out all the volumes of the negative binary constraints. The search space is thus reduced to the volumes of the remaining constraints, minus their possible intersections with the volumes of negative binary constraints. The geometric representation of intents allows seeing the zones of the space where they interact. These subspaces are the zones of intersection between the constraint volumes. These zones are qualified by all the intents engaged. Then we have to find a solution that can be inserted in this intersection space.

Figure 6a shows the competition between a visual and a sunlight constraint. The rays which define them, are not directed towards the same direction. A solution has to intercept all the rays in both directions. We can work outside of the intersection of the constraint volumes, thus we go back to the exploration of several unique constraints; or inside the intersection space exploring all the constraint volumes simultaneously. The intersection between several constraint volumes rarely ensures the complete resolution of all the considered intents. That is to say that one blocking object can not satisfy all the constraints completely. However, it is of interest to work in this space when the solution has to be optimized. This search is difficult because of the complex geometry of the intersection volume, combined with the fact that we have to take into account the direction of the rays. A first approximation of the solution consists in offering the whole intersection volume (Figure 6b). However some other obstructions are acceptable (Figure 6c).

de contrainte. Cet évidement est unique, il est nécessaire et suffisant.

La résolution d'une contrainte positive binaire est plus problématique dans la mesure où il existe une infinité de solutions. En effet, si nous prenons le cas d'une contrainte visuelle, une infinité de masques coupent tous les rayons visuels. Trouver une solution revient alors à choisir un masque parmi cette infinité. L'approche est identique dans le cas des solutions non binaires (positives ou négatives). Par exemple dans le cas de la règle d'alignement, la répartition des façades sur la voie n'est pas imposée. Seul le rapport plein/vide est considéré.

exploration des solutions d'une contrainte unique

Insistons sur le fait que l'objectif de notre recherche n'est pas de proposer une solution entièrement automatique au concepteur. Nous souhaitons mettre à sa disposition des outils qu'il utilisera à son grès au cours du travail de conception. Pour ces raisons, nous ne pouvons nous contenter d'une énumération exhaustive des solutions ou d'un tirage aléatoire parmi celles-ci. De plus une telle procédure serait inapplicable étant donné le grand nombre de configurations à examiner. En gardant présent à l'esprit cette philosophie, nous étudions, dans un premier temps, les possibilités envisageables pour guider l'exploration des solutions dans le cas d'une contrainte unique.

Contrainte positive binaire. Pour une telle contrainte, le cas le plus simple consiste à manipuler un plan portant le masque (Figure 4a). En appliquant des transformations géométriques sur ce plan (rotations et translations) l'utilisateur manipule indirectement le masque. Le système contrôle les degrés de liberté du plan et calcule le *masque minimal*, intersection exacte entre le plan et le volume de contrainte.

Une autre possibilité consiste à passer par l'intermédiaire de *volumes outils* qui intersectent complètement le volume de la contrainte. C'est ce que nous montrons sur la Figure 4b. Un volume outil est représenté dans le plan horizontal. Son intersection avec le volume de contrainte est indiquée en gris. Elle constitue un *masque exact*. Un urbaniste pourrait interpréter ce volume comme un groupe d'arbres (Figure 4c). Notons que dans

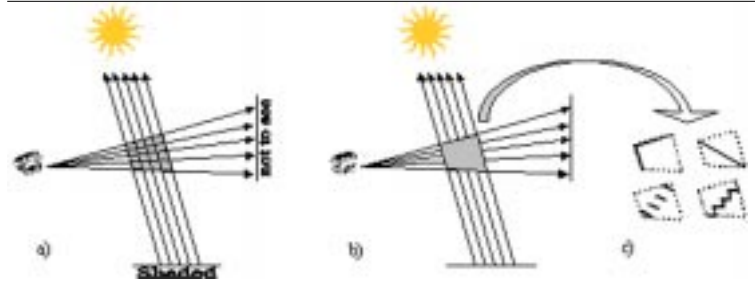


Figure 6. Solutions in the intersection of two constraints. [Solutions à l'intersection de deux contraintes.]

sa plus simple expression un volume peut être réduit à une surface.

Afin d'être plus souple dans la manipulation des masques, nous proposons aussi d'explorer les possibilités de solutions non connexes. Nous étendons pour cela le mode d'interaction défini précédemment en autorisant la manipulation de plusieurs volumes outils. L'utilisateur indique le nombre d'éléments à placer. Sur la Figure 4d, un premier volume outil a été choisi. Celui-ci ne répondant pas intégralement à la contrainte, le système calcule le volume de contrainte complémentaire. L'utilisateur peut alors placer un second volume outil pour compléter le premier masque.

Contrainte non binaire. Rappelons qu'une intention non binaire est un énoncé introduisant un degré de liberté supplémentaire dans la résolution d'une contrainte. Prenons le cas de la règle d'emprise au sol. Celle-ci exige que seuls 80% de la surface au sol de la parcelle soient construits. Cette contrainte peut être réalisée de plusieurs façons comme le montre la Figure 5.

L'utilisateur déforme sa solution tandis que le système assure que cette surface respecte le pourcentage énoncé. Une telle contrainte peut être également résolue en manipulant directement la surface d'emprise au sol. Dans ce cas le système restreint l'espace des solutions en proposant un nouveau volume de contrainte respectant *a priori* les 80% d'emprise au sol. Ce dernier pouvant subir des translations ou rotations. Ceci nous ramène à l'exploration d'une contrainte binaire, le nouveau

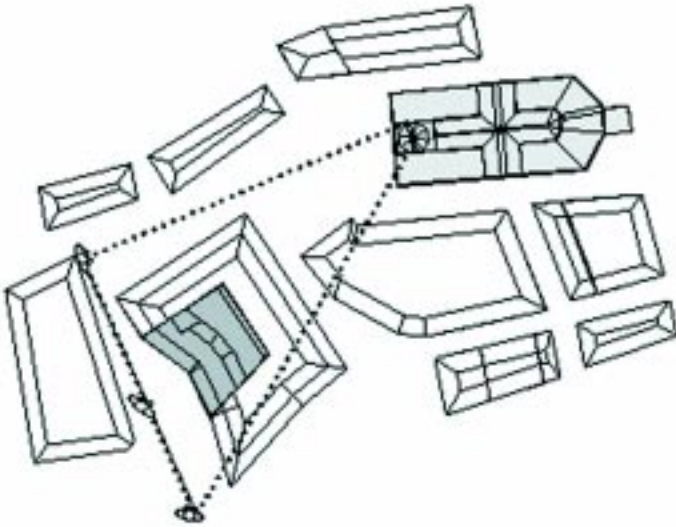


Figure 7. The site or plan geometry. [Le site.]

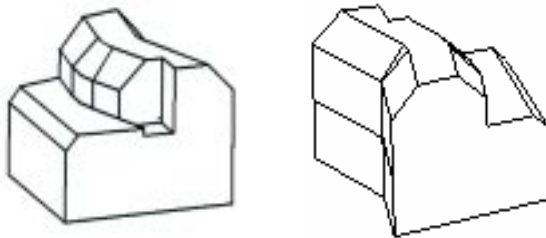


Figure 8. Outline of the building. [Le gabarit constructible.]

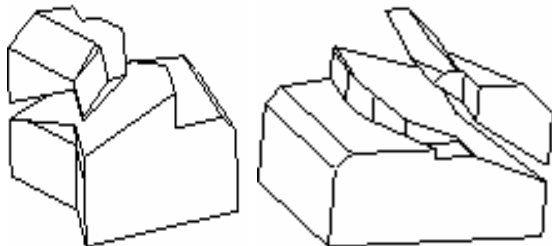


Figure 9: Hollowing out building outline. [Évidement du gabarit.]

We are currently proceeding to the survey of the properties associated with intersections of constraint volumes. We classify the faces and the edges of such an intersection with the object in order to extract search methods for solutions. This classification will allow us to know the function of each volume face in the resolution of the constraints (rate of resolution, constraint involved). This study will help us to assist the designer in his search for an optimal solution.

an example

The example presented in this section shows how visual and urban intents are taken into account in our system. The project consists of building a cultural centre in a given urban environment. An auditorium, a reception hall, and various administrative office spaces are included in the program. Besides, the authorities of the city wish to keep a good visibility of a great building near the project land plot. Furthermore the urban rules lay down the respect of the building outline. Figure 7 presents in dark grey the land plot to be build and in light grey the monument which the visual constraint is based on (in stippled). The outline building rule gives a first approximation of the volume approved for development (Figure 8). In concrete form, the user inputs his visual intent in the system by drawing the position of the observer (point, segment line, or convex plane surface) and by pointing out the target (a surface). The user selects the land plot to be built and he chooses the rules to apply. In this example the maximal volume rule, the height rule and the standing back rule are used. The building land surface is not considered.

The visual intent "see the monument" is a negative binary constraint competing with the positive non-binary constraint volume defined by the urban regulation (Figure 10). With regard to the priority rule, the system proposes to hollow out the outline volume 9 (Figure 9).

The resolution of the visual intent leads to a volume sketch for the architect to work with. He can, for example, plan to use the upper part for the auditorium. The reception hall will take up the lower part of the volume. The designer thinks about building a big picture window on the back but he wishes to conserve the privacy of the hass as well.

volume pouvant être construit intégralement.

Plus généralement toute contrainte non binaire peut être explorée par interaction graphique sur la solution ou par raffinement de l'énoncé de la contrainte. Le processus d'exploration par raffinement permet un véritable jeu sur les intentions. En situation réelle, la multiplicité des contraintes rend ce jeu nécessaire car il est souvent difficile de trouver un compromis sans revenir sur les intentions initiales.

interaction entre contraintes multiples

L'énoncé de plusieurs intentions amène des situations de concurrences, voire d'oppositions entre celles-ci. Rechercher une solution nécessite en premier lieu de connaître les zones utilisables (i.e. où il est possible de mettre des éléments matériels). C'est pourquoi les intentions négatives binaires doivent être résolues en priorité par évidement de tous les volumes des contraintes négatives binaires. L'espace de recherche des solutions est ainsi réduit aux volumes des contraintes restantes, diminués de leurs éventuelles intersections avec les volumes des contraintes négatives binaires.

La représentation géométrique des intentions permet de voir facilement les zones de l'espace où elles interagissent. Il s'agit des zones d'intersection entre les volumes de contraintes. Ces zones sont qualifiées par l'ensemble des intentions y intervenant. Il s'agit alors de trouver une solution pouvant s'y insérer.

Soient une contrainte visuelle et une contrainte d'ensoleillement (Figure 6a). Les rayons qui les définissent ne sont pas dirigés dans la même direction. Une solution doit pourtant intercepter tous les rayons de l'une et l'autre. Il est possible de travailler soit :

- en dehors de l'intersection des volumes de contrainte et ainsi se ramener à l'exploration de plusieurs contraintes uniques;
- dans l'intersection en explorant les volumes de contrainte simultanément.

L'intersection entre plusieurs volumes de contrainte garantit rarement la résolution complète

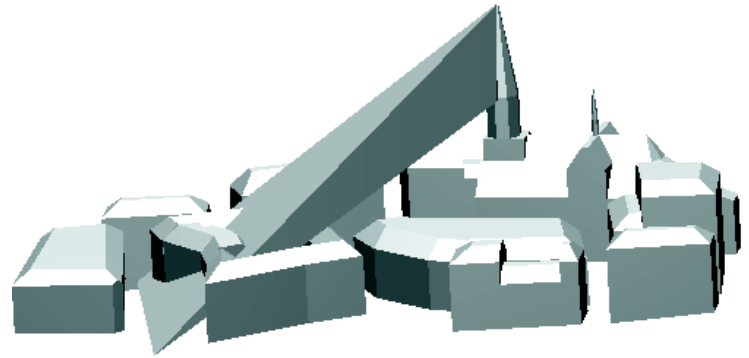


Figure 10: Intersection of visual constraint and site. [Intersection de la contrainte visuelle avec le site.]

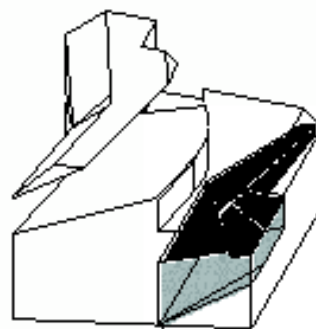
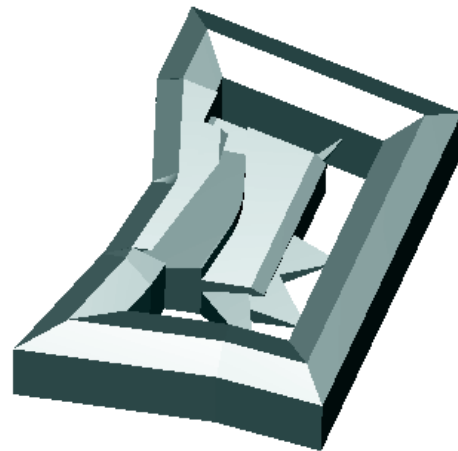


Figure 11: Translation of the privacy intent. [Traduction de l'intention d'intimité.]

He will therefore state a new intent: "from the windows of neighboring buildings don't see all of the hall (i.e. not picture window). With this as his goal, he selects the picture window's surface to be the target object selects the windows of the neighboring buildings as observation points (in our case four points). Figure 11 shows the constraint volumes thus generated.

In order to respond to this new constraint, the architect could decide to place the administrative office spaces to the rear of the land plot. These offices will be used for occluding the neighboring façades and thus to satisfy the privacy intent.

conclusions

In this paper we have presented an original method for taking into account, in a CAD system, intents related to sunlight, visibility, and urban regulation. We explained the principles of computing constraint volumes engendered by the statement of intents. We have shown that it is possible to unify the method of searching for solutions in these constraint volumes. Constraint volumes constitute new search spaces that restore, to some extent, a link between shape and phenomena in a CAD tool.

Our approach is of interest from two points of view. Firstly, in the context of teaching Architecture, making phenomena concrete in a virtual design space leads to a better understanding of them. An Architecture student can freely manipulate these phenomena and the shapes that are generated. Second, in a real-life situation our direct simulation approach allows one to visualize the behavior of several shapes representing some phenomena. The architect describes his project precisely only when he has found an acceptable compromise by playing with intents.

Currently every phenomenon is processed by a different system. We propose this unique tool with the hope of furthering students and practicing architects' interest in the method of design by intents. This research, only in its initial stages, must thoroughly examine how to deal with interactions between constraints. Some work in this direction has already been done. In particular, we are studying the possibilities of exploration by graphical means in some complex cases where an important

number of intents must be considered. Without aiming at solving all the constraints of an architectural or urban design project, we wish to extend the formalism to other physical phenomena. In particular, we will have to study thermal or acoustical phenomena in order to judge the relevance of our approach for taking them into account in the early stages of the design process.

acknowledgments

The authors are grateful to Marie-Joelle Antoine and Franck Raymond for their assistance with the English version of this paper.

references

- Benedikt, M. L., 1979. "To Take Hold of Space: Isovist and Isovist Fields," *Environment and Planning B*, vol 6, pp 47-65.
- Benedikt, M. L. and Burnham, C. A., 1985. *Perceiving Architectural Space: From Optic Arays to Isovists, Persistence and Change*, W. H. Warren, R. E. Shaw (eds), pp 103-114.
- Danahy, J. and Hoinkes, R., 1995. "Polytrim : Collaborative Setting for Environmental Design," in *The Global Design Studio*, Milton Tam and Robert The (eds). National University of Singapore, 1995.
- Do, E. YL and Gross, M. D., 1997. "Tools For Visual and Spatial Analysis of CAD Models," in *Implementing Computer Tools as a Means to Thinking about Architecture*, Proceedings of CAAD Futures'97, Munich, pp 189-202.
- Dubois-Maury J., 1996. "L'aménagement urbain," *Outils juridiques et forme urbaine*, Eds. Dalloz Paris, collection pratique de l'Immobilier.
- Dupagne, A., Leclercq, P. et Pirote D., 1988. "Système basé sur de la connaissance appliquée à la réglementation urbaine," *EurolA'88 : Journées européennes sur les applications de l'intelligence artificielle en architecture, bâtiment et génie civil*, Paris, 28-29 novembre 1988.
- Dupagne, A. and Teller, J., 1997. "Représentation de l'espace ouvert dans un système d'information de projet urbain," *Ingénierie des systèmes d'information*, vol 5, pp 219-239.
- Elmakhchouni, M., 1985. *Contribution à l'étude d'un système graphique intelligent pour la planification urbaine: SYGRIPOS simulation*

de l'ensemble des intentions engagées, c'est-à-dire qu'un seul masque ne peut satisfaire toutes les contraintes complètement. Toutefois il peut être intéressant de travailler dans cet espace lorsque l'on cherche à optimiser des solutions. Cette recherche est rendue difficile par la géométrie complexe du volume d'intersection couplée au fait que l'on doit prendre en compte la direction des rayons. Une première approximation de la solution consiste à offrir le volume d'intersection dans son entier (Figure 6b). Cependant d'autres masques sont acceptables (Figure 6c).

Nous procédons actuellement à l'étude des propriétés associées aux volumes d'intersections entre contraintes. Nous essayons de classifier les arrêtes et les faces de tels volumes en fonction des contraintes pour en extraire des méthodes de recherche de solutions. Cette classification doit nous permettre de connaître, pour chaque face du volume, son rôle dans la résolution des contraintes (taux de résolution, contrainte concernée) et ainsi aider à l'optimisation du placement d'un masque.

exemple

L'exemple que nous présentons prend en compte des intentions visuelles et urbaines. Il s'agit de construire un complexe culturel en milieu urbain. Le programme inclut un auditorium, un hall de réception ainsi que divers locaux administratifs. De plus les autorités locales demandent d'assurer une bonne visibilité d'un monument remarquable, situé aux abords du site, depuis la rue bordant la parcelle à construire. En outre le règlement d'urbanisme en vigueur dans cette zone impose le respect d'un gabarit. Le schéma ci-dessous (Figure 7) présente en gris sombre la parcelle à construire et en gris clair, le monument sur lequel porte la contrainte visuelle (en pointillé). La contrainte de gabarit donne une première approximation du volume constructible (Figure 8). Concrètement l'utilisateur du système indique son intention visuelle en dessinant la zone de présence de l'observateur (point, segment, surface plane convexe) et en désignant la surface visée. Il indique au système la parcelle à construire par un simple clic. Il choisit dans une liste l'ensemble des règles urbaines à appliquer. Dans notre exemple, les règles de volume maximal, de hauteur et de décrochement sont retenues. La règle d'emprise au sol n'est pas considérée.

La résolution du problème proposé met en évidence les difficultés inhérentes à la réalisation de contraintes multiples pouvant entrer en concurrence. L'intention visuelle « voir le monument » est une contrainte négative binaire en concurrence avec le volume de contrainte positif non binaire défini par les règles urbaines (Figure 10). Appliquant la règle de priorité, le système propose un évidement du volume gabarit (Figure 9).

La résolution de la première intention visuelle donne naissance à une ébauche de volume constructible sur lequel l'architecte travaille. Il imagine installer l'auditorium dans la partie supérieure. Une circulation extérieure sur l'arrière permettra aux usagers d'avoir également une belle vue sur le monument. L'espace inférieur sera occupé par le hall de réception.

L'architecte pense réaliser une grande baie vitrée côté cour mais souhaite préserver l'intimité du hall. Il énonce alors une nouvelle intention : « Des fenêtres des bâtiments voisins, ne pas voir intégralement le hall (i.e. la surface vitrée) ». Pour cela il désigne la surface de la grande baie comme l'objet regardé et sélectionne les fenêtres à prendre en compte comme zones d'observation, en l'occurrence quatre points. La Figure 11 montre les volumes de contraintes engendrés. Pour répondre à cette nouvelle contrainte, l'architecte décide de placer les locaux administratifs à l'arrière de la parcelle. Ils feront office de masques vis à vis des façades voisines.

conclusions

Nous avons présenté dans cet article une méthode originale de prise en compte, dans un système de CAO, des intentions de conception relatives à l'ensoleillement, la visibilité et la réglementation urbaine. Les principes de détermination des volumes de contrainte engendrés par l'énoncé d'intentions ont été exposés. Nous avons montré qu'il est possible d'unifier les méthodes de recherche de solutions à l'intérieur de ces volumes. Ces nouveaux espaces de recherche que constituent les volumes de contrainte rétablissent, dans une certaine mesure, un lien entre forme et phénomène en situation d'utilisation de l'outil informatique.

Notre approche possède deux intérêts

- visuelle des plans d'occupation des sols*. Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 167 p.
- Faucher, D., 1998. "Étude des règles urbaines relatives à la morphologie du bâti en vue de leur modélisation informatique," Rapport de recherche IRIN n°172, Université de Nantes, 31 p.
- Flemming, U., 1994. "Get with the Program: Common Fallacies in Critiques of Computer-Aided Architectural Design," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol 21, pp 106-116.
- Groleau, D., Marenne, C. and Gadilhe, A., 1993. "Climatic simulation tools: an application for a building project in a urban space," *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, Proceedings of 3rd European conference on architecture, Florence, pp 346-349.
- Groß, M., 1991. "The Analysis of Visibility, Environmental Interactions between Computer Graphics, Physics, and Physiology," *Computer & Graphics*, vol 15, no 3:407-415.
- Grau, K. and Johnsen, K., 1995. General shading model for solar building design, ASHRAE Transactions, vol 101, Pt. 2, 1995, 13 p.
- Hillier, B., 1996. "Cities as movement economies," *Urban Design International*, Cambridge University Press, vol 1, no 1:41-60.
- Koglin, H.-J. and Zewe, R., 1995. "Valuation System for the Visibility of Overhead Lines," *Engineering Intelligent Systems*, vol 3, no 4:195-203.
- Lahti, P., 1997. "Geographic Information Systems (GIS) as an interactive platform for economical management of urban planning," *Ingénierie des systèmes d'information*, vol 5, no 2:241-252.
- Lebahar, J. C., 1983. "Le dessin d'architecte : simulation graphique et réduction d'incertitude," *Parenthèses, Collection Architecture / Outils*, 134 p.
- Liggett, R. S., and Jepson, W. H., 1995. "An integrated environment for urban simulation," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol 22:291-302.
- Miller, D. R., Morrice J., Horne P. and Aspinall R., 1994. "Characterization of Landscape Views," *Macaulay Land Use Research Institute*, EGIS 94, 10 p.
- Morin, M., 1995. "Lecture de la tour de Bretagne, développement d'un outil de lecture de la ville, simulation de l'accessibilité visuelle," Ecole d'Architecture de Nantes.
- MVRDV, 1996. "Aménagement d'une place sur une ancienne gare de triage à Bergen op Zoom," *L'architecture d'aujourd'hui*, no 306:66-67.
- Nivet, M.-L. and Siret, D., 1998. "Simulation inverse de l'accessibilité visuelle en milieu urbain," *Revue Internationale de CFAO*, à paraître.
- Nivet M-L De Visu, 1997. "Approche déclarative pour la prise en compte de l'accessibilité visuelle dans le projet architectural ou urbain," Rapport de recherche IRIN, no165, Université de Nantes.
- Rabie, J., 1991. "Towards the simulation of urban morphology," *Environment and Planning B: Planning and Design, Computers in the modelling and simulation of urban built form*, vol 18, 1991, pp 57-70.
- Siret, D., 1996. "Sunlighting Design: An Inverse Approach of Simulation for CAD Tools," *Advances in Computer-Aided Design*, Proceedings of CADEX'96, pp 32-40.
- Siret, D., 1997. *Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural. Application à l'ensoleillement*. Thèse de doctorat, Université de Nantes.
- Sylvestrini, G. and Cacopardi S., 1993. "Uses of an Expert System for Passive Cooling Building Design," in *Proceedings, Third European Conference on Architecture (Solar Energy in Architecture and Urban Planning)*, Florence, pp 358-360.
- Yezioro, A. and Shaviv, E., 1994. "Analysing Mutual Shading Between Buildings in an Urban Environment," in *Proceedings of PLEA'94*.

majeurs :

- Dans le cadre d'un enseignement en architecture, la matérialisation des phénomènes dans un espace virtuel de conception permet une meilleure appréhension. L'étudiant en architecture peut librement jouer avec ces phénomènes et mieux comprendre les formes qu'ils induisent.
- En situation réelle, associée à l'approche de simulation directe, elle permet de visualiser le comportement de plusieurs configurations face à certains phénomènes. L'architecte ne s'engage dans une description précise du projet qu'après un jeu sur les intentions lui ayant permis de trouver un compromis acceptable et ce dès les phases amont de conception.

Actuellement chaque phénomène est traité par un outil informatique particulier. A terme, nous souhaitons réunir au sein d'un même prototype logiciel les méthodes expérimentées, dans le but de valider l'intérêt de la conception par l'intention auprès des étudiants et praticiens.

Cette recherche, loin d'être aboutie, doit considérer à présent avec une grande rigueur les interactions entre contraintes. Des travaux en ce sens ont commencé. En particulier nous étudions les possibilités d'exploration graphique dans des cas complexes mettant en œuvre un nombre important d'intentions. Sans pour autant prétendre résoudre la totalité des contraintes du projet architectural ou urbain, nous espérons pouvoir étendre le formalisme à d'autres phénomènes. En particulier certains phénomènes thermiques, acoustiques ou aérodynamiques devront être étudiés avec rigueur afin de juger de la pertinence de notre approche pour leur prise en compte dans les phases amonts de la conception.

remerciements

Nous tenons à remercier Melle Marie-Joelle Antoine et M. Franck Raymond pour leur aide précieuse quant à la rédaction de la version anglaise de cet article.