

# Approches déclaratives pour la conception et la modélisation spatiale en synthèse d'images

Véronique Gaildrat<sup>1</sup>, Dimitri Plemenos<sup>2</sup>  
email : gaildrat@irit.fr ; plemenos@unilim.fr

## 1. Introduction

Toutes les techniques de modélisation géométrique (représentation par éléments de volume, combinaisons de primitives, ensembles de facettes, ...) codent l'information sous forme de valeurs numériques. Les premiers modeleurs graphiques, outils de création de scènes, étaient conçus par des spécialistes et destinés à leur propre usage. La construction d'une scène se limitait à la saisie de liste de valeurs numériques. Un besoin accru de convivialité et une diffusion dans un plus large public ont fait évoluer les interfaces. L'aspect graphique (fenêtres de visualisation, utilisation de la souris) a pris le pas sur la saisie directe de valeurs au clavier.

Mais les données manipulées n'ont pas changé. L'utilisateur doit traduire l'image mentale de la scène qu'il veut créer en informations numériques. Or il n'est pas facile d'exprimer des notions telles que *plus large* en facteurs d'échelle sur les axes d'un repère 3D ou encore de trouver les composantes en modèle Rouge, Vert, Bleu de la couleur *marron clair*. Ce sont des données très techniques qui nécessitent un travail important de la part de l'utilisateur. C'est pourtant le seul moyen dont il dispose pour communiquer avec la machine. Il est donc contraint d'effectuer cette conversion.

Un autre reproche que l'on peut faire aux modeleurs classiques est d'ignorer les relations entre les objets (objets appuyés l'un contre l'autre, objet reposant sur un autre, ...). Considérons une scène représentant une pièce dans laquelle se trouve une table supportant quelques objets. Si la table doit être retaillée, le concepteur devra aussi déplacer un à un, et exactement de la même manière, tous les objets qui étaient posés dessus pour retrouver une scène cohérente. Sa charge de travail se trouve ainsi augmentée. De plus cela provoque un décalage, une rupture entre la scène qu'il imagine (libre de toute limitation) et celle qu'il crée (soumise aux lois imposées par le modeleur).

La construction d'environnements virtuels est donc une activité incrémentale que le concepteur va conduire en utilisant les outils actuels qui offrent peu ou pas de moyens pour l'assister dans sa démarche de création.

Nos travaux portent sur la modélisation déclarative dont le but est de permettre à un concepteur de décrire le monde 3D à modéliser, non plus en fournissant des données numériques, mais grâce à l'énoncé d'un ensemble de propriétés portant sur les objets à placer dans la scène.

Ces propriétés permettent, à l'aide d'un ordre unique, de réaliser une opération qui aurait dû être effectuée au moyen d'un nombre important d'actions élémentaires avec un modeleur géométrique

---

<sup>1</sup> IRIT, Université Paul Sabatier, Toulouse

<sup>2</sup> Laboratoire MSI, Université de Limoges, 83, rue d'Isle, 87000 Limoges

classique. De plus, lors d'une modification de la scène, ces propriétés ont l'avantage de pouvoir être maintenues, si le concepteur le désire, chose quasiment impossible avec un modéleur classique. Il est donc important d'offrir un langage d'expression des propriétés suffisamment expressif et proche du langage naturel pour laisser à l'utilisateur de grandes latitudes dans l'énoncé des propriétés de la scène en cours de construction.

## 2. Modélisation déclarative par contraintes d'environnements virtuels

Trois axes de recherche principaux se dégagent de l'étude que nous menons, concernant la modélisation déclarative d'environnements virtuels par contraintes. Cette étude se concrétise par la conception et la mise en œuvre d'un modéleur appelé DEM<sup>2</sup>ONS (Declarative Multimodal ModelliNg System). Ces trois axes correspondent aux trois parties principales constituant l'essentiel de l'architecture du modéleur (figure 1).

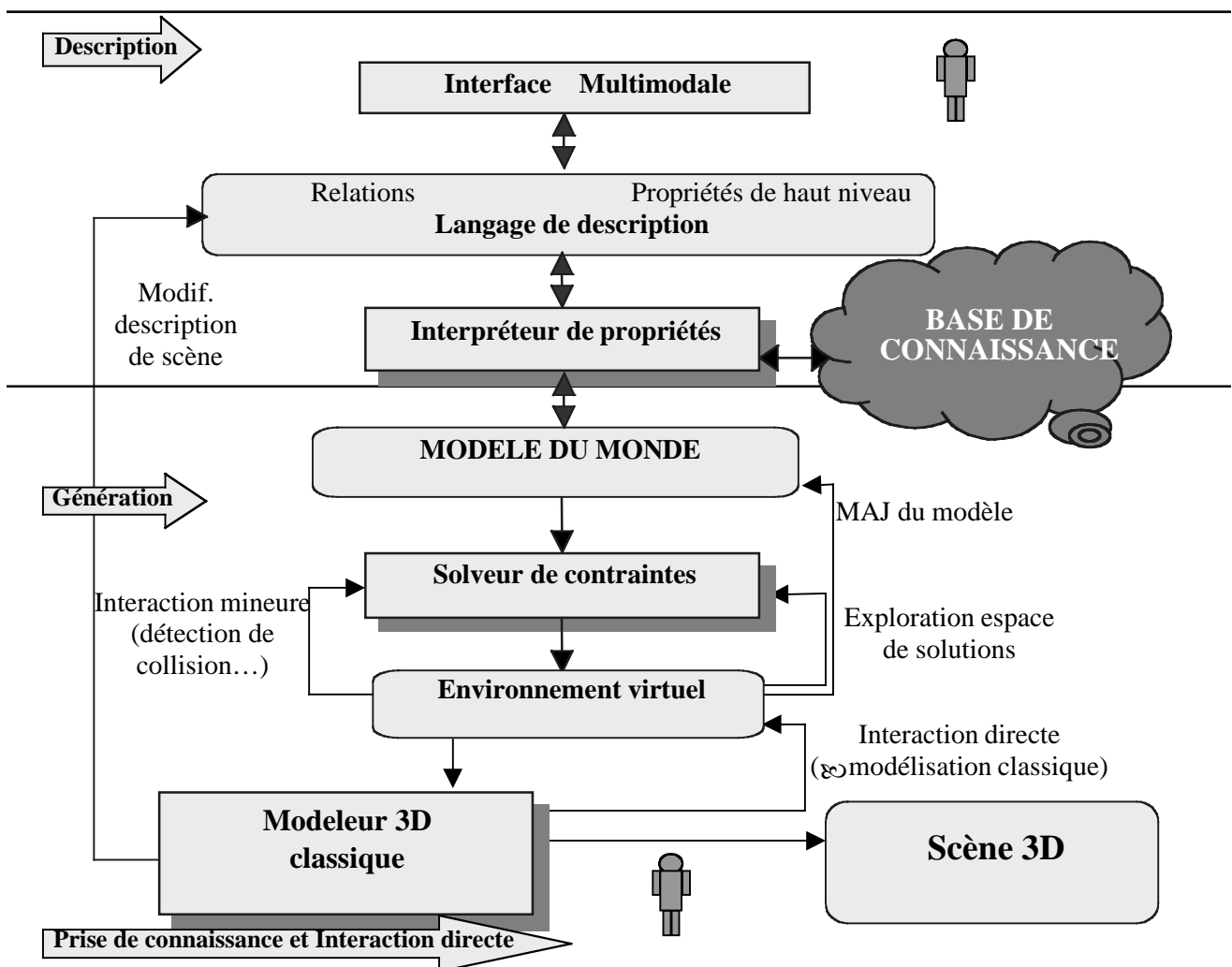


Figure 1 : Synoptique général de DEM<sup>2</sup>ONS

## 2.1 Définition et interprétation des propriétés

Le concepteur doit pouvoir placer les objets dans la scène en énonçant des propriétés à base de prépositions spatiales.

Le concepteur dispose d'une interface lui permettant de modifier dynamiquement la scène en ajoutant, enlevant ou modifiant des propriétés.

Quand le concepteur émet une requête, il a une représentation mentale du résultat que doit lui fournir le système qui repose sur sa connaissance du monde et l'expérience acquise.

Le système doit donc prendre en compte :

- La fonction habituelle des objets à positionner dans la scène (usage *canonique*).
- L'orientation *intrinsèque* des objets.
- La position de l'utilisateur lors de l'expression de la contrainte qui donne l'orientation *déictique* donnée à l'exécution d'une contrainte.
- La position d'un objet particulier appelé *objet polarisant* qui oriente automatiquement le reste de la scène. Comme un écran de cinéma oriente les fauteuils face à lui.

Dans le cadre du projet DEM<sup>2</sup>ONS, l'aspect multimodal a tout d'abord été étudié et développé grâce à une collaboration avec l'équipe IHM-PT (Interface Homme Machine, Parole et Texte) de l'IRIT [GVCP93].

L'expression orale des propriétés s'est alors montrée rapidement bridée par l'utilisation d'un langage aux possibilités réduites ainsi que par le traitement procédural de ces propriétés.

Afin d'augmenter la puissance de résolution du modeleur DEM<sup>2</sup>ONS, les propriétés ont été gérées grâce à une approche par contraintes (intégration d'un solveur basé sur les CSP [KWA98]).

Jusqu'à présent, nos travaux ont essentiellement porté sur la modélisation de scènes 3D et donc les contraintes acceptées ont été uniquement de nature géométrique.

Or les objets du monde réel possèdent une sémantique propre qui prend en compte des aspects fonctionnels et pragmatiques. Pour pouvoir intégrer de façon pertinente ces objets dans un environnement virtuel, il faut pouvoir modéliser la connaissance du monde réel pour l'intégrer aux objets gérés par le modeleur grâce à un ensemble étendu de propriétés.

Une première collaboration a eu lieu avec l'équipe LRC (Langage, Raisonnement et Calcul) de l'IRIT concernant l'analyse des prépositions spatiales.

Cette collaboration doit être approfondie pour aboutir à un outil de modélisation déclarative de scènes virtuelles qui prenne en compte les aspects fonctionnels et pragmatiques des objets, permettant une expression orale suffisante des propriétés.

Il est en effet important que le modeleur fournisse un résultat conforme aux attentes du concepteur, en rapport avec son vécu (ses habitudes langagières), le cadre sur lequel porte la tâche de modélisation (architecture de bâtiment, aménagement d'intérieur, P.A.O., ...).

## 2.2 Génération automatique de scènes

Une autre aspect de notre étude concerne la génération de scènes proprement dite, à partir des propriétés traduites en contraintes puis analysées par un solveur de contraintes.

La génération d'environnements virtuels nécessite un solveur de contraintes robuste et efficace (pour pouvoir être intégré dans une application interactive) et permettant la construction de scènes "réalistes" (le réalisme étant ici fortement dépendant du contexte de l'environnement virtuel en cours de conception).

Le solveur de contraintes qui doit résoudre un tel système de contraintes doit donc être :

- Dynamique : pour permettre d'ajouter, enlever ou de modifier interactivement des contraintes.
- Hiérarchique : quand une contradiction est détectée, la hiérarchie des contraintes permet de déterminer les contraintes qui doivent être relâchées.
- Efficace et robuste : pour toujours fournir une solution ou plusieurs solutions (même dégradées en cas de conflit) dans des délais compatibles avec une application interactive.

Les contraintes que nous souhaitons intégrer dans DEM<sup>2</sup>ONS peuvent être :

- des contraintes purement géométriques : ne tenant compte d'aucun aspect fonctionnel des objets contraints (actuellement seules prises en compte),
- des contraintes fonctionnelles,
- des contraintes pragmatiques,
- et des contraintes symboliques.

Kwaiter et Charman ont tous deux proposé un modèle de résolution de contraintes pour résoudre le problème qui nous intéresse.

ORANOS [KWA98] est basé sur les DHNSCP (Dynamic Hierarchical Numeric Constraint Satisfaction Problem) et l'algèbre d'intervalles [SNY92]. Chaque objet est placé dans une boîte englobante isothétique<sup>3</sup>. Ce sont les boîtes qui sont placées dans la scène.

ORANOS est en fait un solveur dynamique et hiérarchique non dédié à une classe particulière d'applications. Mais il se révèle inefficace pour traiter les problèmes de placement dans un environnement 3D, spécialement quand on désire placer des objets non parallèles aux axes.

EAAS<sup>4</sup> [CHA95] est une plate forme dédiée à l'aménagement spatial basée sur une extension des CSP, les SCSP (Spatial Constraint Satisfaction Problem) défini par un triplet (O, G, C). Voir figure 2.

CSP	SCSP
V: ensemble de variables	O : ensemble d'objets
D: ensemble de domaines	G : ensemble de configurations
C: ensemble de contraintes	C : ensemble de contraintes géométriques

**Figure 2 : CSP vs SCSP**

Résoudre un SCSP consiste à déterminer, pour chaque objet, un triplet (O,P,T) de telle sorte que l'ensemble des contraintes soit respecté. Les objets (resp. les configurations) d'un SCSP jouent le rôle des variables (resp. des domaines) dans un CSP.

Dans EAAS, l'espace de placement est une partie du plan et les objets sont des rectangles. Les objets manipulés par EAAS sont uniquement des rectangles isothétiques.

<sup>3</sup> Une boîte englobante isothétique est une boîte dont les faces sont parallèles aux axes du repère de la scène.

<sup>4</sup> EAAS : Environnement d'Aide à l'Aménagement Spatial.

Or, pour pouvoir générer des environnements virtuels réalistes, l'impossibilité de gérer efficacement des objets d'orientation quelconque devient un obstacle inadmissible.

Nous étudions actuellement un nouveau solveur de contraintes (basé sur les Dynamic Hierarchical Spatial CSP : JACADI<sup>5</sup> [LGC00]) plus adapté aux besoins du modéleur déclaratif, pouvant fournir efficacement une solution en cas de placements complexes (notamment en cas d'objets non isothétiques).

### **2.3 Interaction des actions du concepteur dans la gestion des relations spatiales**

L'interaction directe à partir de modéleurs classiques ne doit pas être exclue de notre approche car elle offre l'avantage de tirer parti de nombreux outils de création et de manipulation de formes existants dans des outils du commerce très répandus.

Ces modéleurs classiques ont par contre deux inconvénients majeurs :

- ils n'offrent pas de connaissances sur les relations spatiales entre objets,
- ils ne permettent pas de poser et maintenir des relations entre objets.

Il peut être possible "d'augmenter" l'interface d'un modéleur classique afin de palier les deux inconvénients de tels solveurs en intégrant dans les contraintes des informations spatiales obtenues à partir d'une scène 3D purement géométrique.

Les actions directes du concepteur dans la scène, sont effectuées au moyen de dispositifs d'entrées textuels ou gestuels mais il faut qu'une action de placement directe dans la scène soit comprise et intégrée dans les contraintes gérées par le solveur.

Des travaux concernant cet axe ont déjà été menés. Dans ses travaux, Sellinger [SEL98] s'est intéressé au couplage entre un modéleur géométrique classique et un modéleur déclaratif. En séparant l'activité de modélisation en deux étapes (conception et construction), il montre l'intérêt d'un cadre coopératif (CCAO<sup>6</sup>) et pose les problèmes du maintien des connaissances et du transfert d'informations entre les deux entités.

Pour notre étude, il nous semble important d'étudier ce type d'interactions dans le cadre d'un environnement virtuel disposant de dispositifs d'entrée évolués afin de permettre au concepteur d'agir directement, alors qu'il se trouve en immersion et est en train d'évoluer dans la scène en cours de conception.

## **3. Une approche par décomposition hiérarchique**

Pour permettre une description des propriétés d'une scène à différents niveaux de détail, la modélisation déclarative par décomposition hiérarchique a été introduite [PLE91]. Cette technique de modélisation utilise une description hiérarchique descendante et fonctionne selon le principe suivant :

---

<sup>5</sup> Jacques à dit : "place la table contre le mur" ...

<sup>6</sup> CCAO : Conception Coopérative Assistée par Ordinateur.

*Si une scène est facile à décrire, elle est décrite à l'aide d'un nombre réduit de propriétés. Dans le cas contraire, la scène est partiellement décrite à l'aide des propriétés existantes, puis elle est décomposée en un certain nombre de parties et chaque partie est décrite selon le même processus.*

La modélisation déclarative par décomposition hiérarchique est mise en œuvre à l'Université de Limoges à l'aide du modèleur déclaratif MultiFormes.

### 3.1 Les propriétés spatiales

Les propriétés prédéfinies permettant de décrire une scène dans MultiFormes sont de deux types :

- propriétés **de taille** (inter-dimensions), telles que « plus haut que large », « aussi haut que profond », etc.,
- propriétés **de forme**, telles que « allongé », « très arrondi », etc.

D'autres propriétés permettent d'exprimer des relations spatiales entre les différentes parties d'une scène lors de sa décomposition. Ces propriétés sont également de deux types :

- propriétés **de placement**, telles que « posé dessus », « collé à gauche », etc.,
- propriétés **de taille** (inter-scènes), telles que « plus grand que », « plus volumineux que », etc.

### 3.2 Génération de solutions multi-niveaux

Grâce au principe de la modélisation par décomposition hiérarchique, MultiFormes permet de décrire des scènes à différents niveaux de détail et même à des niveaux de détails différents pour les différentes parties de la scène. Le modèleur est également capable d'engendrer des scènes comportant des parties décrites grossièrement et d'autres décrites beaucoup plus finement.

Dans la version la plus récente de MultiFormes [BON99, BON00], chaque propriété connue par le modèleur est transformée en un ensemble de contraintes arithmétiques, essentiellement linéaires. Des techniques spécifiques de satisfaction de contraintes sont utilisées pour la génération des solutions. Plus précisément, chaque contrainte de l'ensemble des contraintes décrivant une propriété est décomposée en :

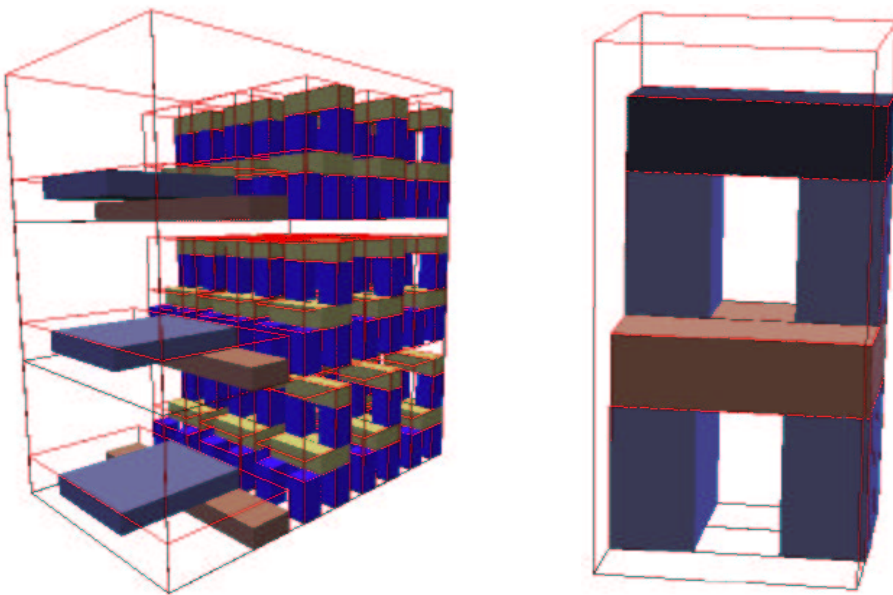
- un ensemble de contraintes arithmétiques simples,
- un ensemble de contraintes primitives associées, de la forme «  $X \text{ in } D$  » où  $X$  est une variable et  $D$  un domaine.

Ces techniques sont basées sur la technique CLP(FD) (Constraint Logic Programming on Finite Domain) qui avait été proposée initialement par Pascal Van Hentenryck [VAN89, DIA95].

Dans le cas de MultiFormes, le processus de résolution est appliqué aux contraintes primitives, en effectuant successivement une énumération, puis une propagation des valeurs pour chaque variable.

L'efficacité de la résolution est grandement améliorée grâce à une heuristique qui permet de traiter les variables dans un ordre découlant de l'arbre de décomposition hiérarchique. L'amélioration obtenue peut atteindre un facteur de 1000.

La figure 3 présente deux scènes obtenues par le modèle déclaratif MultiFormes : l'intérieur d'un bâtiment à 3 étages et une chaise.



**Figure 3** : Scènes engendrées par MultiFormes

### 3.3 Interaction avec le concepteur

Un modèle déclaratif peut être utilisé de deux manières différentes, ce qui pourrait correspondre à deux modes de fonctionnement différents :

- le mode **exploration**, où le modèle explore un univers de scènes solutions avec l'objectif d'aider le concepteur à découvrir de nouvelles formes. C'est un mode qui pourrait être utile dans les domaines artistique, architectural, etc.
- le mode **recherche d'une solution**, où le concepteur a des idées relativement précises sur le type de scène qu'il souhaite obtenir et peut aider le modèle à trouver plus rapidement une solution.

Lorsque le modèle est en mode recherche d'une solution, les connaissances supplémentaires du concepteur sur le type de scène souhaitée peuvent éviter au modèle d'effectuer des recherches dans des branches où les solutions ne seraient pas satisfaisantes pour le concepteur. Ainsi, dans ce genre de

situation, la possibilité d'intervention interactive du concepteur peut accélérer le processus de modélisation. Dans MultiFormes, deux types d'intervention interactive du concepteur ont été prévus :

- **Le choix à un niveau de détail réduit.**

Ce type d'intervention tire profit de la possibilité de MultiFormes d'engendrer une scène, ou plutôt les instances d'une scène, à des niveaux de détail variés. Ainsi, le concepteur peut choisir d'effectuer la génération de scènes à un niveau de détail correspondant à une représentation grossière de la scène, qui a l'avantage de donner des solutions très rapidement. A partir des scènes engendrées au niveau de détail courant, le concepteur choisit celle dont la forme générale correspond le mieux à son idée de départ, puis demande une génération complète au niveau de détail le plus fin, en tenant compte de son choix de forme. Le choix du concepteur est pris en compte par le modeleur par l'introduction de nouvelles contraintes. Ces nouvelles contraintes, ainsi que la prise en compte de la propriété d'inclusion de toute sous-scène dans l'espace de la scène parent, inhérente à la décomposition hiérarchique, réduisent le nombre de branches parcourir par le modeleur et conduisent plus rapidement à une solution.

- **Les commentaires et le gel de scènes.**

Quel que soit le niveau de détail choisi pour la génération, le concepteur peut orienter la génération en sélectionnant une partie de la scène engendrée et en intervenant de l'une des deux manières suivantes :

- Si la partie sélectionnée de la scène correspond aux souhaits du concepteur, il est inutile que le modeleur cherche d'autres solutions pour cette partie. Aussi, le concepteur peut-il demander le **gel** de cette partie de la scène. Ce gel peut être complet (forme + position) ou ne concerner que la forme. Désormais, le modeleur ne cherchera pas à engendrer d'autres solutions pour cette partie de la scène [PLE98].
- Si la partie sélectionnée ne correspond pas tout à fait aux souhaits du concepteur, ce dernier a également la possibilité de l'indiquer et d'indiquer également en quoi cette partie de scène ne correspond pas à ses souhaits en utilisant des **commentaires**. Il peut ainsi indiquer qu'une partie de scène n'est pas assez haute, qu'une autre partie est trop large ou qu'une partie A n'est pas assez éloignée d'une partie B. Les commentaires du concepteur réduisent les domaines de définition des variables et permettent d'aboutir plus rapidement à des solutions satisfaisantes [PLE98].

La combinaison des commentaires, du gel et du choix à un niveau de détail réduit permettent au modeleur de converger rapidement vers le type de scènes souhaité par le concepteur.

### 3.4 Autres fonctionnalités

Un certain nombre de fonctionnalités supplémentaires ont été associées à MultiFormes dans ses différentes versions. Nous présentons ici une liste non exhaustive de ces fonctionnalités.



- **Apprentissage.**

Des mécanismes d'apprentissage, basés sur un réseau de neurones engendré automatiquement à partir de la description de la scène, ont été intégrés dans MultiFormes [PLE98]. Les choix du concepteur, à partir des scènes engendrées, permettent d'ajuster les poids des connexions entre les neurones et d'apprendre ainsi au système à engendrer des scènes proches de ses goûts.

- **Prise de connaissance.**

Le concepteur peut ne pas avoir une connaissance suffisante d'une scène engendrée par un modelleur déclaratif du fait que les propriétés données au départ peuvent être imprécises. Des mécanismes de prise de connaissance d'une scène sont un complément indispensable d'un modelleur déclaratif. Dans cette optique, nous avons développé deux sortes de mécanismes. Un mécanisme de recherche automatique d'un bon point de vue et des mécanismes d'exploration d'une scène par une caméra [PLE96, BAR99, BAR00a, BAR00b].

- **Couplage avec un modelleur classique.**

Un modelleur déclaratif étant souvent très coûteux, son couplage avec un modelleur géométrique classique permet de ne pas s'occuper des détails lors de la modélisation déclarative et d'affiner ensuite les différentes parties à l'aide du modelleur géométrique classique. Un travail dans ce domaine a été effectué [SEL98], avec des résultats relativement satisfaisants.

- **Bases de connaissances et concepts.**

Un modelleur déclaratif ne peut être pleinement opérationnel que s'il comporte une base de connaissances permettant de retrouver des connaissances déjà utilisées (descriptions, déclaratives, scènes, images, etc.). Dans une collaboration avec le TEI d'Athènes (Grèce), une version de MultiFormes est intégrée dans un système comportant une base de connaissances. Des travaux sont menés pour y intégrer la notion de concept permettant de regrouper certains types de scènes (maison, voiture, etc.) en retenant ce qui les rend similaires.

## 4. Conclusion

L'utilisation de l'approche déclarative dans la conception et la modélisation spatiales permet au concepteur de s'affranchir de problèmes de bas niveau, tout en lui offrant une aide à la conception que les modelleurs géométriques classiques sont incapables de lui apporter.

Nous avons présenté ici deux approches de modélisation déclarative utilisant des contraintes pour exprimer des propriétés de haut niveau. Différentes techniques de satisfaction de contraintes sont utilisées pour la génération de scènes.

L'utilisation de contraintes dans un processus de conception en général, et de modélisation déclarative en particulier est un outil puissant qui permet la définition et la prise en compte de relations complexes entre objets. A ces contraintes, qui expriment de manière interne les propriétés d'une scène, doivent être associés un certain nombre d'outils, en particulier un langage de description de scènes et un solveur de contraintes efficace.

Un langage de description de scènes approprié, suffisamment souple et expressif, doit permettre au concepteur l'expression de scènes relativement complexes sans que son imagination ne soit bridée - ni trahie - par l'outil utilisé.

Un solveur de contraintes efficace et robuste (dont la phase de recherche de solutions s'effectue sur des domaines auparavant filtrés afin d'éliminer le plus possible de valeurs non valides) permet d'augmenter la capacité de production d'un concepteur en lui permettant de se concentrer sur des tâches de haut niveau.

Toutefois, les informations géométriques doivent pouvoir être tout de même manipulées afin de permettre une intervention directe du concepteur sur la scène en cours de modélisation. Mais le maintien du résultat de ces interventions ne pourra se faire qu'à la condition d'en extraire des contraintes géométriques qui pourront être ajoutées au modèle de la scène.

L'intégration efficace de ces outils est l'un des objectifs des recherches que nous menons actuellement.

## 5. Bibliographie

- [BAR99] P. Barral, G. Dorme, D. Plemenos. Visual understanding of a scene by automatic movement of a camera, GraphiCon'99, Moscow (Russia), August 26 - September 1, 1999.
- [BAR00a] P. Barral, G. Dorme, D. Plemenos. Visual understanding of a scene by automatic movement of a camera, Eurographics 2000, short paper.
- [BAR00b] P. Barral, G. Dorme, D. Plemenos. Visual understanding of a scene by automatic movement of a camera, International conference 3IA'2000, Limoges (France), March 3-4, 2000.
- [BON99] P.-F. Bonnefoi. Techniques de satisfaction de contraintes pour la modélisation déclarative. Application à la génération concurrente de scènes. Thèse de Doctorat, Université de Limoges – Juin 1999.
- [BON00] P.-F. Bonnefoi, D. Plemenos. Constraint satisfaction techniques for declarative scene modelling by hierarchical decomposition. International Conference 3IA'2000, May 3-4, 2000, Limoges (France).
- [CHA95] P. Charman. Gestion des contraintes géométriques pour l'aide à l'aménagement spatial. Thèse de Doctorat, Ecole nationale des Ponts et Chaussées – Novembre 1995.
- [CHP98] L. Champciaux. Introduction de techniques d'apprentissage en modélisation déclarative. Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Nantes – Juin 1998.
- [DEC98] R. Dechter. Backtracking algorithms for constraint satisfaction problems. A survey, An ICS Technical Report, April 20, 1998.
- [DES98] E. Desmontils. Le projet CodiFormes : une plate-forme pour la construction de modeleurs déclaratifs. Thèse de Doctorat, Université de Nantes, Janvier 1998.
- [DH93] S. Donikian, G. Hégron. A Declarative Design Method for 3D Scene Sketch Modeling. In EUROGRAPHICS'93, Vol.12 (33) :223-236, 1993.
- [DIA95] D. Diaz. A study of compiling techniques for logic languages for programming by constraints on finite domains: the clp(FD) system. Thèse de doctorat, Orléans, 1995.
- [GEODE] Groupe de travail en modélisation déclarative, équipe du GDR-PRC AMI, constituée de l'équipe MGII de l'institut de Recherche en Informatique de Nantes, du CERMA de l'école d'Architecture de Nantes, et de l'équipe synthèse d'images de l'Ecole des Mines de Nantes.
- [GVCP93] V. Gaildrat, N. Vigouroux, R. Caubet, G. Perennou. Conception d'une interface multimodale pour un modeleur déclaratif de scènes tridimensionnelles pour la synthèse d'images, Interface to Real & Virtual worlds, Montpellier, mars 1993.
- [KGC98a] G. Kwaiter, V. Gaildrat, R. Caubet. Controlling Objects Natural Behaviors with 3D Declarative Modeler. In Proceeding of Computer Graphics International, CGI'98, Hanover, Germany, pages 248-253, 24-26 June 1998.
- [KGC98b] G. Kwaiter, V. Gaildrat, R. Caubet. Modelling with Constraints : A Bibliographical Survey. In Proceeding of International Conference on Information Visualization, IV'98, London UK, 29-31 July, 1998.
- [KWA98a] G. Kwaiter, V. Gaildrat, R. Caubet. Integrating an Incremental Constraint Solver With a High Declarative Modeler for 3D Graphics Applications. In Proceeding of Practical Application of Constraint Technology, PAPPACT'98, pages 475-489, London UK, 25-27 March 1998.

- [KWA98d] G. Kwaiter. Modélisation déclarative de scènes : étude et réalisation de solveurs de contraintes. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier – Toulouse, Décembre 1998.
- [LGC00] O. Le Roux, V. Gaildrat, R. Caubet. Design of a New Constraint Solver for 3D Declarative Modelling: JACADI,3IA : Infographie Interactive et Intelligence Artificielle, Limoges, Mai 2000.
- [LHO94] O. Lhomme. Contribution à la résolution de contraintes sur les réels par propagation d'intervalles. Thèse de Doctorat, Université de Nice, Sophia-Antipolis, 1994.
- [SNY92] J. M. Snyder. Interval Analysis for Computer Graphics. Siggraph '92. Computer Graphics, 26, 2 Juillet 1992.
- [PLE91] D. Plemenos. Contribution à l'étude et au développement des techniques de modélisation, génération et visualisation de scènes : Le projet Multiformes. Thèse de Doctorat d'Etat, Nantes, Novembre 1991.
- [PLE98] D. Plemenos, W. Ruchaud, K. Tamine. Interactive techniques for declarative modelling, International conference 3IA'98, Limoges (France), 28-29 avril 1998.
- [SEL98] D. Sellinger. La modélisation géométrique déclarative, interactive : le couplage d'un modeleur déclaratif et d'un modeleur géométrique classique. Thèse de Doctorat, université de Limoge, 1998.
- [PLE99] D. Plemenos. Declarative modeling by hierarchical decomposition. The actual state of the MultiFormes project., GraphiCon'95, Saint Petersburg (Russia), July 3-7, 1995.
- [PLE96] D. Plemenos, M. Benayada. Intelligent display in scene modelling. New techniques to automatically compute good views., GraphiCon'96, Saint Petersburg, July 1996.
- [VAN89] P. Van Hentenryck. Constraint satisfaction in logic programming. Logic Programming Series, MIT Press, 1989.