



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

Projet ISA

Modélisation, Simulation et Image

Nancy

THÈME 3B

*R*apport
d'Activité

1999

Table des matières

1	Composition de l'équipe	4
2	Présentation et objectifs généraux	5
3	Fondements scientifiques	6
3.1	Reconstruction de surfaces et de volumes	6
3.1.1	Méthode DSI	2
3.1.2	Algorithmes pour les maillages de simplexes	2
3.1.3	Construction automatique de modèles volumiques à partir de coupes sériées	3
3.1.4	Projection de textures sans déformation	4
3.1.5	Lissage sous contraintes de surfaces triangulées	4
3.2	Reconnaissance Graphique	7
3.2.1	Analyse de documents techniques	7
3.2.2	Les étapes	8
3.2.3	Acquis, espoirs et défis	9
3.2.4	La modélisation à partir de plans	10
3.3	Rendu Réaliste	11
3.3.1	Algorithmes à base d'ondelettes	12
3.3.2	Résolution du système	13
3.3.3	Algorithmes de visibilité	14
3.3.4	Architecture logicielle	15
3.4	Réalité augmentée	15
3.4.1	Recalage à partir de points : minimisation de l'erreur de reprojection . .	18
3.4.2	Recalage à partir de courbes de forme libre	18
3.4.3	Calcul du point de vue combinant des informations 3D sur la scène et des mises en correspondance 2D/2D automatiques	20
3.4.4	Recalage automatique d'images d'angiographie soustraite 2D et 3D . . .	21
3.5	Graphisme haute performance	21
3.5.1	Parallélisation d'algorithmes hiérarchiques	22
3.6	Géométrie des solides	22
3.6.1	« Enrichissement » et « appauvrissement » de la géométrie	23
3.6.2	Calculs géométriques sur les quadriques	24
3.6.3	Visibilité 3D globale	24
4	Domaines d'applications	26
4.1	Reconstruction de surfaces et de volumes	26
4.2	Rendu Réaliste	26
4.3	Graphisme haute performance	26
4.4	Réalité Augmentée	27
4.5	Géométrie des solides	27

5	Logiciels	27
5.1	Reconstruction de surfaces et de volumes	27
5.2	Reconnaissance Graphique	27
5.3	Rendu Réaliste	28
5.4	Réalité Augmentée	28
5.5	Graphisme haute performance	28
6	Résultats nouveaux	29
6.1	Reconstruction de surfaces et de volumes	29
6.1.1	Modélisation à base topologique	29
6.1.2	Topologie, structure hiérarchisée et intersection de surfaces	30
6.2	Reconnaissance Graphique	30
6.3	Rendu réaliste	33
6.3.1	Maillage virtuel	33
6.4	Réalité augmentée	35
6.4.1	Recalage avec un objectif à focale variable	35
6.4.2	Gestion des occultations	36
6.4.3	Reconstruction dynamique du ventricule	38
6.5	Graphisme haute performance	38
6.5.1	Gestion dynamique de mémoire partagée de grande taille	38
6.5.2	Combinaison d'environnements multi-processeurs et de pipeline graphiques	39
6.5.3	Accélération multi-pipelines pour la visualisation scientifique	39
6.6	Géométrie des solides	41
6.6.1	Interpolation avec contraintes sur la courbure	42
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	43
7.1	Reconstruction de surfaces et de volumes	43
7.2	Reconnaissance Graphique	43
7.2.1	Reconstruction 3D d'intérieurs de bâtiments à partir des plans d'architecture — contrat CNET	43
7.2.2	Collaboration avec la société FS2I	43
7.3	Rendu Réaliste	44
7.4	Réalité Augmentée	44
7.5	Graphisme haute performance	44
8	Actions régionales, nationales et internationales	45
8.1	Actions régionales	45
8.1.1	Collaboration avec le projet PAROLE	45
8.2	Actions nationales	45
8.2.1	Communications Homme-Machine	45
8.2.2	Geometrica	45
8.2.3	Ultrasons 3D	45
8.2.4	ISIS	45

8.3	Actions internationales	46
8.3.1	Conversion de cartes pour les pays en développement	46
8.3.2	Analyse de plans architecturaux et reconnaissance de symboles	46
8.3.3	Imagerie médicale	46
8.3.4	Journaux	46
8.3.5	Congrès	46
8.4	Visites, et invitations de chercheurs	47
8.4.1	Reconnaissance Graphique	47
8.4.2	Rendu réaliste	47
8.4.3	Graphisme haute performance	47
8.4.4	Géométrie des solides	47
9	Diffusion de résultats	47
9.1	Enseignement	47
9.2	Participation à des colloques, conférences invitées...	48
10	Bibliographie	48

ISA est un projet du LORIA (UMR 7503) commun au CNRS, à l'INRIA, à l'Université Henri POINCARÉ Nancy 1, à l'Université Nancy 2 et à l'Institut National Polytechnique de Lorraine.

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Jean-Claude Paul

Responsable permanent

Karl Tombre [professeur, INPL¹–École des Mines de Nancy]

Assistante de projet

Isabelle Herlich [TR Inria]

Personnel Inria

Laurent Alonso [CR]

Marie-Odile Berger [CR]

Nicolas Holzschuch [CR]

Sylvain Lazard [CR]

Personnel CNRS

Gérald Masini [CR]

Sylvain Petitjean [CR]

Personnel Université

Pierre Bouchet [MC, UHP², responsable des moyens informatiques du LORIA]

Suzanne Collin [MC, UHP]

Hazel Everett [Professeur, Université Nancy 2.]

Jean-Laurent Mallet [professeur ENSG³, président du consortium gOcad]

Salvatore Tabbone [MC, Université Nancy 2]

Laurent Wendling [MC, IUT de Saint-Dié]

Brigitte Wrobel-Dautcourt [MC, UHP]

1. Institut National Polytechnique de Lorraine

2. Université Henri Poincaré Nancy 1.

3. École Nationale Supérieure de Géologie

Chercheurs doctorants

Hervé Barthélémy [CIFRE OPTIS]
Xavier Cavin [allocataire MENESR]
Stéphane Conreaux [consortium gOcad]
François Cuny [allocataire MENESR]
Mathieu Dazy [allocataire MENESR]
Philippe Dosch [ATER]
Erwan Kerrien [CIFRE GEMSE]
Vincent Lepetit [allocataire MENESR]
Bruno Levy [BDI CNRS cofinancée Industrie]
Nicolas Ray [BDI CNRS cofinancée Industrie]
Gemma Sánchez [assistante à l'UAB⁴ et bourse de mobilité (co-tutelle de thèse)]
Gilles Simon [allocataire MENESR]
Jean-Christophe Ulysse [boursier INRIA]
Éric Wies [allocataire MENESR]

Chercheur post-doctorant

Christophe Winkler [Post-Doc INRIA]

Start-up

Slimane Merzouk [Post-Doc INRIA (jusqu'au 20 septembre 1999)]

Stagiaires

Éric Colin de Verdier
Jean-Pierre Laurent [(jusqu'au 20 septembre 1999)]

2 Présentation et objectifs généraux

Le projet Isa effectue des recherches dans deux domaines complémentaires : l'*informatique graphique*, dont l'un des principaux objectifs est de générer des images à partir de modèles géométriques 3D, et la *vision par ordinateur*, dont l'un des principaux objectifs est, à l'inverse, la reconstruction géométrique, explicite ou implicite, de modèles 3D à partir d'images.

Les *problèmes scientifiques fondamentaux* abordés dans Isa sont essentiellement de nature géométrique (géométrie différentielle, géométrie algébrique et projective), numérique (résolution d'intégrale, analyse multi-résolution) et algorithmique (analyse de complexité, algorithmique parallèle). Les *applications logicielles*, réalisées concernent de nombreux domaines : l'architecture, les sciences de la terre, la visualisation scientifique, l'imagerie médicale, ... Elles sont généralement développées en coopération avec l'industrie. En outre, deux start-up, *T-surf* et *Insight Vision*, ont été créées par des membres du projet.

Les thèmes de recherche développés dans Isa sont :

- reconstruction de surfaces et de volumes,

4. Universitat Autònoma de Barcelona

- reconnaissance graphique,
- rendu réaliste,
- réalité augmentée,
- graphisme haute performance,
- géométrie des solides.

3 Fondements scientifiques

3.1 Reconstruction de surfaces et de volumes

Participants : Stéphane Conreux, Mathieu Dazy, Bruno Levy, Jean-Laurent Mallet, Jean-Claude Paul.

Résumé

La simulation d'objets, de phénomènes ou de comportements, est devenue aujourd'hui un outil très important pour la connaissance scientifique, la conception et l'ingénierie. Ces outils, de plus en plus précis et rapides, permettent désormais des investigations nouvelles dans beaucoup de domaines de la connaissance, de la médecine, de l'énergie... En conception et en ingénierie, ils permettent de mettre au point des prototypes, ou de préparer de façon très élaborée des interventions qui, avec des techniques traditionnelles, nécessitent de nombreux essais en vraie grandeur, coûteux et difficiles, voire techniquement impossibles, à réaliser.

La modélisation géométrique définit l'espace géométrique de ces simulations. Elle peut être spécifiée à partir d'un concept par l'utilisateur, ou contrainte de correspondre très fidèlement à la réalité que l'on souhaite simuler. Dans ce cas, on essaye de reconstruire les surfaces et les volumes des objets ou des environnements que l'on veut représenter à partir des données physiques dont on dispose. Dans ce contexte, le projet ISA s'intéresse plus particulièrement à la modélisation du sous-sol et à sa visualisation.

3.1.1 Méthode DSI

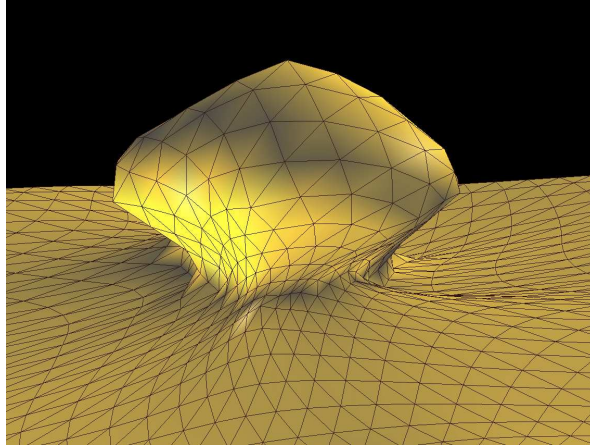


FIG. 1 – Reconstruction d'un dôme de sel par la méthode DSI

Le noyau du modèleur géométrique, développé et implanté dans le logiciel *gOcad*, est une méthode originale de construction de surfaces par interpolation (*Discrete Smooth Interpolation*). Au lieu de proposer des valeurs $z(x,y)$ interpolées sur la base d'un ensemble n de valeurs z_i connues en n positions (x_i, y_i) , elle interpole les valeurs (x,y,z) des nœuds libres d'un graphe spatial à partir des valeurs (x,y,z) connues sur des nœuds dits de contrôle de ce même graphe. Grâce à cet aspect discret, la méthode est particulièrement bien adaptée aux interpolations sur un maillage. Elle permet aussi de prendre en compte des contraintes hétérogènes : celles de l'interpolation pure, posées par la présence de nœuds de contrôle ; celles qui seront respectées au sens des moindres carrés si elles ne sont pas contradictoires, comme l'attraction d'un point par un autre, le maintien d'un vecteur entre deux points libres, le maintien d'une surface sur une autre surface.

La méthode DSI permet de modéliser sous contraintes les objets présentant des formes naturelles (cf. figure 1), où les informations sont parcellaires et de différents types.

3.1.2 Algorithmes pour les maillages de simplexes

Les surfaces triangulées offrent beaucoup de possibilités et de souplesse pour représenter les objets. Des maillages de simplexes, en particulier, peuvent être utilisés pour la représentation 3D de surfaces et de volumes (cf. figure 2).

Nous avons défini des algorithmes pour construire un maillage à partir de divers éléments (ensemble de sommets, courbes ou surfaces limites, coupes sériées...), ou optimiser la qualité des éléments de ces maillages. Parmi les méthodes développées, on peut citer une manière originale pour optimiser une triangulation ou une tétraédrisation de Delaunay par ajouts de points. Nous avons implanté dans le logiciel *gOcad* ces méthodes, en privilégiant la robustesse des algorithmes et la possibilité pour l'utilisateur de remettre en cause les choix faits automatiquement.

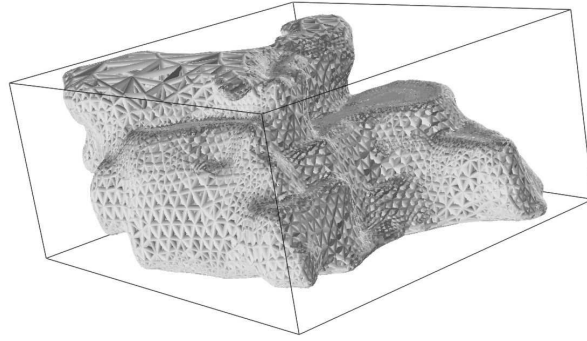


FIG. 2 – Maillage de simplexe pour la représentation 3D de volumes

3.1.3 Construction automatique de modèles volumiques à partir de coupes s eries

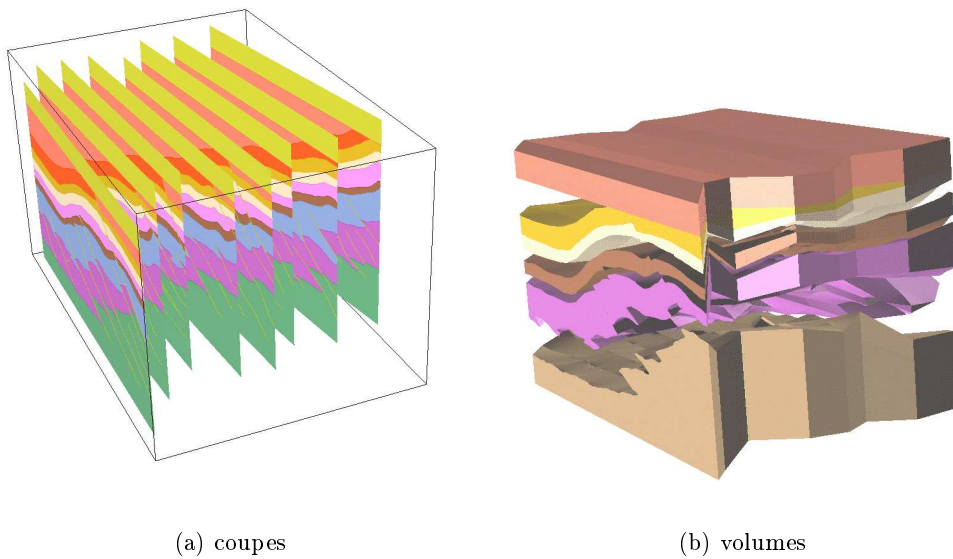


FIG. 3 – Construction automatiques de mod es volumiques à partir de coupes s eries

Les coupes géologiques sont un type particulier de données qui peuvent être prises en compte pour construire des surfaces. Ces coupes représentent un ensemble de lignes correspondant aux limites des couches géologiques (cf. figure 3(a)).

La méthode de reconstruction que nous avons développée pour prendre en compte ces données est fondée sur l'intégration d'informations topologiques et géométriques. Elle utilise un modèle topologique non-variété B-rep construit à partir des structures de données mises

au point par Kevin Weiler. La méthode comporte deux étapes principales : la construction de surfaces triangulées à partir des coupes 2D, et la construction des régions d'un modèle volumique à partir de l'ensemble des surfaces (cf. figure 3(b)).

3.1.4 Projection de textures sans déformation

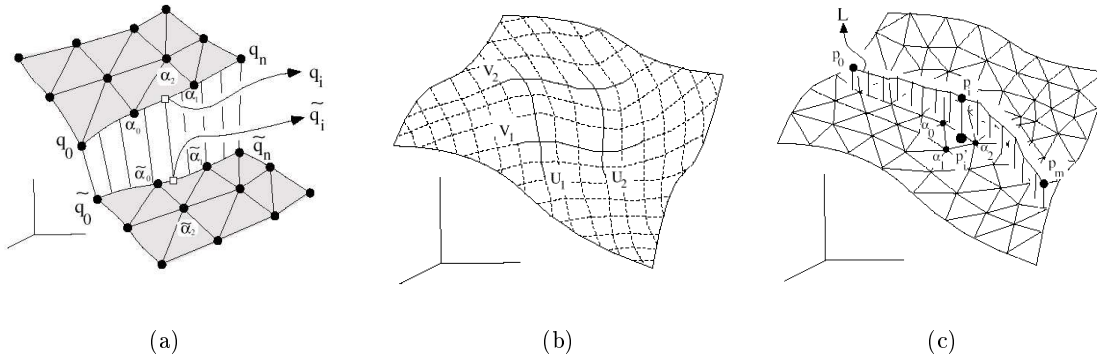


FIG. 4 – Minimisation des distorsions de l'espace paramétrique

Pour améliorer la qualité visuelle des surfaces 3D qui ont été modélisées, on utilise fréquemment une technique consistant à projeter une texture (*texture mapping*) sur la surface considérée. Cette technique génère malheureusement souvent des déformations. Pour éviter cet inconvénient, nous avons développé une méthode globale d'optimisation, dans laquelle les coordonnées des textures sont associées aux sommets de la triangulation en utilisant un algorithme d'optimisation honorant un ensemble de contraintes qui minimisent les distorsions. Comparée aux autres techniques d'optimisation, notre méthode permet à l'utilisateur de spécifier les zones de surface où des distorsions devraient être minimisées par ordre de préférence. Par exemple, il est facile d'aligner les détails d'une texture sur les détails du modèle en spécifiant une courbe isoparamétrique (cf. figure 4(a)), d'extrapoler un mapping à partir de 4 courbes isoparamétriques spécifiées par l'utilisateur (cf. figure 4(b)), ou encore de connecter les bords d'une surface déchirée dans un espace de texture (cf. figure 4(c)).

Cette méthode peut être appliquée dans de nombreuses applications graphiques (cf. figure 5). Nous l'utilisons dans le domaine de la visualisation du sous-sol, où les surfaces triangulées sont souvent très complexes.

3.1.5 Lissage sous contraintes de surfaces triangulées

La subdivision de surfaces triangulées est un domaine de recherche ayant récemment fait son apparition en modélisation 3D, pour permettre la mise en œuvre de méthodes multi-résolution. Partant d'un maillage simple, on le subdivise et on affecte des coordonnées aux nouveaux points en fonction des anciens.

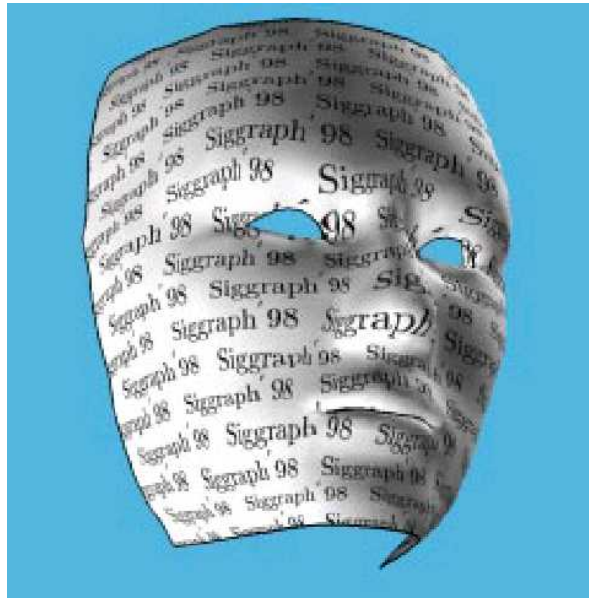
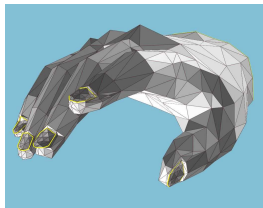
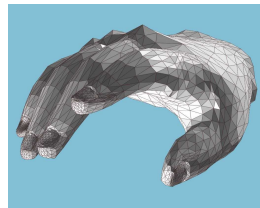


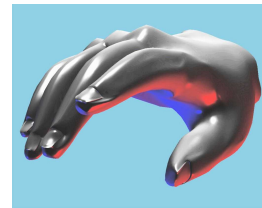
FIG. 5 – *Projection de textures sans déformation*



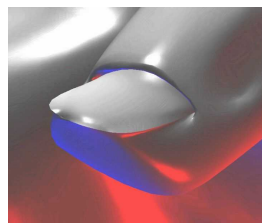
(a)



(b)

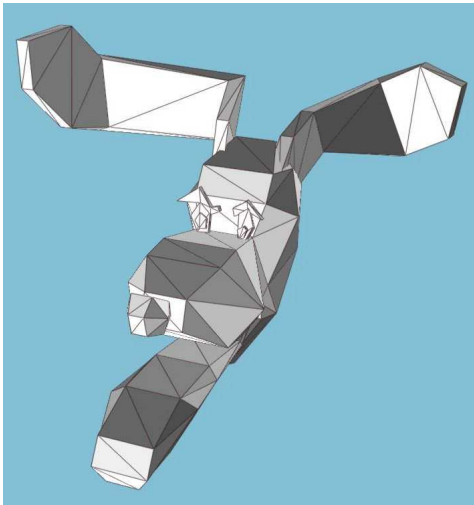


(c)

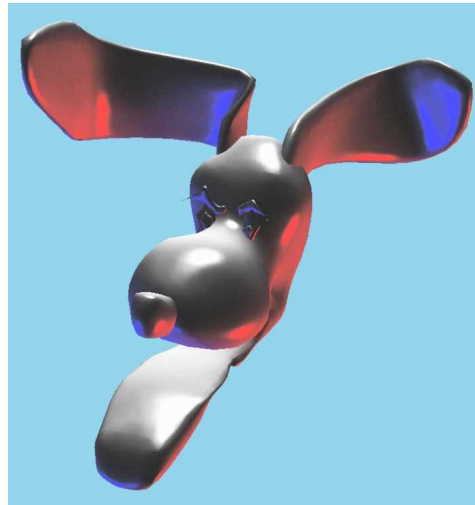


(d)

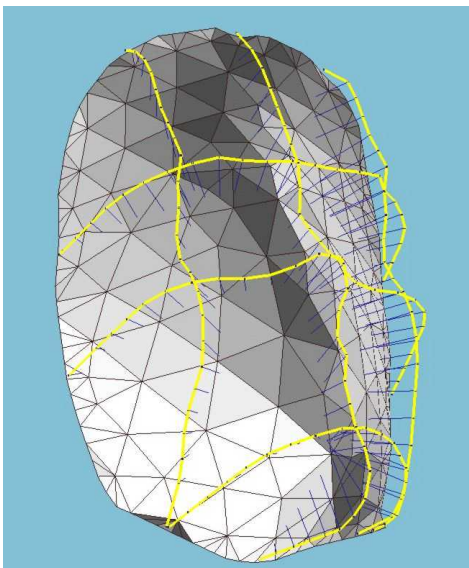
FIG. 6 – *Lissage sous contrainte de surfaces triangulées (modèle fourni par Alias/Wavefront)*



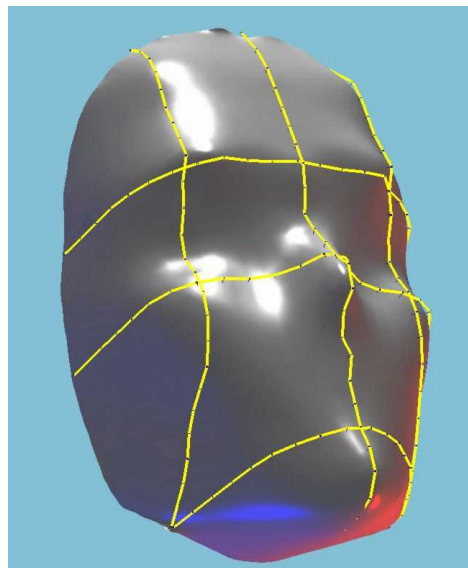
(a) Modèle original



(b) Résultat final, après lissage

FIG. 7 – *Lissage sous contrainte (modèle fourni par Alias/Wavefront)*

(a) Les contraintes



(b) Résultat final, après lissage

FIG. 8 – *Spécifications de contrainte pour lissage (modèle fourni par Alias/Wavefront)*

Nous avons étudié une méthode de subdivision permettant de lisser sous contrainte des maillages arbitraires. Cette méthode satisfait les exigences des méthodes classiques de subdivision (topologie arbitraire,...) mais ne souffre pas de certaines limitations inhérentes à ces méthodes, comme la nécessité de connectivité entre surfaces subdivisées. En outre, elle offre un haut degré de flexibilité. Ainsi, il est possible de définir des zones de surfaces à lisser par ordre de préférence et des contraintes peuvent être prises en compte.

Les illustrations montrent :

- un maillage simple représentant une main, les arêtes à ne pas lisser sont en jaune (autour des ongles), le maillage obtenu après une étape de subdivision, la surface finale et un zoom sur l'ongle du pouce (figure 6),
- une tête de chien : modèle original (peu de triangles) et le résultat final, après lissage (figure 7),
- un exemple de spécifications de contraintes : le maillage vient se « coller » sur les lignes de contraintes (figure 8).

3.2 Reconnaissance Graphique

Participants : Suzanne Collin, Philippe Dosch, Gérald Masini, Gemma Sánchez, Salvatore Tabbone, Karl Tombre, Laurent Wendling.

Résumé : *L'analyse de documents techniques permet de passer de l'image numérisée d'un document graphique à des modélisations de type CAO plus ou moins précises. Il s'agit avant tout d'un problème d'analyse d'image, l'extraction d'indices consistant à segmenter les images binaires en vecteurs ou en composantes connexes. Mais un tel document ou plan contient aussi beaucoup d'informations symboliques, dans la mesure où il permet d'exprimer dans un langage commun à un ensemble de métiers des données de conception, de fabrication ou de construction. La reconstruction proprement dite s'appuie donc à la fois sur les indices visuels qu'on peut extraire de l'image, et sur cette connaissance contextuelle particulièrement riche.*

C'est dans ce contexte général de reconnaissance de graphiques que se situe notre recherche sur la modélisation à partir de plans. L'idée principale est de tirer profit de la masse d'informations disponibles dans divers plans, de manière exclusive ou en complément d'autres données plus « classiques » au sens de la vision par ordinateur, pour reconstruire des modèles géométriques, a priori tridimensionnels, des environnements que nous traitons, notamment les environnements urbains et les ensembles architecturaux.

3.2.1 Analyse de documents techniques

Dès que l'informatique a quitté le domaine strict du calcul scientifique et des applications militaires, au début des années 1950, une des premières applications explorées a été la reconnaissance optique de caractères imprimés. À l'époque, on pensait aboutir rapidement à une machine qui saurait lire automatiquement n'importe quel document. Cependant, malgré des premiers résultats encourageants, il s'avéra rapidement qu'un taux de reconnaissance supérieur

à 90% de caractères reconnus ne suffit pas pour fournir un service satisfaisant à l'utilisateur. Il faut en fait dépasser la notion de taux de reconnaissance de caractères isolés si on veut espérer faire des progrès significatifs dans ce domaine. C'est là qu'intervient la notion d'*analyse de documents*⁵, qui s'intéresse à la compréhension globale d'un document, et non seulement à la reconnaissance isolée de certains de ses éléments [BBY92,OK95,TLS96].

Dans ce domaine, l'essentiel des efforts a porté sur l'analyse de documents où le texte est prépondérant. De nombreuses méthodes ont été proposées, à la fois pour la vérification syntaxique, voire contextuelle, des résultats de la reconnaissance de caractères, et pour l'analyse spatiale de la page de document.

Depuis une dizaine d'années, notre équipe fait partie de ceux qui se sont penchés sur une autre catégorie : les documents graphiques et dessins techniques, où l'essentiel de l'information est de nature graphique, et où il ne s'agit pas seulement de reconnaître du texte, mais aussi de retrouver une information structurée, par exemple un modèle géométrique de type CAO ou des données géographiques structurées. Nous avons ainsi pendant plusieurs années exploré plusieurs aspects de l'interprétation de dessins d'ingénierie, en vue de les convertir en une représentation CAO [Tom96].

3.2.2 Les étapes

Pour construire un système d'analyse de documents graphiques, il faut disposer de solutions algorithmiques efficaces aux problèmes suivants :

Binarisation : quand on travaille sur des plans, souvent de piètre qualité, avec des pliures et des taches, il faut mettre en œuvre des méthodes perfectionnées pour convertir l'image à niveaux de gris obtenue par numérisation en une image binaire aussi « propre » que possible. Les méthodes en question sont soit de type calcul adaptatif du seuil, soit à base de détection de contours.

Segmentation : il s'agit d'extraire de l'image du document les caractères formant le texte d'un côté et les parties graphiques de l'autre. Ces dernières doivent parfois être segmentées plus finement, par exemple en traits fins et traits forts. À un niveau de segmentation encore plus fin, on retrouve le regroupement des éléments de l'image correspondant à une « couche » logique, par exemple la cotation.

Vectorisation : c'est la conversion de la partie graphique en une description vectorielle, sous forme de segments de droite, d'arcs de cercle et de jonctions entre ces primitives géométriques.

5. Ou analyse d'images de documents.

[BBY92] H. S. BAIRD, H. BUNKE, K. YAMAMOTO (éditeurs), *Structured Document Image Analysis*, Springer-Verlag, 1992.

[OK95] L. O'GORMAN, R. KASTURI, *Document Image Analysis*, IEEE Computer Society Press, 1995.

[TLS96] Y. Y. TANG, S.-W. LEE, C. Y. SUEN, « Automatic Document Processing: A Survey », *Pattern Recognition* 29, 12, décembre 1996, p. 1931-1952.

[Tom96] K. TOMBRE, *Quelques contributions à l'interprétation de documents techniques*, Habilitation à diriger des recherches, Université Henri Poincaré Nancy 1, février 1996.

Reconnaissance de primitives graphiques plus évoluées, telles que lignes tiretées, zones hachurées, flèches de cotation, etc.

Reconnaissance de symboles : en plus de la reconnaissance classique de caractères, il faut souvent reconnaître un ensemble de symboles propres à l'application concernée.

Analyse structurelle et fonctionnelle : plusieurs méthodes, la plupart du temps propres au domaine d'application, permettent de structurer les primitives de base pour reconnaître des entités pertinentes du point de vue de l'application.

Reconstruction 3D : dans un certain nombre d'applications, il faut aussi mettre en correspondance deux ou plusieurs vues pour reconstruire des modèles 3D des environnements représentés. Si des algorithmes bien connus et maîtrisés existent pour reconstruire un modèle purement *géométrique* à partir de projections géométriques, beaucoup reste à faire pour prendre en considération l'ensemble des données symboliques et géométriques dans un tel processus [AST95,DT95].

3.2.3 Acquis, espoirs et défis

Dans ces différents domaines, on peut considérer que certains aspects sont bien maîtrisés, et qu'il existe des méthodes connues et robustes, parfois même disponibles commercialement :

Séparation texte/graphique quand le texte ne touche pas le graphique. Les méthodes employées sont habituellement fondées sur l'analyse des composantes connexes.

Vectorisation : on ne peut pas prétendre disposer de méthodes *parfaites*, mais les techniques que l'on trouve dans les systèmes commerciaux sont *raisonnablement* fiables et robustes.

Reconnaissance de primitives graphiques plus évoluées, telles que lignes tiretées, zones hachurées, flèches de cotation, symboles simples, etc. Il est plus raisonnable toutefois de lancer ce genre de processus en mode semi-automatique.

Analyse en mode semi-automatique On trouve maintenant des systèmes fiables de reprise de plans ou de cartes, où l'homme reste aux commandes, mais où le système fournit un certain nombre de modules automatisés permettant d'accélérer le processus de reprise.

Pour aller au-delà de ces acquis, des recherches sont menées sur plusieurs aspects. On voit actuellement poindre des solutions satisfaisantes aux problèmes suivants, entre autres :

Analyse de formulaires et tables , y compris de grands ensembles de documents techniques tels que les tables de connexion téléphonique ou électrique. Ce type de document contient du texte et des graphiques de type lignes.

Séparation texte/graphique quand le texte touche le graphique. Si on peut isoler suffisamment les caractères du graphique, de manière à fournir des embryons de chaînes de

[AST95] C. AH-SOON, K. TOMBRE, « A Step Towards Reconstruction of 3-D CAD Models from Engineering Drawings », *in: Proceedings of Third International Conference on Document Analysis and Recognition, Montréal (Canada)*, p. 331-334, août 1995.

[DT95] D. DORI, K. TOMBRE, « From Engineering Drawings to 3-D CAD Models: Are We Ready Now? », *Computer-Aided Design* 29, 4, avril 1995, p. 243-254.

caractères, on commence à voir apparaître des méthodes fiables et robustes qui vectorisent le graphique et extraient les caractères qui le touchent. En particulier, certaines méthodes à base de morphologie mathématique semblent assez prometteuses.

Analyse de cartes par calques : quand on dispose des différents calques (correspondant *grosso modo* à des couches sémantiques) d'une carte, on peut extraire beaucoup d'informations directement exploitables par un système d'information géographique (SIG).

Reconnaissance de symboles : des techniques robustes et efficaces de reconnaissance de symboles techniques commencent à être proposées. Certaines ont même des capacités d'apprentissage et permettent d'augmenter incrémentalement la base des modèles connus.

Cependant, il reste un certain nombre de défis majeurs. Bien entendu, plusieurs équipes étudient ces problèmes et ont même proposé des solutions partielles. Mais on est encore loin dans bien des cas de systèmes qui puissent être transférés dans des secteurs applicatifs réels et en vraie grandeur. On peut notamment citer :

- l'analyse des *annotations* (cotation de dimensionnement, cotation fonctionnelle, références à une nomenclature...);
- la conversion de *dessins mécaniques* en modèles CAO *fonctionnels et 3D* ;
- l'analyse de *plans architecturaux* pour la reconstruction de modèles 3D des bâtiments représentés ;
- la modélisation automatique à grande échelle d'un *environnement urbain* à partir d'un plan cadastral comprenant une ou plusieurs informations de type réseaux (voirie, eau, électricité, assainissement...);
- la *fusion de données* entre cartes et données issues d'autres capteurs ;
- les problèmes de *précision* des outils de vectorisation, notamment pour l'analyse de plans cadastraux ;
- plus généralement, et en dépassant le contexte de la reconnaissance de graphiques, la *caractérisation et l'évaluation des performances* des outils de traitement et d'analyse utilisés.

3.2.4 La modélisation à partir de plans

Notre principal centre d'intérêt dans ce contexte de reconnaissance de graphiques est actuellement l'analyse de plans architecturaux pour reconstruire des modèles 3D des édifices ainsi représentés. Nous nous appuyons dans toute la mesure du possible sur notre expérience passée en interprétation de dessins mécaniques. Les plans d'architectes semblent de prime abord être du même type que ces dessins. Mais, en fait, la création architecturale suit des voies assez différentes du génie mécanique, et passe en particulier par plusieurs phases, de la plus conceptuelle à la plus technique ^[TP95] :

- Les premières esquisses définissent les intentions de l'architecte, le projet étant représenté de manière très symbolique, en mettant en évidence ses principaux aspects et caractéris-

[TP95] K. TOMBRE, J.-C. PAUL, « Document Analysis: A Way to Integrate Existing Paper Information in Architectural Databases », *in: Visual Databases in Architecture*, A. Koutamanis, H. Timmermans, et I. Vermeulen (éditeurs), Avebury, 1995, ch. 3, p. 43-52.

tiques. Ces documents relèvent quasiment de la création artistique et leur forme est bien trop libre pour être analysée automatiquement.

- Pendant la phase de conception, un nouvel ensemble de dessins est fabriqué, qui correspond à l'avant-projet (c'est typiquement le niveau de détail des demandes de permis de construire). L'avant-projet comprend des plans, des élévations et des vues en coupe. L'architecture du projet est présentée à ce niveau comme un arrangement de volumes et de passages. C'est typiquement le niveau que peut comprendre l'utilisateur, puisque les informations ne sont ni trop floues, ni trop détaillées.
- Dans les phases ultimes du projet, l'architecte et les corps de métier mettent au point des plans d'exécution détaillés, avec les dimensions définitives et la spécification des matériaux et des techniques de construction à employer.

Comme nous l'avons indiqué, le premier niveau nous semble beaucoup trop « conceptuel » pour être exploitable en analyse de document. Quant aux plans d'exécution, ils fournissent un luxe de détails tout à fait inutiles pour les objectifs visés par l'étude, à savoir la modélisation à des fins de représentation spatiale de l'ensemble de l'édifice. Nous concentrons donc nos efforts sur l'analyse des plans de l'avant-projet, à partir desquels notre objectif ultime est de construire une représentation géométrique 3D de l'édifice représenté.

3.3 Rendu Réaliste

Participants : Laurent Alonso, Hervé Barthélémy, François Cuny, Nicolas Holzschuch, Jean-Pierre Laurent, Slimane Merzouk, Jean-Claude Paul.

La génération d'images réalistes à partir de modèles géométriques 3D est utile principalement parce qu'elle permet de visualiser des objets hypothétiques, à l'état de projet ou prototype. Elle permet aussi de visualiser des environnements, réels ou virtuels, au sein desquels, ou à partir desquels, on souhaite effectuer des simulations dites de « réalité virtuelle ». Pour générer des images réalistes à partir de ces modèles 3D, l'idéal serait de simuler exactement le comportement de la lumière, de son émission depuis une ou plusieurs sources, de sa propagation et de ses multiples interrélaxions entre les surfaces d'un espace considéré. Ensuite, il suffira de générer, à partir des valeurs de luminance obtenues en tout point, les images de ce modèle, telles qu'elles sont visibles depuis un point de vue virtuel.

Les recherches effectuées dans le projet Isa portent sur les modèles et les algorithmes permettant d'obtenir ces images avec les meilleurs compromis possible entre précision et vitesse des calculs de simulation. En outre, l'accent est mis sur la complexité des scènes à simuler, ainsi que sur la relative robustesse des algorithmes développés.

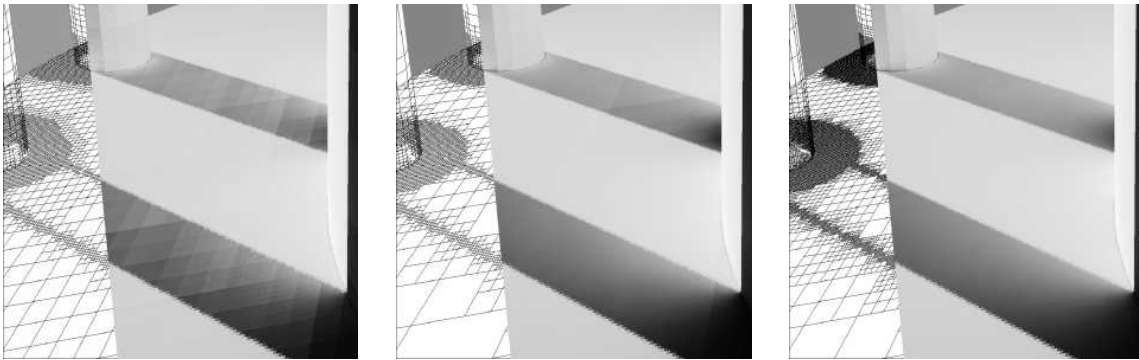
La simulation du comportement de la lumière dans un environnement géométrique et physique donné peut être obtenue, sous certaines hypothèses, en résolvant l'équation de radiance en tout point du modèle géométrique considéré. La résolution efficace de cette équation, qui ressemble à une équation intégrale de Fredholm de seconde espèce, peut être effectuée par des méthodes stochastiques ou numériques.

L'approche développée dans le projet Isa est une méthode d'approximation variationnelle. Nous avons entrepris différentes recherches depuis plusieurs années pour réduire l'approximation ou la complexité des calculs effectués lors de la résolution de l'équation de radiance : choix

des fonctions de base, méthode de calcul des coefficients et de la fonction de visibilité, choix de la méthode itérative de résolution du système linéaire d'équations, contrôle de l'erreur commise lors de ces calculs.

Une analyse formelle du problème, l'expérimentation d'un ensemble d'algorithmes et leur implémentation dans le logiciel *Candela* sont détaillées dans^[Win98].

3.3.1 Algorithmes à base d'ondelettes



(a) Base de Haar (M1)

(b) Base linéaire (M2)

(c) Base quadrique (M3)

FIG. 9 – Bases d'ondelettes

La méthode de projection que nous utilisons pour approcher la fonction de radiance est une méthode Galerkin. Les fonctions de base que nous avons considérées sont des ondelettes multiples de moment 1, 2 ou 3. Des fonctions de type ondelettes peuvent en effet donner un cadre formel à une approche hiérarchique de l'algorithme de radiosité, et réduire ainsi sa complexité.

Cependant, une résolution hiérarchique impose de calculer les coefficients qui permettent de passer des fonctions de base d'un certain niveau à celles du niveau inférieur ou supérieur, une fonction d'un certain niveau étant approchée par une somme pondérée de fonctions du niveau voisin. L'intérêt des fonctions de type ondelettes vient de ce que cette projection n'entraîne aucune erreur dans le sens descendant, c'est à dire que toutes les fonctions peuvent être exprimées de manière exacte dans le groupe de fonctions du niveau inférieur.

Nous avons établi que les ondelettes de plus grand moment (cf. figure 9) permettent d'effectuer les simulations les plus précises. Toutefois, elles impliquent des calculs avec un plus grand nombre de points de quadrature, ce qui augmente les calculs de visibilité. En outre, le choix de la meilleure base est très dépendant du contrôle, délicat, de l'erreur du noyau.

[Win98] C. WINKLER, *Expérimentation d'algorithmes de calcul de radiosité à base d'ondelettes*, Thèse de doctorat, Loria, 1998.

3.3.2 Résolution du système

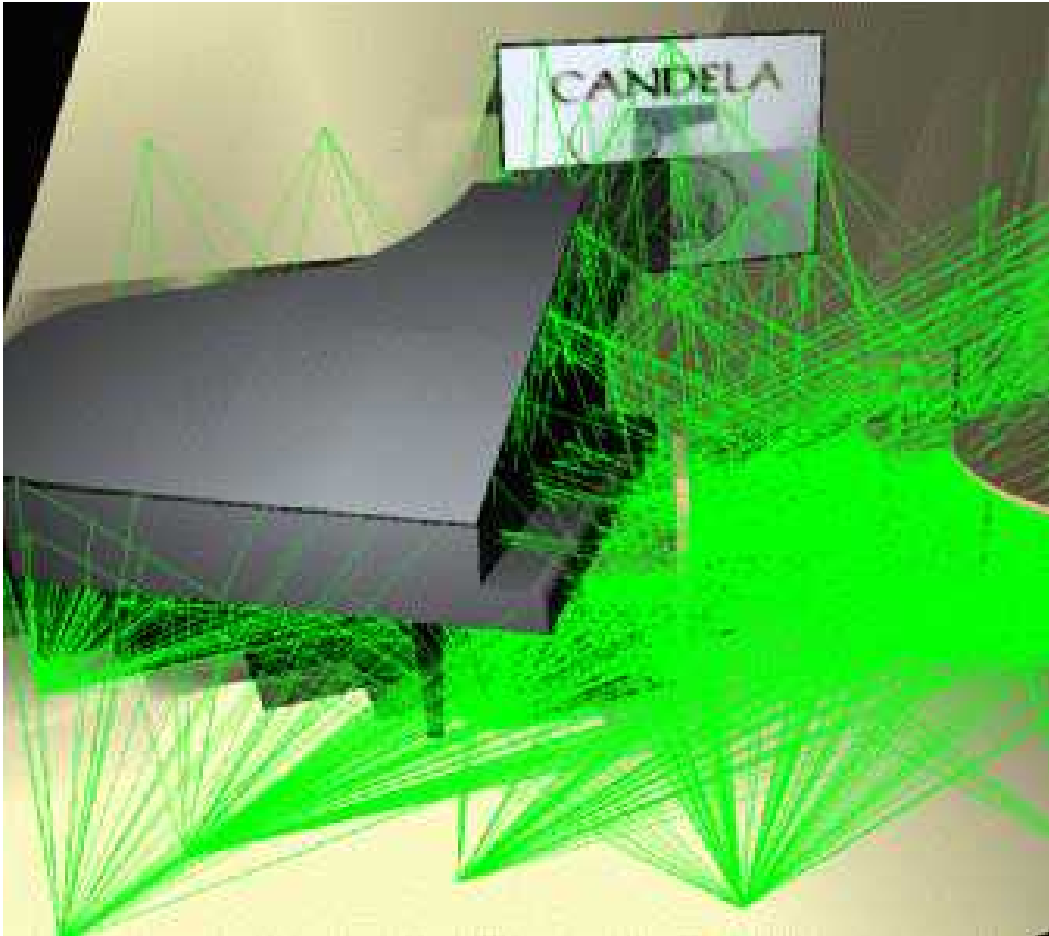


FIG. 10 – *Résolution du système*

La résolution de l'équation de radiance à partir d'une approche variationnelle conduit à discrétiser l'équation et à résoudre un système de n équations à n inconnues, n étant le nombre d'éléments discrétisés. Pour résoudre un tel système, il est commun d'utiliser une méthode itérative. Une méthode Gauss-Seidel peut ainsi être utilisée. Dans la mesure où l'utilisation de cette méthode suppose que les liens entre éléments soient stockés (cf. figure 10), elle s'avère extrêmement coûteuse en espace mémoire.

Nous avons développé une autre méthode de résolution, de type Southwell, avec choix de la surface émettrice, et sans stockage des liens. Nous avons montré que cette méthode de résolution convergait plus rapidement et que l'utilisation des liens ne modifiait pas sensiblement cette convergence. Une solution intermédiaire peut consister cependant à stocker des liens de haut niveau, comme des pointeurs (liens de visibilité) entre les couples de primitives ou de mailles visibles entre elles, ou simplement les liens (avec les valeurs du noyau) jusqu'à un certain niveau.

Cette solution n'utilise que peu de mémoire, et permet néanmoins d'accélérer les calculs pour des modèles composés de nombreuses occultations. Elle est une sorte de méthode d'élagage du modèle.

3.3.3 Algorithmes de visibilité

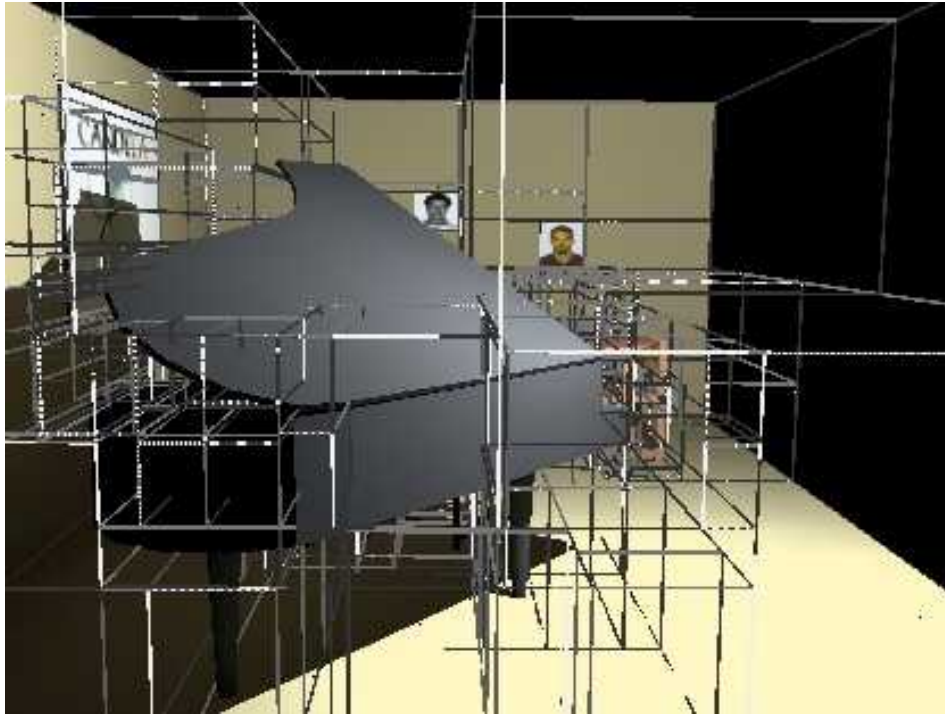


FIG. 11 – *Décomposition spatiale*

La visibilité a une part très importante dans le temps de résolution de l'équation. D'autre part, les occultations génèrent la plupart des discontinuités importantes de la fonction de radiance.

La technique de calcul de la fonction de visibilité que nous avons développée couple une approche hardware et une structure accélératrice de décomposition spatiale. Cette dernière, illustrée sur la figure 11, présente l'avantage, comparativement aux décompositions régulières, de trouver une découpe optimale de l'espace. Une première projection des surfaces de la scène est construite (cf. figure 12). Cette approche discrète, qui utilise le Z-Buffer des cartes graphiques, permet des calculs approchés très rapides; elle est utilisée pour les requêtes triviales. Un partitionnement spatial permet d'accélérer les calculs de lancer de rayons; celui-ci calcule la visibilité point à point de manière exacte et est utilisé lorsque la solution projective ne suffit pas. Lorsque trop de lancers de rayons sont nécessaires, on peut augmenter la précision de la projection en diminuant l'angle de la projection, ce qui correspond à un zoom sur la partie considérée.



(a)

(b)

FIG. 12 – Utilisation du Z-buffer pour les requêtes de visibilité

3.3.4 Architecture logicielle

Le calcul d'une solution à l'équation, même statique, reste aujourd'hui encore extrêmement lourd. Aussi avons nous développé une architecture évolutive permettant d'introduire de nouveaux modèles, algorithmes ou structures de données, et de les expérimenter. Cette architecture est composée d'objets représentant les données et d'objets représentant les calculs en interaction statique (graphe d'héritage, graphe de contenance) et en interaction dynamique (graphe d'utilisation, envoi et réception de messages).

La figure 13 illustre comment le déclenchement d'un algorithme fait interagir le graphe algorithmique et le graphe de scène. Le logiciel *Candela* est construit sur cette architecture.

3.4 Réalité augmentée

Participants : Marie-Odile Berger, Erwan Kerrien, Vincent Lepetit, Gilles Simon, Brigitte Wrobel-Dautcourt.

Les progrès réalisés à la fois en synthèse d'image et en vision par ordinateur rendent désormais possible le développement de systèmes permettant de composer des images réelles et virtuelles. Les applications de ces systèmes sont multiples. Citons par exemple la réalisation d'études d'impact, les simulateurs de tous ordres (chirurgicaux, télé-opération...)... et également les systèmes permettant de fusionner des images issues de modalités différentes, comme en médecine, où l'on souhaite souvent fusionner sur une même image des informations contenues dans des images rayons X, scanner et IRM par exemple.

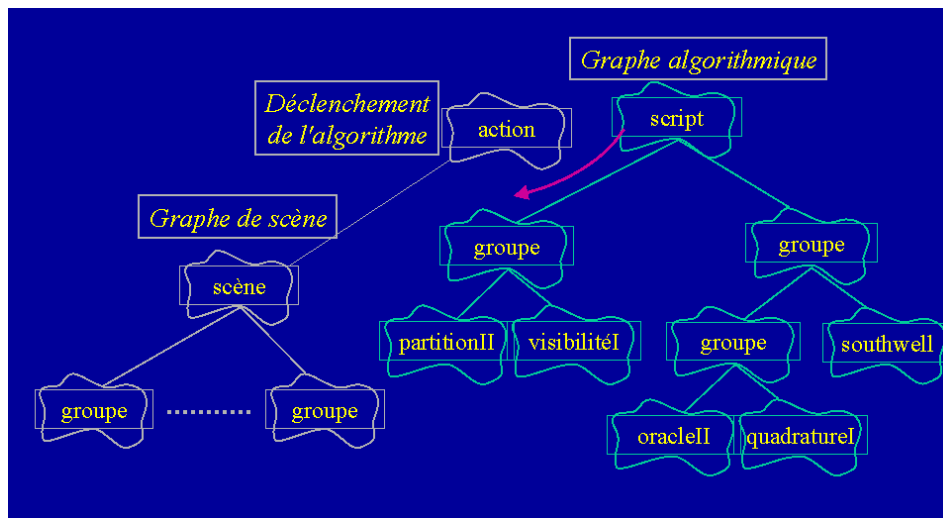


FIG. 13 – Architecture logicielle



FIG. 14 – Maquette virtuelle d'un modèle architectural (Soda Hall, Berkeley University)

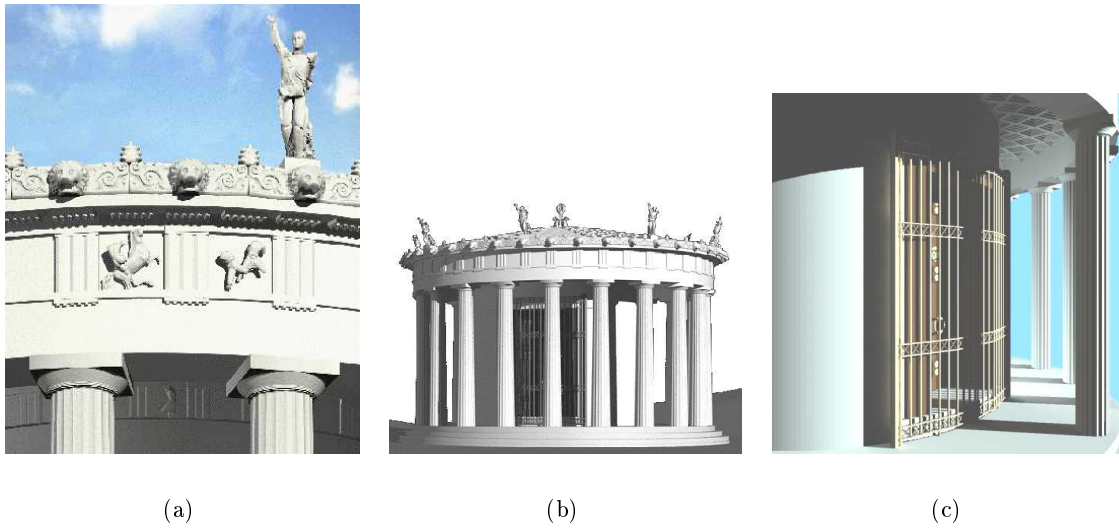


FIG. 15 – *Maquette virtuelle d'un modèle archéologique (Tholos, sanctuaire d'Athena, Delphes)*



FIG. 16 – *Conception d'éclairage (Mosquée de Kerouan, Tunisie)*

Nous nous intéressons plus particulièrement à l'incrustation dans des séquences vidéo et nous avons choisi de considérer, contrairement à la plupart des systèmes actuellement développés, des scènes qui ne peuvent être instrumentées. Le recalage entre la séquence et les objets à insérer ne peut donc s'effectuer que grâce à des indices images détectés et suivis dans la séquence. Nous avons développé des méthodes robustes permettant le recalage tout au long de la séquence sans intervention extérieure. Nous travaillons également sur la gestion, la plus automatique possible, des occultations éventuelles entre les scènes réelles et les éléments ajoutés.

3.4.1 Recalage à partir de points : minimisation de l'erreur de reprojection

Les méthodes classiques de recalage 2D/2D nécessitent un nombre très important de points pour être précis, ce qui exige des interventions fastidieuses pour la mise en correspondance des points, et rend toute autonomie impossible. De plus, le point de vue n'est connu qu'à un facteur d'échelle près, qui ne peut être calculé que si l'on possède un minimum d'informations 3D sur la scène. Nous avons proposé une première approche 3D/2D, fondée sur un suivi de points dont on connaît le correspondant 3D (par corrélation, par exemple sur l'illustration, suivi des grosses taches lumineuses, ou suivi de courbes et extraction de points particuliers de ces courbes). Le problème se ramenait alors à minimiser une fonction robuste des résidus 3D/2D. Les limites de cette méthode étaient cependant que l'intégration des nouveaux points qui apparaissent dans la séquence ne pouvait se faire de façon autonome (le correspondant 2D doit être indiqué à la main). D'autre part, on ne possédait pas toujours suffisamment de points 3D facilement détectables dans l'image.

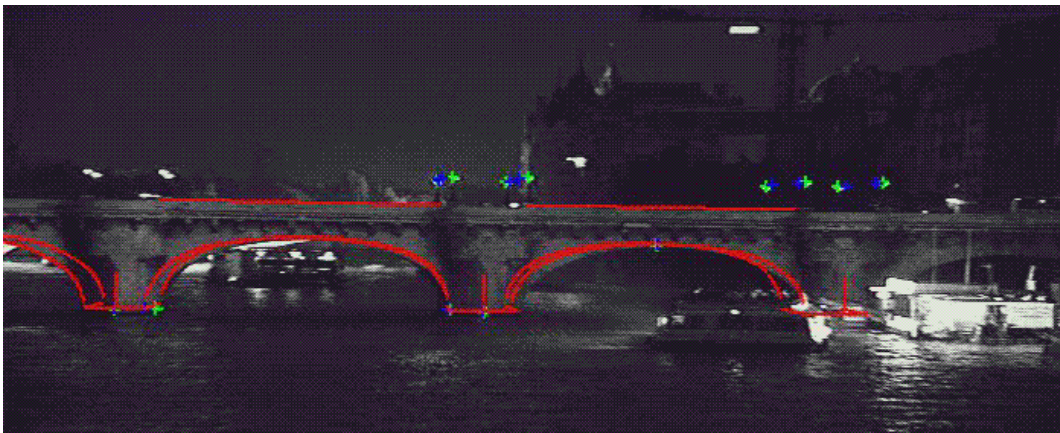
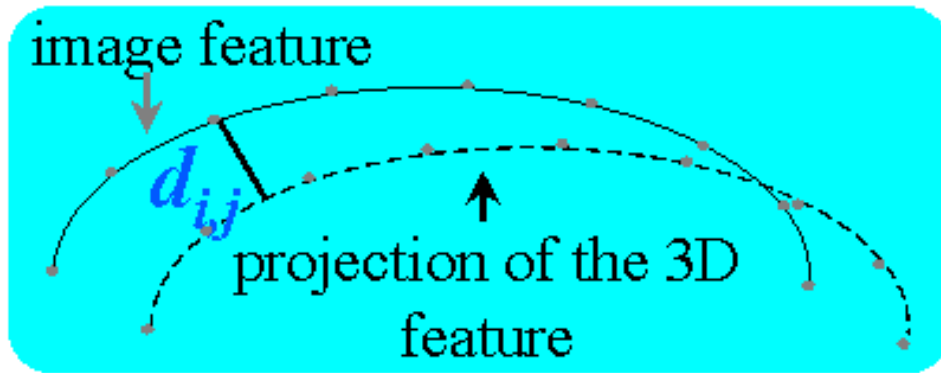


FIG. 17 – *Recalage à partir de points*

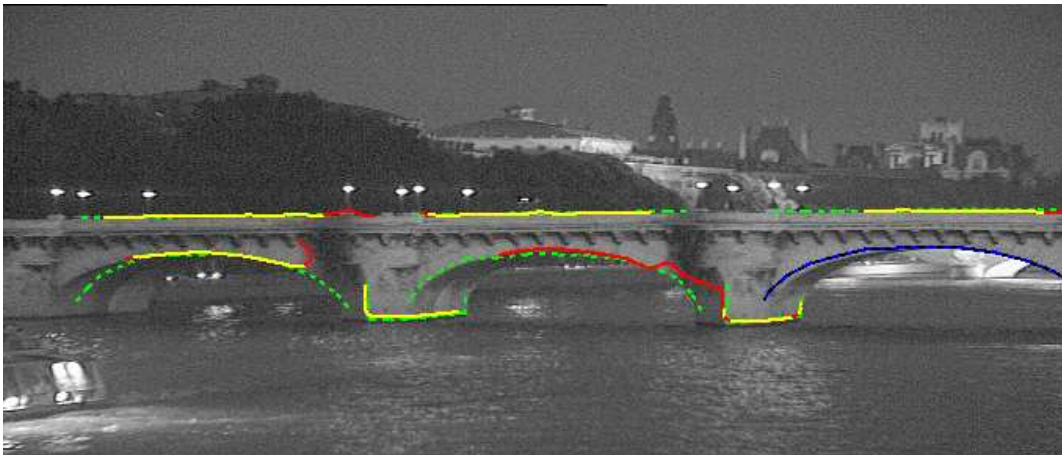
Sur la figure 17 sont représentés, en bleu, les points 2D, en vert, la projection des points 3D correspondants, et en rouge, la projection du modèle filaire.

3.4.2 Recalage à partir de courbes de forme libre

Afin d'améliorer l'autonomie du système, nous avons proposé deux extensions majeures. La première extension concerne le type des primitives qui sont utilisées pour le recalage 2D/3D.



(a) Niveau local : calcul d'un résidu robuste pour chaque primitive



(b) Niveau global : identification des primitives erronées

FIG. 18 – Recalage à partir de courbes de forme libre

Nous pouvons désormais utiliser des primitives courbes quelconques pour le suivi et la mise en correspondance, ce qui est très utile en environnement urbain, par exemple.

La deuxième extension concerne l'élaboration d'un processus de calcul très robuste à deux niveaux. Un processus robuste est en effet indispensable car le suivi peut produire des mises en correspondances erronées. La difficulté supplémentaire par rapport au cas des points, est que des primitives peuvent être soit partiellement mal suivies, soit complètement erronées. Notre algorithme à deux niveaux, basés sur les statistiques robustes, permet d'éliminer du calcul les primitives complètement erronées et ne retient donc que les primitives image qui correspondent effectivement aux connaissances 3D. Cette capacité d'identification des *outliers* est aussi utilisée pour la mise à jour des primitives : les primitives issues d'une détection de contours peuvent en effet être analysées par l'algorithme qui décide si elles correspondent à une nouvelle primitive du modèle non encore utilisée.

3.4.3 Calcul du point de vue combinant des informations 3D sur la scène et des mises en correspondance 2D/2D automatiques



(a)

(b)

FIG. 19 – *Calcul du point de vue*

Dans notre méthode de recalage 3D/2D, lorsque l'objet virtuel est incrusté loin des primitives utilisées pour le calcul du point de vue (point de vue = pose), l'imprécision peut être grande. L'erreur de re-projection est en effet très faible pour les primitives ayant servi au calcul du point de vue, mais la re-projection est très mauvaise ailleurs, et en particulier devant, dans l'exemple de la place Stanislas, pour lequel les édifices du fond ont été utilisés pour le calcul (cf. figure 19). Nous avons donc renforcé le calcul 3D/2D en utilisant des appariements 2D/2D. Il est en effet possible d'extraire et de mettre en correspondance des points images en se basant sur les propriétés statistiques du niveau de gris.

L'optimisation d'un critère incluant les critères 2D/3D et 2D/2D permet d'améliorer considérablement le réalisme des images (voir, sur la figure 19, la voiture qui vole, si l'on ne prend

en compte que le 3D). L'intérêt principal de notre méthode est aujourd'hui de n'utiliser que la structure naturelle de la scène. Ceci permet de développer des systèmes de Réalité Augmentée temps réel (si la puissance de calcul disponible est suffisante), ou en phase de post production.

3.4.4 Recalage automatique d'images d'angiographie soustraite 2D et 3D

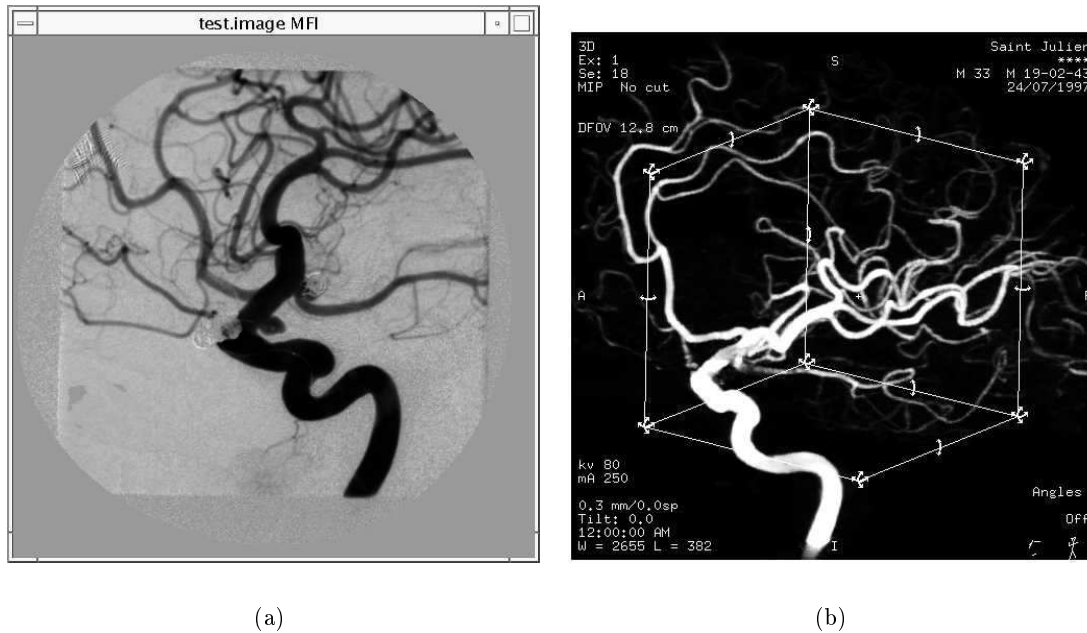


FIG. 20 – Recalage automatique d'images d'angiographie soustraite 2D et 3D (General Electric Medical System/CHU Nancy)

Cette recherche a pour objectif de reconstruire en 3D des images d'angiographie soustraites, afin de combiner les avantages de l'angiographie 2D et de la visualisation 3D, qui permet une meilleure visualisation de l'angioarchitecture, une approche volumique et des visualisations variées (endoscopie virtuelle par exemple). Notre recherche vise à recalibrer les images 2D et le modèle 3D.

Les méthodes usuelles effectuent ce recalage sur des primitives extraites des images. Notre méthode, entièrement automatique, se passe de cette extraction des primitives et s'appuie sur une méthode d'estimation de la translation, corrélation, et du petit déplacement rigide résiduel, flux optique. Actuellement, le prototype est en cours de validation clinique. Le recalage est excellent, mais prend encore 1'30" par image [15] .

3.5 Graphisme haute performance

Participants : Laurent Alonso, Xavier Cavin, Jean-Claude Paul, Jean-Christophe

Ulysse, Christophe Winkler.

L'augmentation des capacités de calcul et des capacités graphiques des ordinateurs a suscité de nouveaux besoins dans le domaine du calcul et de la visualisation scientifique qui supposent à leur tour de nouvelles extensions de ces capacités. Les calculateurs parallèles et les architectures graphiques multi-pipeline constituent de nouveaux environnements très puissants dont nous cherchons à optimiser la performance.

Nos travaux sur ce thème sont axés sur la visualisation scientifique et s'inscrivent dans la problématique « Complémentarité entre simulation et réalité virtuelle » que l'Inria s'est donné comme objectif de développer dans le cadre du plan quadriennal.

3.5.1 Parallélisation d'algorithmes hiérarchiques

Les méthodes hiérarchiques développées pour les problèmes de N -corps, qui sont basées sur une caractéristique fondamentale propre à beaucoup de phénomènes physiques, sont de plus en plus utilisées pour résoudre des problèmes à large échelle, dans une grande variété de domaines scientifiques et d'ingénierie.

Leur parallélisation efficace est cependant difficile, car les données à traiter sont réparties de façon irrégulière, et changent dynamiquement au cours des calculs en raison de leur nature hiérarchique.

Nos recherches dans ce domaine ont porté sur l'étude et l'expérimentation de techniques de partitionnement et d'ordonnancement permettant d'obtenir des calculs performants pour ce genre d'applications.

Nous avons en particulier expérimenté, sur la machine cc-NUMA Origin 2000, différentes méthodes de parallélisation de l'algorithme séquentiel de radiosité à base d'ondelettes implanté dans le logiciel CANDELA.

Grâce aux propriétés de l'architecture utilisée, nous avons montré [11] qu'il était possible d'obtenir une excellente localité des données, et nous avons pu ainsi utiliser un algorithme de répartition du travail approprié au processus multi-résolution qui caractérise cette application. Nous avons montré que cet algorithme permet d'obtenir de très bonnes performances, ainsi qu'un bon facteur d'échelle (*scalability*).

3.6 Géométrie des solides

Participants : Éric Colin de Verdière, Hazel Everett, Sylvain Lazard, Jean-Claude Paul, Sylvain Petitjean, Nicolas Ray, Éric Wies.

Les modèles polygonaux traditionnellement utilisés en infographie ne suffisent pas toujours à rendre compte de la réalité que l'on souhaite modéliser. Dans le monde industriel, en architecture, en biologie, de nombreux objets ont une géométrie courbe que ne capturent pas bien les modélisations à base de facettes planes. Qui plus est, on souhaite pouvoir accéder à des modèles véritablement volumiques, où chaque entité élémentaire possède un certain nombre d'attributs de densité tissulaire, de fluidité, de viscosité, de type de matériau, etc.

Depuis plusieurs années, le projet Isa a des relations étroites avec la société canadienne SGDL Inc. (Solid Geometry Design Logic) qui développe un modèleur volumique dont les

primitives de base sont les quadriques, c'est-à-dire des surfaces algébriques implicites de degré deux (sphères, cylindres, cônes, etc.). Les quadriques possèdent un pouvoir de modélisation considérablement plus fort que les facettes planes. Elles représentent un bon compromis entre souplesse de modélisation et complexité d'utilisation.

Comparé aux représentations polygonales, la modélisation et la visualisation de scènes quadriques posent des problèmes originaux. Nous étudions, en particulier, les problèmes liés à la visualisation et au rendu réaliste de tels modèles et notamment, en aval, les questions concernant les calculs de visibilité globaux au sein de ces modèles, leur simplification géométrique et topologique pour une manipulation plus interactive et la conversion de ces modèles depuis et vers des mondes actuellement mieux connus des industriels (modèles triangulés, modèles à base de NURBS).

3.6.1 « Enrichissement » et « appauvrissement » de la géométrie

Actuellement, le projet Isa développe une méthode novatrice permettant de faire un rendu réaliste de scènes composées d'une grande variété de surfaces paramétriques, sans passer par la discrétisation de la géométrie à laquelle recourent les méthodes actuelles d'illumination de surfaces courbes. En particulier, nous cherchons à illuminer des scènes composées d'un grand nombre de quadriques. La modélisation à base de quadriques étant relativement récente, nous nous heurtons au manque d'exemples significatifs sur lesquels travailler. Le modèleur SGDLsoft nous offre bien des modèles intéressants, mais ils sont essentiellement issus d'applications architecturales.

Pour valider notre nouvelle méthode de rendu sur des scènes issues d'applications réalistes (mécanique, environnement industriel, *design*, etc.) et ouvrir SGDLsoft au monde industriel, nous travaillons à l'établissement de passerelles entre des modélisations à base de quadriques (et plus généralement à base de surfaces implicites de faible degré) et des modélisations plus traditionnelles. Ce problème comporte deux voies de recherche duales qui sont deux manières différentes de comprendre la notion de « simplification géométrique ». Dans un cas, il faut passer d'un modèle triangulé, obtenu par exemple à partir d'une modélisation au laser, à un modèle quadrique. Il s'agit donc de retrouver dans une structure polygonale les zones qui sont bien interpolées par des portions de sphères, de cylindres, etc., tout en conservant la topologie du modèle. En quelque sorte, cela revient à « enrichir » la géométrie ou à simplifier le modèle au sens du nombre de primitives. Dans l'autre cas, il faut passer d'un modèle CAO (surfaces de Bézier, NURBS) à un modèle quadrique. Il s'agit donc, en se donnant une métrique d'erreur, d'identifier les portions de surfaces de haut degré algébrique qui sont bien approximées par des morceaux de quadriques, en imposant diverses conditions de continuité et de différentiabilité aux bords. Cela revient donc à « appauvrir » la géométrie ou à simplifier la complexité du modèle initial.

Nous travaillons simultanément sur ces deux aspects de la simplification. Dans le domaine de l'« appauvrissement » géométrique, nous réfléchissons à l'approximation de surfaces algébriques de faible degré (cubiques, quartiques) par des quadriques. Plus généralement, nous souhaitons développer des méthodes originales pour approximer des surfaces paramétriques par des surfaces de faible degré. Ces questions, qui intéressent fortement SGDL Inc., sont étudiées en liaison avec nos partenaires canadiens.

3.6.2 Calculs géométriques sur les quadriques

Au-delà des problèmes liés à la « simplification » des scènes constituées de quadriques, nous avons travaillé cette année à la transformation des modèles volumiques issus du modèleur SGDLsoft en modèles surfaciques. Le problème est délicat puisqu'il s'agit de déterminer quelles sont les parties du modèle volumique qui constituent la frontière du modèle.

En général, passer d'un modèle volumique en un modèle surfacique est un procédé en quatre étapes. Dans une première étape, il faut déterminer rapidement si deux quadriques (les interfaces qui séparent l'intérieur de l'extérieur de deux volumes) s'intersectent ou non. En présence d'un grand nombre de volumes, il est ici possible d'utiliser des techniques d'accélération à base de boîtes englobantes. La deuxième étape consiste à calculer la courbe d'intersection entre deux quadriques quand celle-ci existe. La troisième étape revient, sur chacune des quadriques, à intersecter les courbes d'intersection qui y reposent, ceci afin de déterminer les parties de ces courbes qui sont réellement sur le bord du modèle. Enfin la dernière étape consiste à recoller les parties de courbes d'intersection pour former les frontières des carreaux de quadriques visibles.

Nous explorons deux techniques permettant de passer d'un modèle volumique à un modèle surfacique. La première utilise des techniques numériques et un recollement des courbes en 3D. Pour chaque couple de quadriques s'intersectant, une approximation polygonale de la courbe d'intersection est calculée. Ensuite, les intersections entre courbes sont déterminées numériquement, puis les portions de frontières visibles sont recollées en 3D pour border les carreaux de surface voulus. La seconde technique a recours à des techniques exactes. Elle s'appuie sur une méthode développée par Levin^[Lev76] : étant données deux quadriques A et B , l'intersection de A et B est égale à l'intersection de A avec toute quadrique du faisceau $B - \lambda A$. D'autre part, il existe une quadrique C réglée appartenant à ce faisceau, et il est beaucoup plus facile de déterminer un paramétrage de la courbe d'intersection des deux surfaces de départ à partir de A et C . Ensuite, toutes les courbes d'intersection reposant sur une même quadrique sont projetées sur un plan et le calcul de leur arrangement permet de déterminer les carreaux visibles. Ces deux méthodes sont actuellement en phase d'implantation.

3.6.3 Visibilité 3D globale

La notion de visibilité joue un rôle fondamental dans plusieurs domaines de l'informatique : robotique (planification de trajectoires de robots mobiles), vision artificielle (reconstruction d'objets 3D), manipulations temps réel (pré-calculs de la visibilité et des occultations pour un affichage interactif, par exemple dans les jeux vidéo ou les simulateurs) et infographie/synthèse d'images. Dans ce dernier domaine, le calcul des objets visibles depuis un point donné, les calculs d'ombre et de pénombre sont des exemples de calculs de visibilité. De tels calculs peuvent être excessivement coûteux. Ainsi, pour un calcul d'illumination globale par une méthode de radiosité, entre 50 et 70 % de la simulation sont généralement passés à effectuer des requêtes de visibilité. En lancer de rayons, le taux est encore plus important.

Les requêtes de ce type sont d'une nature intrinsèquement globale, au sens où des objets spatialement éloignés peuvent avoir des interactions très complexes et peu intuitives. C'est

[Lev76] J. LEVIN, « A parametric algorithm for drawing pictures of solid objects composed of quadric surfaces », *Communications of the ACM* 19, 10, 1976, p. 555–563.

ce qui explique que, jusqu'à aujourd'hui, les chercheurs se sont contentés de développer des structures *ad hoc* permettant de répondre à des requêtes précises mais d'une portée limitée. Ces solutions manquent d'un cadre de travail approprié, mathématiquement bien défini et qui exploite les propriétés de la visibilité 3D.

Récemment, des travaux dans la communauté de géométrie algorithmique se sont attachés à comprendre la cohérence inhérente aux espaces de droites et de rayons lumineux qui sont au cœur des questions de visibilité. Ainsi, en deux dimensions, Pocchiola et Vegter^[PV96] ont introduit le complexe de visibilité, une structure globale à partir de laquelle il est possible d'effectuer une grande variété de requêtes de visibilité différentes, et ceci avec une base mathématique solide. Durand *et al.*^[Dur99,DDP97] se sont ensuite intéressés à plusieurs extensions du complexe de visibilité en trois dimensions, en appliquant les structures développées à un contexte de radiosité.

Malgré ces travaux, la compréhension théorique des problèmes de visibilité 3D n'en est qu'à ses balbutiements, ce qui se traduit par des solutions pratiques peu efficaces et difficilement utilisables dans des applications de taille réelle. Ce constat est à la base de nos travaux dans le domaine.

Nous abordons les problèmes de la visibilité 3D selon trois directions différentes. Tout d'abord, nous nous intéressons à ses aspects théoriques. Les fondements théoriques et mathématiques de la visibilité 3D restent encore largement à établir. Les recherches menées par Durand *et al.* ont amené un premier ensemble de réponses, mais il reste beaucoup à faire. Les travaux actuels portent sur la complexité des algorithmes de calcul, sur la compréhension de la géométrie des ensembles de droites et leur manipulation. Notre deuxième thème de recherche porte sur le calcul de requêtes de visibilité efficaces dans un environnement courbe, et en particulier pour des scènes constituées de quadriques. Des avancées significatives dans ce domaine permettraient un meilleur traitement de la visibilité dans notre algorithme de radiosité. Elles seraient également d'un intérêt considérable pour le modeleur SgDLSOFT et son outil de visualisation à base de lancer de rayons. Enfin, nous gardons à l'esprit les problèmes liés à la robustesse des techniques de visibilité, point fondamental pour leur utilisation dans un contexte applicatif.

Pour nos travaux sur les structures globales de visibilité, nous nous appuyons sur l'expérience que nous avons acquise dans la construction des graphes d'aspects. Le graphe d'aspects est une représentation utilisée en vision artificielle qui énumère toutes les apparences topologiquement distinctes d'un objet. La base commune avec les structures de visibilité globale est la notion d'« événements visuels » (un événement visuel correspond à un changement local de la topologie de la silhouette observée – par exemple une sphère qui apparaît derrière une autre sphère alors qu'elle était auparavant complètement masquée). Précédemment, nous avons étudié les événements visuels d'une large variété d'objets courbes et avons présenté des

[PV96] M. POCCHIOLA, G. VEGTER, « The Visibility Complex », *International Journal of Computational Geometry and Applications* 6, 3, 1996, p. 1-30.

[Dur99] F. DURAND, *Visibilité tridimensionnelle : étude analytique et applications*, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble I, 1999.

[DDP97] F. DURAND, G. DRETTAKIS, C. PUECH, « The visibility skeleton: a powerful and efficient multi-purpose global visibility tool », *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series 31*, 1997, p. 89-100, Proceedings of Siggraph'97.

algorithmes de construction des graphes d'aspects^[Pet96]. Nous avons également effectué des recherches sur les enveloppes visuelles, représentations utilisée en vision artificielle et qui se trouve à l'intersection des travaux sur les complexes de visibilité et sur les graphes d'aspects^[Pet98].

4 Domaines d'applications

4.1 Reconstruction de surfaces et de volumes

Les résultats des recherches sur le thème « Reconstruction de surfaces et de volumes » (section 3.1) sont transférés principalement dans le domaine des géo-sciences et plus précisément de l'exploration pétrolière, via le logiciel *gOcad*. *gOcad* est développé dans le cadre d'un consortium qui regroupe une quarantaine d'universités et une trentaine de compagnies pétrolières dans le monde. La société T-Surf assure le développement et la commercialisation du logiciel *gOcad*. La société T-surf est basée à Nancy et à Houston (Texas). Elle est principalement composée d'anciens doctorants de l'École de Géologie de Nancy et du projet Isa.

4.2 Rendu Réaliste

Les résultats des recherches sur le thème « Rendu réaliste » (section 3.3) sont transférés principalement dans le domaine de la création de maquettes virtuelles : modèles architecturaux, aérospatial, la reconstruction archéologique ou encore la conception d'éclairage.

Ces applications sont réalisées avec le logiciel Candela. Ainsi, aujourd'hui, de nombreux projets de mise en lumière d'édifices prestigieux dans le monde ont été réalisés à l'aide d'une version de ce logiciel par Électricité de France. Une exploitation de ce logiciel dans le domaine de la simulation optique est également effectuée par la société *Optis*. Enfin, l'adaptation de ce logiciel pour des applications de réalité virtuelle est actuellement en cours par la société *Neoxy/Insight Vision*, start-up créée par Slimane Merzouk, ancien doctorant d'Isa.

4.3 Graphisme haute performance

L'une des applications développées sur le thème « Graphisme haute performance » (section 3.5) est le module *gOcad-VR*, extension du logiciel *gOcad* (voir thème « Reconstruction de surfaces », section 3.1). Ce module est basé sur l'API *Monster MPU*, pour bénéficier de l'amélioration de la perception visuelle permise aujourd'hui par les environnements multi-pipelines. *gOcad-VR* est développé et commercialisé par la société T-surf et a été supporté par Arco, Chevron, Elf, Exxon, Mobil, Oxy, Petrobras, Philips Petroleum et Statoil.

Les travaux évoqués sur le parallélisme dans le cadre de ce thème ont été appliqués au logiciel Candela (voir thème « Rendu réaliste », section 3.3). Cette application bénéficie aussi de l'API *Monster MPU* pour la visualisation interactive en environnements immersifs.

Tous les travaux sur ce thème ont été menés en partenariat avec SGI.

[Pet96] S. PETITJEAN, « The Enumerative Geometry of Projective Algebraic Surfaces and the Complexity of Aspect Graphs », *International Journal of Computer Vision* 19, 3, 1996, p. 1-27.

[Pet98] S. PETITJEAN, « A Computational Geometric Approach to Visual Hulls », *International Journal of Computational Geometry and Applications* 8, 4, 1998, p. 407-436, Special issue on applied computational geometry, edited by Ming Lin and Dinesh Manocha.

4.4 Réalité Augmentée

Les résultats des recherches sur le thème « réalité augmentée » (section 3.4) peuvent être mis en œuvre principalement dans des applications de type post-production, études d'impact, par exemple, ou dans le domaine de l'imagerie médicale. Dans ce domaine, nous travaillons en partenariat depuis plusieurs années avec le CHR de Nancy et General Electric (GEMSE) (voir section 3.4.4). Le travail décrit dans la section 3.4.4 est désormais intégré aux logiciels utilisés en salle d'opération et est expérimenté à l'hôpital Saint-Julien CHR. Le prototype de reconstruction ventriculaire décrit dans la section 6.4.3 est, quand à lui, testé sur une base de donnée acquise au CHU Brabois, hôpital d'enfants.

4.5 Géométrie des solides

Les résultats des recherches effectuées sur le thème « géométrie des solides » (section 3.6) ont vocation à être utilisés dans les autres thèmes (par exemple, les travaux effectués sur l'intersection de quadriques ont été exploités dans le thème « Rendu réaliste » (section 3.3)). Par ailleurs, d'une façon plus générale, ces travaux s'effectuent en partenariat avec la société canadienne *Design Logic*, qui développe le logiciel SGDL.

5 Logiciels

5.1 Reconstruction de surfaces et de volumes

Participant : Mathieu Dazy [correspondant].

Les résultats des recherches sur le thème « Reconstruction de surfaces et de volumes » (section 3.1) sont transférés principalement dans le domaine des géo-sciences et plus précisément de l'exploration pétrolière, via le logiciel *gOcad*. *gOcad* est développé dans le cadre d'un consortium qui regroupe une quarantaine d'universités et une trentaine de compagnies pétrolières dans le monde. La société T-Surf assure le développement et la commercialisation du logiciel *gOcad*. La société T-surf est basée à Nancy et à Houston (Texas). Elle est principalement composée d'anciens doctorants de l'École de Géologie de Nancy et du projet Isa.

5.2 Reconnaissance Graphique

Participant : Gérard Masini [correspondant].

Isadora est une plate-forme dédiée aux actions de recherche autour de la reconnaissance graphique. Elle comprend un ensemble de classes C++, « encapsulant » un certain nombre de méthodes d'analyse de documents graphiques développées au sein de l'équipe ces dernières années, ou appartenant à l'état de l'art dans ce domaine. Nous nous appuyons dans toute la mesure du possible sur des normes ou des standards *de facto*, si possible du domaine public : STL pour les classes de base de type collections d'objets, PBM pour les formats images, VRML pour les modèles 3D, etc.

Au cours de l'année 1999, Isadora a été stabilisé et homogénéisé ; nous avons aussi continué à l'enrichir, notamment avec des outils de vectorisation et de détection d'arcs.

Au-dessus de cette bibliothèque Isadora, nous développons aussi les interfaces utilisateur Mica et KMica.

5.3 Rendu Réaliste

Participant : Laurent Alonso [correspondant].

Les résultats des recherches sur le thème « Rendu réaliste » (section 3.3) sont transférés principalement dans le domaine de la création de maquettes virtuelles : modèles architecturaux, aérospatial, la reconstruction archéologique ou encore la conception d'éclairage.

Ces applications sont réalisées avec le logiciel Candela. Ainsi, aujourd'hui, de nombreux projets de mise en lumière d'édifices prestigieux dans le monde ont été réalisés à l'aide d'une version de ce logiciel par Électricité de France. Une exploitation de ce logiciel dans le domaine de la simulation optique est également effectuée par la société *Optis*. Enfin, l'adaptation de ce logiciel pour des applications de réalité virtuelle est actuellement en cours par la société *Neoxy/Insight Vision*, start-up créée par Slimane Merzouk, ancien doctorant d'Isa.

5.4 Réalité Augmentée

Les résultats des recherches sur le thème « réalité augmentée » (section 3.4) peuvent être mis en œuvre principalement dans des applications de type post-production, études d'impact, par exemple, ou dans le domaine de l'imagerie médicale. Dans ce domaine, nous travaillons en partenariat depuis plusieurs années avec le CHR de Nancy et General Electric (GEMSE) (voir section 3.4.4). Le travail décrit dans la section 3.4.4 est désormais intégré aux logiciels utilisés en salle d'opération et est expérimenté à l'hôpital Saint-Julien CHR. Le prototype de reconstruction ventriculaire décrit dans la section 6.4.3 est, quant à lui, testé sur une base de donnée acquise au CHU Brabois, hôpital d'enfants.

5.5 Graphisme haute performance

Participant : Christophe Winkler [correspondant].

L'une des applications développées sur le thème « Graphisme haute performance » (section 3.5) est le module *gOcad-VR*, extension du logiciel *gOcad* (voir thème « Reconstruction de surfaces », section 3.1). Ce module est basé sur l'API *Monster MPU*, pour bénéficier de l'amélioration de la perception visuelle permise aujourd'hui par les environnements multi-pipelines. *gOcad-VR* est développé et commercialisé par la société T-surf et a été supporté par Arco, Chevron, Elf, Exxon, Mobil, Oxy, Petrobras, Philips Petroleum et Statoil.

Les travaux évoqués sur le parallélisme dans le cadre de ce thème ont été appliqués au logiciel Candela (voir thème « Rendu réaliste », section 3.3). Cette application bénéficie aussi de l'API *Monster MPU* pour la visualisation interactive en environnements immersifs.

Tous les travaux sur ce thème ont été menés en partenariat avec SGI.

6 Résultats nouveaux

6.1 Reconstruction de surfaces et de volumes

Participants : Stéphane Conreux, Mathieu Dazy, Bruno Levy, Jean-Laurent Mallet, Jean-Claude Paul.

6.1.1 Modélisation à base topologique

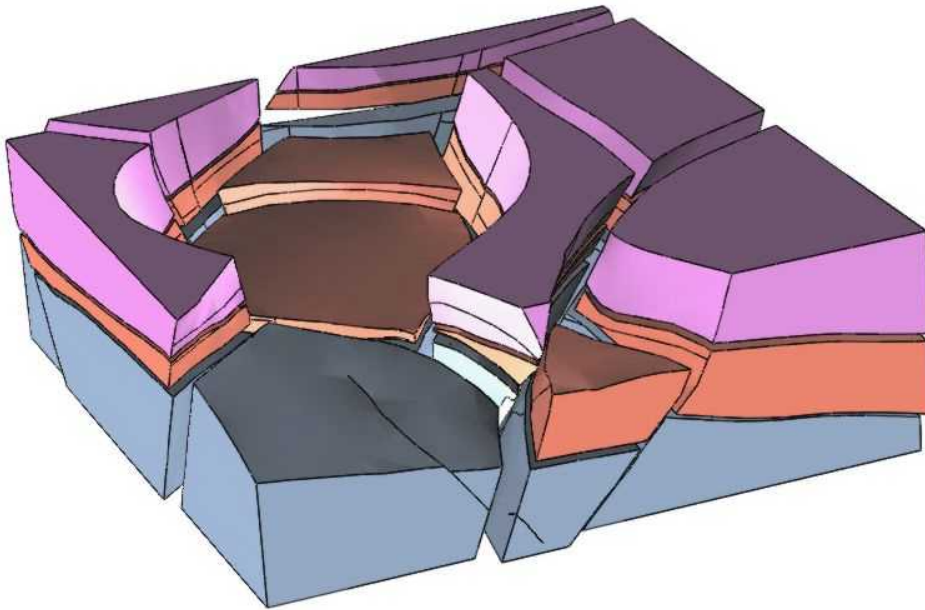


FIG. 21 – *Modélisation à base topologique*

La topologie algébrique est la branche des mathématiques qui permet de formaliser les relations entre les éléments qui composent les objets. Son utilisation, dans le cadre de la modélisation géométrique s'avère prometteuse, car la description des structures de données et des algorithmes qui composent le modèleur géométrique se trouve désormais facilitée et mieux contrôlée. Nos recherches sur ce thème ont porté sur la définition de structures et d'algorithmes permettant de représenter la topologie des maillages en dimension n . Ce travail est fondé sur le concept de *G-cartes*, introduit par P. Lienhard. Nous avons étendu cette approche à la gestion d'informations attachées aux cellules (sommets, arêtes, polygones, polyèdres...) et implanté les algorithmes dans *gOcad*.

L'illustration (cf. figure 21) montre ici un modèle géologique 3D, dont les régions correspondent aux couches géologiques, les frontières étant définies par des surfaces polygonales.

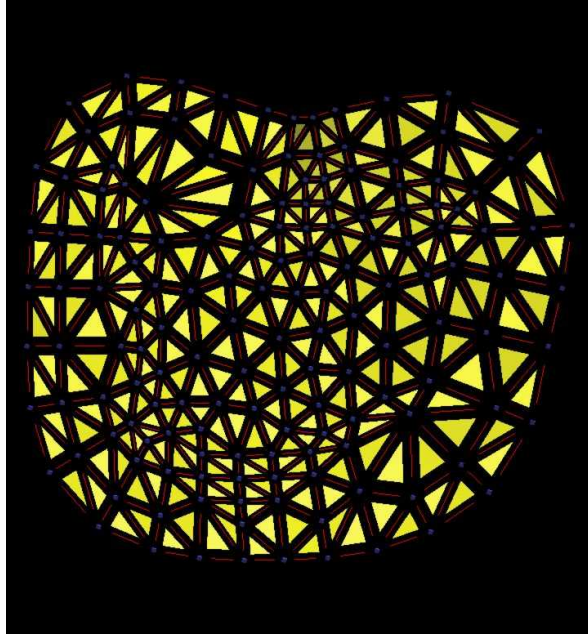


FIG. 22 – *Surface définie par un niveau hiérarchique de la structure*

6.1.2 Topologie, structure hiérarchisée et intersection de surfaces

Nous cherchons aussi à améliorer la robustesse des algorithmes d'intersection de surfaces en utilisant l'information topologique. Dans ce but, nous avons mis en place une structure destinée à représenter l'état de l'algorithme au cours de son exécution. La hiérarchisation de la structure permet de définir les relations d'inclusion entre les éléments gérés par l'algorithme d'intersection.

L'image présentée ici (figure 22) représente une surface définie par un niveau hiérarchique de la structure.

6.2 Reconnaissance Graphique

Participants : Suzanne Collin, Philippe Dosch, Gérald Masini, Gemma Sánchez, Salvatore Tabbone, Karl Tombre, Laurent Wendling.

Depuis plusieurs années, notre travail dans ce thème est principalement axé sur l'analyse de plans architecturaux et la reconstruction de modèles géométriques 3D d'ensembles urbains et architecturaux.

Dans un premier temps, un ensemble de méthodes permet de séparer les couches géométriques (traits forts, hachurage...) et de reconnaître les entités de base telles que les murs, les cloisons intérieures et les menuiseries, par simple analyse structurelle. Une seconde approche a ensuite été développée privilégiant la recherche des pièces, puis l'analyse de leurs dispositions relatives, et enfin la reconnaissance des éléments de séparation et des menuiseries, ce qui

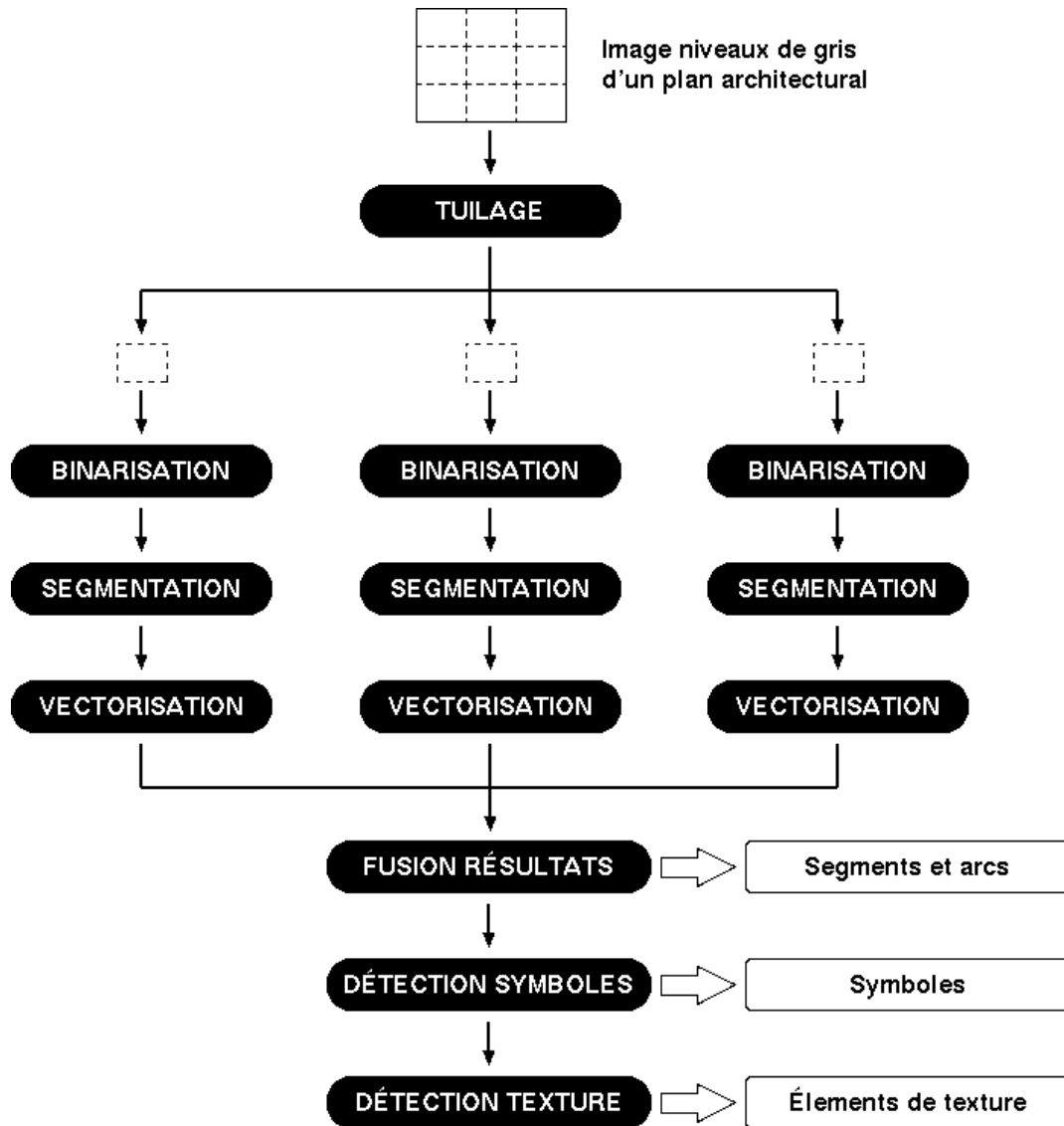


FIG. 23 – Reconstruction de modèles géométriques et spatiaux à partir de l'analyse de documents

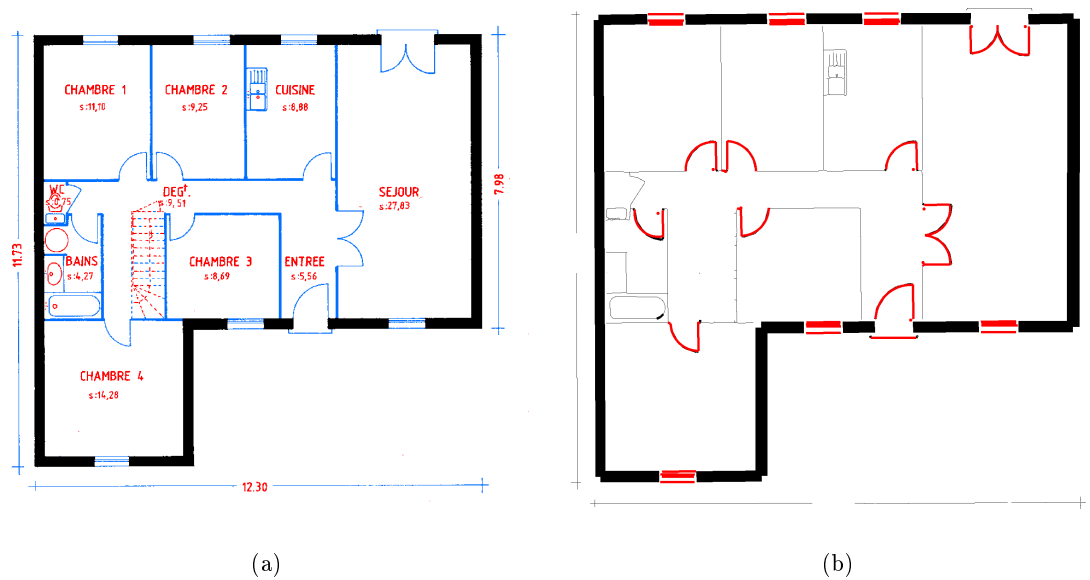


FIG. 24 – Analyse d'un plan architectural : segmentation, vectorisation et reconnaissance de symboles

permet une description de l'édifice en termes d'espaces architecturaux. Enfin, un système de reconnaissance de symboles architecturaux permet de lever certaines difficultés de reconnaissance.

Comme il est évident qu'il peut rester des ambiguïtés à chaque phase de l'analyse automatique, nous avons développé une interface pourvue d'assistants intelligents, pour permettre une coopération la plus aisée possible entre l'utilisateur et le système d'analyse [3].

Cette année, nous avons développé des techniques de mise en correspondance entre les analyses obtenues à chaque étage d'un bâtiment, afin de parvenir à une reconstruction 3D de l'ensemble du bâtiment [13] (cf. figure 26).

Comme dans beaucoup d'applications de la vision et de la reconnaissance de formes, il apparaît que la qualité des indices de bas niveau extraits de l'image est fondamentale pour que les étapes de reconnaissance et de reconstruction soient robustes. C'est pourquoi nous avons commencé cette année une réflexion de fond sur la qualité et les performances de la vectorisation d'un document graphique [20]. En particulier, il est nécessaire de mieux traiter les jonctions entre vecteurs et de réduire le bruit qui résulte des techniques classiques de vectorisation. Nous avons aussi développé une nouvelle technique de reconnaissance d'arcs, toujours dans le souci de la qualité et de la robustesse des résultats.

Dans les mois à venir, nous souhaitons continuer à approfondir la caractérisation et l'évaluation des performances de nos outils de vectorisation et de reconnaissance de symboles.

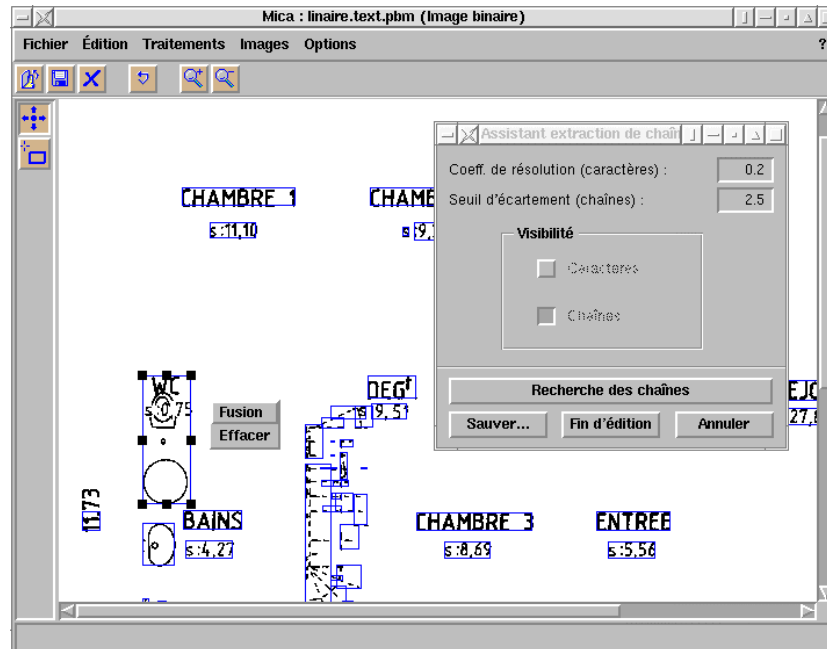


FIG. 25 – Assistants intelligents

6.3 Rendu réaliste

Participants : Laurent Alonso, Hervé Barthélémy, François Cuny, Nicolas Holzschuch, Jean-Pierre Laurent, Slimane Merzouk, Jean-Claude Paul.

6.3.1 Maillage virtuel

L'algorithme à base d'ondelettes que nous avons développé permet de réduire la complexité de l'algorithme de radiosité. Cet algorithme reste cependant très sensible aux caractéristiques géométriques des surfaces initiales. Or, celles-ci sont généralement définies lors de la modélisation avec des primitives géométriques qui peuvent être courbes ou planes, avoir des formes peu compactes, être concaves, ou trouées. Un algorithme classique de triangulation peut alors conduire à une multiplication des surfaces initiales et faire apparaître des triangles très allongés, créateurs d'effets indésirables.

Nous avons conçu une méthode permettant de calculer la radiosité sur des surfaces paramétriques, sans approximation géométrique et de façon très naturelle et rapide. Cette méthode est une abstraction géométrique, que nous avons appelée *Virtual Mesh*, qui permet, grâce à des fonctions de *mapping*, de traiter toute surface paramétrisable comme une surface plane. La figure 27 montre un modèle architectural composé de surfaces quadriques. Rendre une scène de cette complexité, avec ce niveau de précision et dans un temps raisonnable est impossible à l'aide des techniques actuellement connues.

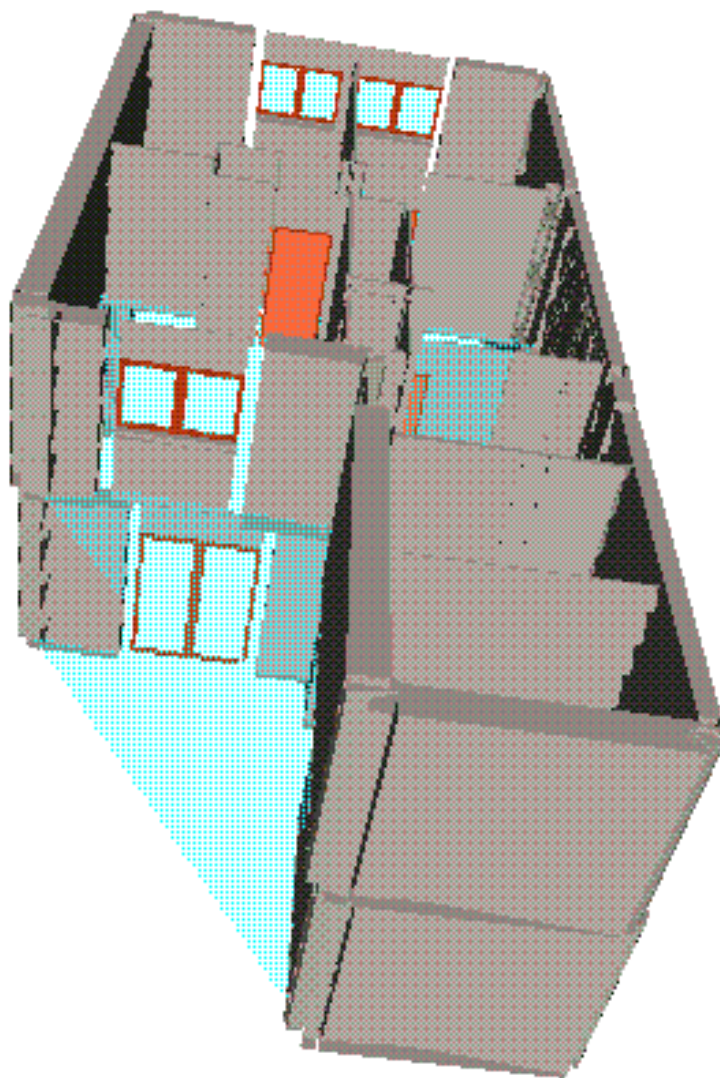


FIG. 26 – *Reconstruction 3D de l'ensemble du bâtiment*

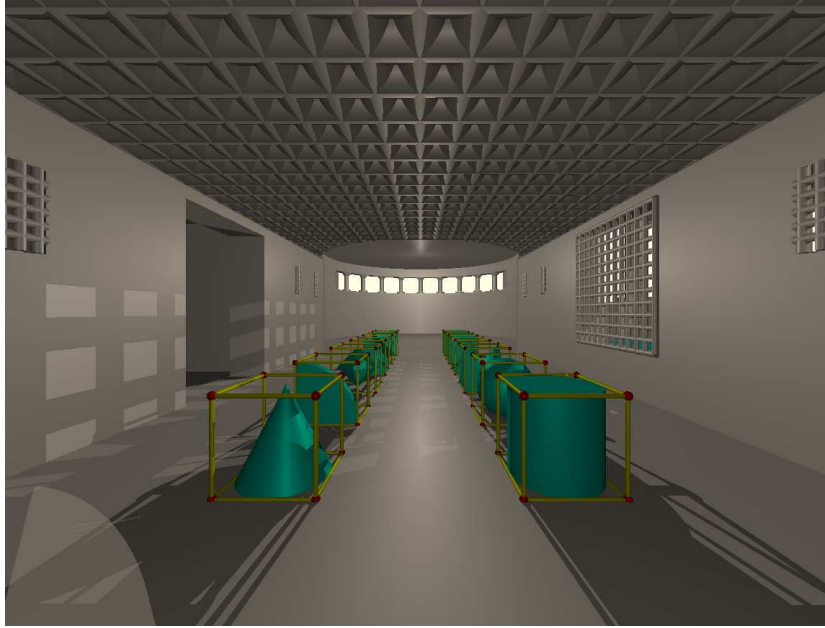


FIG. 27 – *Modèle architectural composé de surfaces quadriques*

6.4 Réalité augmentée

Participants : Marie-Odile Berger, Erwan Kerrien, Vincent Lepetit, Gilles Simon, Brigitte Wrobel-Dautcourt.

6.4.1 Recalage avec un objectif à focale variable

Nous avons cette année étendu notre méthode de recalage au cas beaucoup plus complexe d'une caméra munie d'un zoom (cf. figure 28). Nous devons donc retrouver le point de vue ainsi que les paramètres internes de la caméra (taille des pixels et centre optique). Théoriquement il est possible d'optimiser le critère défini précédemment sur l'ensemble des paramètres internes et externes. Cependant, cette méthode est inapplicable en pratique car ces paramètres ne sont pas indépendants : des mouvements de caméra sont confondus ou compensés par des zooms, l'erreur la plus fréquente concernant la confusion entre un zoom et une translation le long de l'axe optique.

Pour résoudre ce problème, nous avons tiré parti de la nature des films que nous avons à traiter : les professionnels de l'audiovisuel n'effectuent en effet presque jamais un zoom lorsque la caméra est en mouvement. La séquence est donc constituée d'une alternance de plans de zooms et de plans de mouvement. Nous avons donc élaboré une méthode en deux temps [18] : la séquence est d'abord segmentée en plans de zoom ou de mouvement. La mise à jour des paramètres s'effectue ensuite en minimisant le critère défini précédemment soit sur l'ensemble des paramètres internes soit sur l'ensemble des paramètres externes. Alors que les travaux existant sur la segmentation en plans se basent le plus souvent sur le flot optique, nous nous

basons sur l'ensemble des points d'intérêt extraits et mis en correspondance. Cette information, moins dense mais beaucoup plus précise que le flot optique, nous permet de tester de manière fiable l'hypothèse d'un zoom dans l'image. Un zoom induit en effet un mouvement affine dans l'image qui dépend de trois paramètres. La méthode consiste donc à estimer ces trois paramètres et à vérifier si ce mouvement calculé est bien compatible avec les images, notamment au niveau des contours.



(a) reprojection du modèle sur l'image



(b) scène augmentée

FIG. 28 – Exemple de recalage avec une caméra à focale variable

6.4.2 Gestion des occultations

Une fois le point de vue calculé, on peut passer à la phase d'incrustation. Il faut pour cela déterminer préalablement le masque d'occultation de l'objet virtuel car des objets de la scène, non forcément modélisés, peuvent se trouver devant l'objet à insérer.

Pour cela, nous effectuons une reconstruction 3D de la scène au voisinage de l'objet à insérer. Cette reconstruction est essentiellement basée sur le calcul des points d'intérêt qui ont été automatiquement extraits et mis en correspondance. Une triangulation de Delaunay (cf. figure 29(a)) permet ensuite d'avoir une première reconstruction surfacique grossière de la scène. Ceci permet de déterminer un masque d'occultation de l'objet qui est ensuite affiné grâce à une méthode de type contour actif [19] (cf. figure 29(b)).



(a) Triangulation et contours reconstruits



(b) Incrustation

FIG. 29 – Gestion des occultations

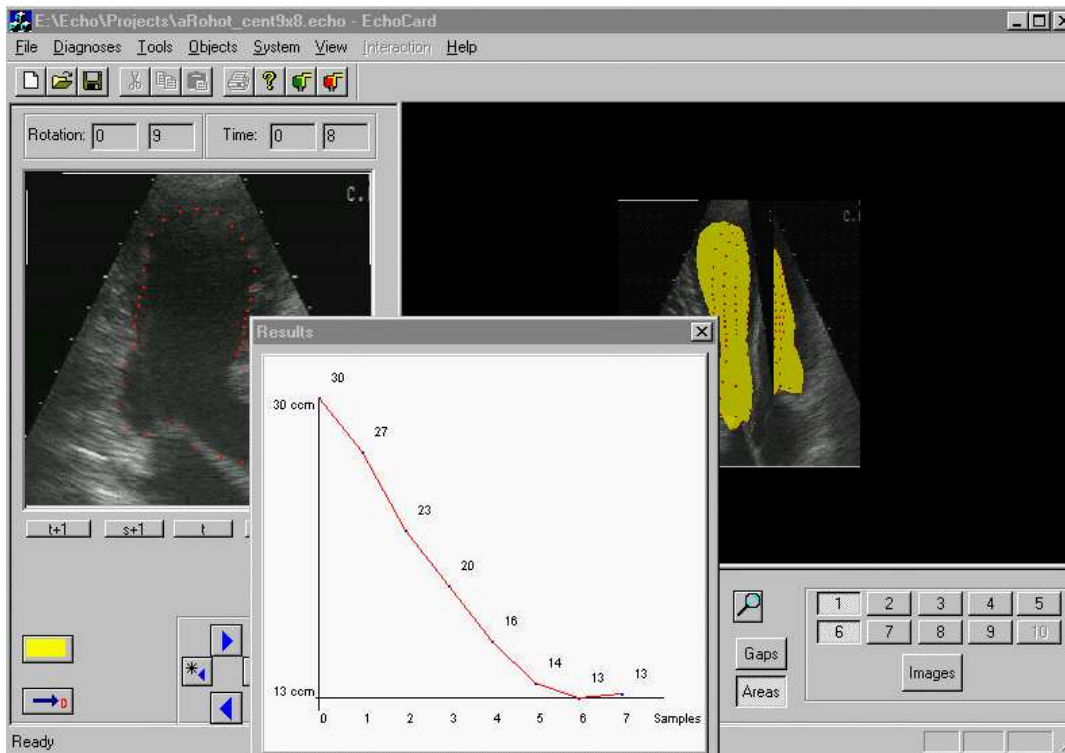


FIG. 30 – Reconstruction dynamique

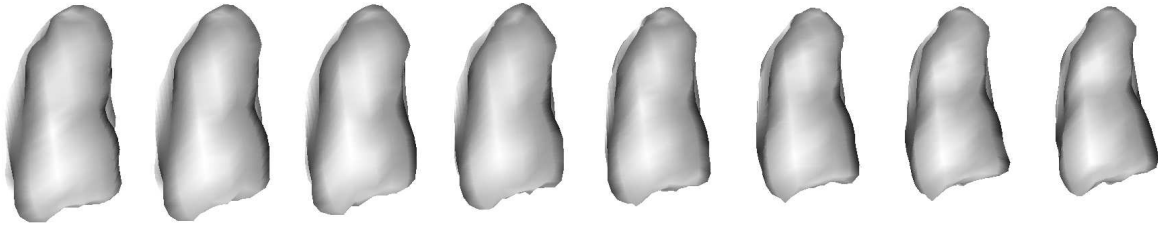


FIG. 31 – *Reconstruction dynamique du ventricule entre la fin de diastole et la fin de systole*

6.4.3 Reconstruction dynamique du ventricule

Dans cette application, nous cherchons à reconstruire dynamiquement le ventricule gauche, en utilisant des séquences d'images échogographiques trans-thoraciques acquises à l'aide d'une sonde échographique rotative. Nous avons d'abord développé une méthode de suivi permettant de détecter l'endocarde dans une séquence à partir d'un détourage initial réalisé par le médecin dans la première image. Sous l'hypothèse d'un mouvement affine (hypothèse tout à fait compatible avec le mouvement cardiaque), une première prédiction de la position du ventricule est réalisée grâce à des méthodes de corrélation. Cette estimation est ensuite affinée grâce à un calcul itératif du flot optique dans l'image. Ce processus permet d'avoir une bonne estimation initiale de la position du ventricule dans l'image suivante. Le contour du ventricule est ensuite déterminé à l'aide des modèles actifs de contour à partir de la prédiction [8].

Le suivi réalisé peut échouer partiellement en particulier à cause de l'ombrage des côtes dans certaines images. La méthode ne converge alors plus vers l'endocarde mais vers la structure du coeur la plus proche. Une des façons de résoudre ces problèmes de suivi est d'utiliser la cohérence spatiale des données. En effet, une erreur de suivi s'observe en général dans un des plans de coupe mais n'affecte pas forcément les plans voisins. Nous avons donc mis en œuvre un processus de suivi tri-dimensionnel basé sur la notion de surfaces déformables. Partant du ventricule tri-dimensionnel à l'instant initial, une prédiction du ventricule est déterminée à l'instant suivant en utilisant l'algorithme de suivi précédemment développé. L'adjonction de contraintes de régularité sur la surfaces reconstruite permet de corriger les artéfacts de reconstruction générés par le suivi.

6.5 Graphisme haute performance

Participants : Laurent Alonso, Xavier Cavin, Jean-Claude Paul, Jean-Christophe Ulysse, Christophe Winkler.

6.5.1 Gestion dynamique de mémoire partagée de grande taille

Les algorithmes parallèles hiérarchiques, de par leur nature dynamique et irrégulière, exigent des allocations et des désallocations incessantes, au sein d'une mémoire virtuelle partagée de très grande taille. Ceci pose de nombreux problèmes de gestion de mémoire, qui, s'ils ne sont pas pris en compte, peuvent considérablement dégrader les performances.

Dans un premier temps, nous avons proposé et analysé des solutions pratiques pour accélérer les accès mémoire en parallèle de façon significative, grâce aux outils disponibles avec le système d'exploitation IRIX, mais aussi en adaptant du code source disponible sous Linux.

Dans un second temps, nous avons étudié sur la machine Origin 2000 comment se comportait notre application de radiosité en terme d'utilisation de la mémoire, et nous avons ainsi montré qu'elle était exposée à des problèmes de fragmentation. Dans le pire des cas, ces problèmes peuvent mener à un échec complet des calculs, faute de mémoire disponible.

A ce stade de nos travaux, nous pouvons proposer une librairie alternative d'allocation (`malloc`) en C, qui permet d'obtenir de relativement bonnes performances, et qui semble minimiser nos problèmes de fragmentation. Néanmoins, nous pensons que ce problème reste encore largement ouvert, et d'autres expérimentations seront nécessaires (pourquoi pas avec d'autres applications?) pour valider notre approche.

6.5.2 Combinaison d'environnements multi-processeurs et de pipeline graphiques

Nous avons introduit une nouvelle architecture logicielle permettant de combiner un environnement multi-processeurs et plusieurs pipelines graphiques. Nous avons montré [10] que cette combinaison, qui exploite le moteur géométrique des pipelines graphiques, autorisait une accélération très importante de calculs géométriques globaux mis en oeuvre dans certaines applications scientifiques, sans pénaliser l'accélération du parallélisme classique.

Une étude de la mise à l'échelle de telles configurations est actuellement à l'étude, notamment dans le but de trouver le meilleur compromis processeurs / pipelines graphiques, et d'optimiser leurs interactions. Nous sommes par ailleurs intéressés par une évaluation comparée des environnements multi-processeurs et du matériel graphique dans les applications de visualisation.

6.5.3 Accélération multi-pipelines pour la visualisation scientifique

Un *pipeline* graphique est composé de trois sous-ensembles :

- 1 *Geometry engine* (qui effectue principalement les calculs géométriques),
- 1, 2, ou 4 *Raster Managers* (qui gère les traitements relatifs aux pixels et le texture mapping 2D ou 3D) et
- 2 ou 8 *Display generators*.

L'API *MPU* permet d'utiliser en parallèle plusieurs pipelines graphiques, pour des applications de type *Workbench*, *Cave*, *Visionarium*, etc., en gérant les problèmes de synchronisation et de gestion de contextes graphiques. Cette API facilite donc le portage des applications graphiques aux différents environnements immersifs de visualisation. Il suffit de changer un fichier de configuration pour permettre à l'application de s'adapter aux caractéristiques de l'environnement, sans avoir recours à une recompilation.

Monster MPU permet, en plus, de faire coopérer plusieurs pipelines graphiques pour accélérer le calcul d'une seule image :

composition 2D : cette composition se fait au niveau de l'image calculée. Celle-ci est subdivisée en n zones, ou *sous-images*, qui sont affectées chacune à un pipeline graphique

différent. Chaque pipeline calcule indépendamment et en parallèle sa propre sous-image. Celles-ci sont ensuite *recollées* pour créer l'image finale ;

composition 3D : cette technique intervient au niveau de la gestion de la scène globale à afficher. La scène est subdivisée en n sous-scènes (A , B et C) qui sont affectées aux pipelines. Le premier pipeline calcule l'image correspondant à sa sous-scène (étape a de la figure 32), avant que le *frame buffer* correspondant à l'image partielle générée soit transféré au pipeline suivant (étape α). Le pipeline suivant peut alors commencer à *compléter* cette image à partir de sa propre sous-scène (étape b). Finalement, l'image calculée par le dernier pipeline correspond à l'image finale ;

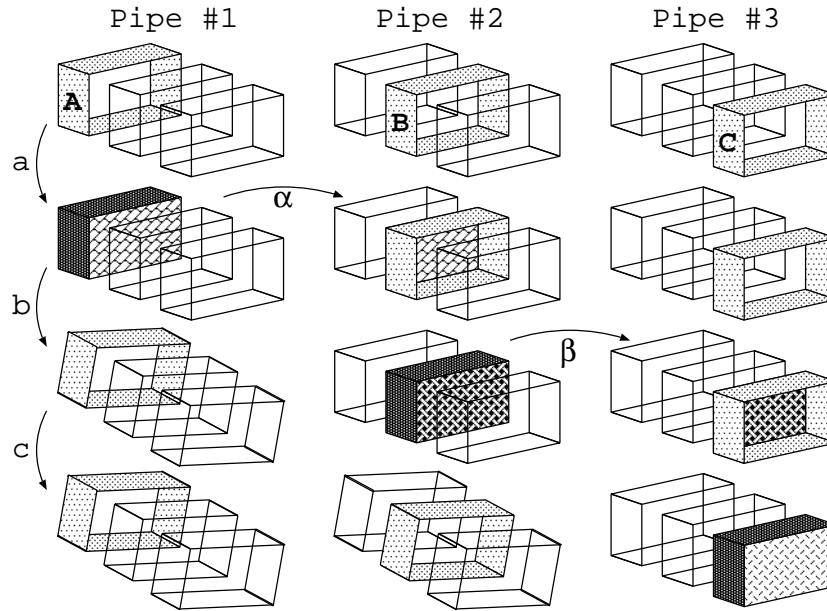


FIG. 32 – Technique de composition 3D

composition 4D : cette technique considère la quatrième dimension, c'est-à-dire le temps. Chaque pipeline calcule une image à un instant différent. Les images sont ensuite affichées de façon interlacée, pour générer la séquence en fonction de l'ordre chronologique.

Cette utilisation en parallèle de pipelines graphiques nécessite de mettre en œuvre un partitionnement des traitements à plusieurs niveaux : ce sont des stratégies de décomposition 2D, 3D ou 4D, qui permettent d'accélérer l'affichage ou d'augmenter la taille du modèle géométrique considéré, au coût d'une augmentation faible du temps de latence (cf. table 1). Dans le cas de la composition 2D, le gain en rapidité dépend de la répartition des projections des objets représentés sur les sous-images. Sans politique de répartition de la charge, les gains vont varier entre 1 et n , suivant le cas. Cette technique ne résout pas le problème de la taille de la scène, mais n'implique pas de surcoût de latence. La composition 4D, la plus facile à mettre en œuvre, permet d'accélérer l'affichage par un facteur n puisque chaque pipeline ne calcule plus qu'une image sur n . Cependant, le temps de latence (nombre d'images affichées entre la génération d'un évènement et la visualisation de son effet) est porté à n . La technique la plus

souple, la composition 3D, permet soit de garder une scène de taille constante en accélérant l’affichage d’un facteur n , soit de multiplier la taille de la scène par un facteur n en gardant une fluidité d’affichage constant. Cette solution implique elle aussi un temps de latence n .

	Rapidité	Taille	Latence
Composition 2D	1..n	1	1
Composition 3D	1 ou n	n ou 1	n
Composition 4D	n	1	n

TAB. 1 – Gains des différentes techniques d’accélération multi-pipelines pour la visualisation scientifique

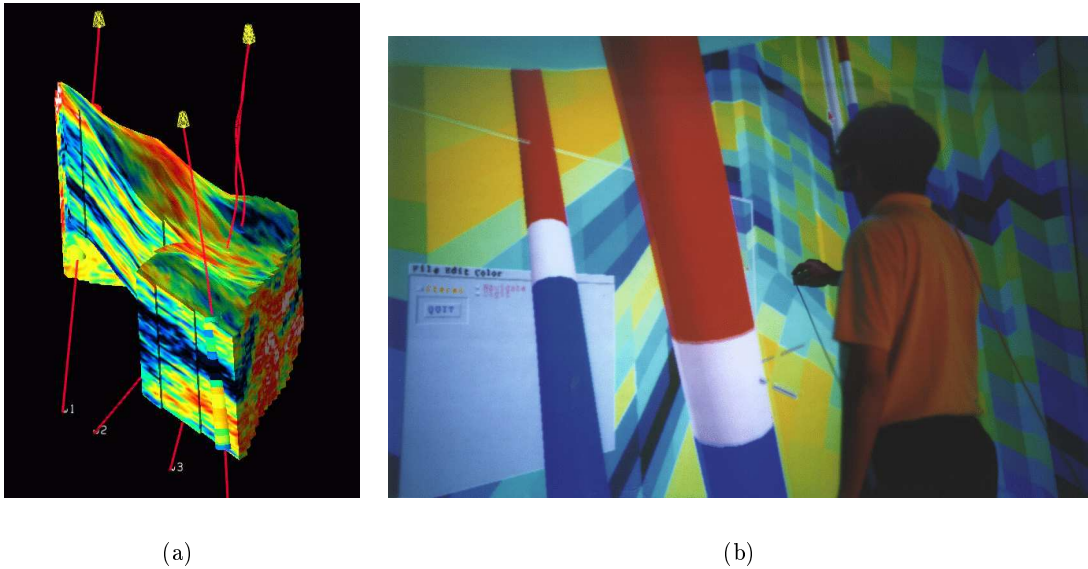


FIG. 33 – *gOcad-VR*

Nous avons également développé le module *gOcad-VR* [21] (cf. figure 33), basé sur l’API *Monster MPU*, pour bénéficier de l’amélioration de la perception visuelle permise aujourd’hui par les environnements multi-pipelines.

6.6 Géométrie des solides

Participants : Éric Colin de Verdier, Hazel Everett, Sylvain Lazard, Jean-Claude Paul, Sylvain Petitjean, Nicolas Ray, Éric Wies.

6.6.1 Interpolation avec contraintes sur la courbure

Un problème important en CAO est la construction de courbes qui interpolent un ensemble de points. Une courbe est dite « élégante » si elle satisfait certaines contraintes sur sa courbure. Une telle courbe a un aspect visuel satisfaisant et possède également des propriétés physiques intéressantes. Nous nous intéressons à contrôler la courbure d'une courbe de Bézier interpolant un ensemble de données. Plus précisément, nous cherchons à résoudre le problème suivant (voir figure 34) : étant donnés deux points M et N , deux directions \vec{u} et \vec{v} , et une constante k , nous voulons déterminer deux courbes de Bézier Γ_1 et Γ_2 connectées avec une continuité G^1 , interpolant les deux points M et N , telles que les vecteurs tangents en M et N aient pour directions respectives \vec{u} et \vec{v} , la courbure de Γ_1 et Γ_2 soit bornée par k , et minimisant une fonction d'évaluation, par exemple la longueur de la courbe résultante.

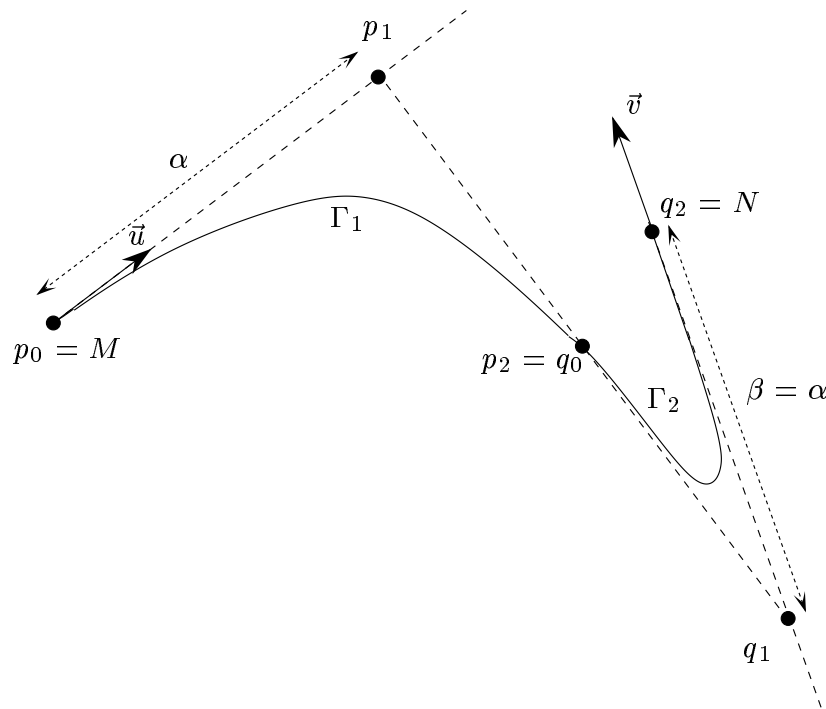


FIG. 34 – *Interpolation avec contraintes sur la courbure*

Pour résoudre ce problème nous avons besoin de déterminer la courbure maximum d'une courbe de Bézier quadratique. Ce problème a été résolu par Sapidis et Frey en 1992. Nous présentons dans [12] une solution plus simple qui a une interprétation géométrique élégante en fonction des distances et aires définies par les points de contrôle.

Nous utilisons cette solution pour résoudre plusieurs problèmes [12]. Nous résolvons le précédent problème du contrôle de la courbure dans lequel Γ_1 et Γ_2 sont joints avec une continuité C^1 , la longueur α entre les deux premiers points de contrôle de Γ_1 est égale à la longueur β entre les deux derniers points de contrôle de Γ_2 (voir figure 34), et où α est la fonction d'évaluation à minimiser. Nous étudions également la variante de ce problème où Γ_1

et Γ_2 sont joints avec une continuité G^2 au lieu de C^1 .

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Reconstruction de surfaces et de volumes

Participants : Stéphane Conreaux, Mathieu Dazy, Bruno Levy, Jean-Laurent Mallet.

Les résultats des recherches sur le thème « Reconstruction de surfaces et de volumes » (section 3.1) sont transférés principalement dans le domaine des géo-sciences et plus précisément de l'exploration pétrolière, via le logiciel *gOcad*. *gOcad est développé dans le cadre d'un consortium qui regroupe une quarantaine d'universités et une trentaine de compagnies pétrolières dans le monde. La société T-Surf assure le développement et la commercialisation du logiciel gOcad. La société T-surf est basée à Nancy et à Houston (Texas). Elle est principalement composée d'anciens doctorants de l'École de Géologie de Nancy et du projet Isa.*

7.2 Reconnaissance Graphique

7.2.1 Reconstruction 3D d'intérieurs de bâtiments à partir des plans d'architecture — contrat CNET

Participants : Philippe Dosch, Gérard Masini, Salvatore Tabbone, Karl Tombre.

L'objet de cette étude est la reconstitution en 3D d'intérieurs de bâtiments à partir des plans d'architecture (typiquement, les plans du permis de construire), à des fins de simulation de propagations d'ondes pour la téléphonie mobile, par exemple.

Ce contrat s'inscrit directement dans nos travaux sur la modélisation à partir de plans (voir section 6.2). Il s'est achevé fin 1999. Au cours de cette dernière année, le point principal a été l'appariement entre étages pour la reconstruction 3D. Nous avons aussi finalisé la notion d'assistant intelligent de l'interface utilisateur et plus généralement développé une version stable du logiciel de pilotage MICA.

7.2.2 Collaboration avec la société FS2I

Participants : Laurent Alonso, Karl Tombre.

Nous avons commencé en 1999 une collaboration avec la société FS2I, spécialiste d'un logiciel métier en calepinage pour le second-oeuvre du bâtiment. Cette société cherche des solutions précises en analyse de plans, tout en se limitant pour l'instant à une problématique de reconstruction 2D et non 3D. Nous démarrons début 2000 une thèse CIFRE sur le problème de la reprise du métré à partir de plans.

En parallèle, FS2I a aussi des problèmes de géométrie liés au calepinage, et nous avons mené en 1999 deux études (dont l'une a été sous-traitée à l'équipe MACSI) sur le calepinage complexe et sur le calepinage des plafonds rayonnants modulaires.

Une convention de partenariat sur 3 ans entre FS2I et notre équipe a été signée ; elle comporte à la fois les aspects liés à la thèse CIFRE et la poursuite des activités de conseil sur l'algorithmique du calepinage.

7.3 Rendu Réaliste

Participants : Laurent Alonso, Hervé Barthélémy, François Cuny, Nicolas Holzschuch, Jean-Claude Paul.

Les résultats des recherches sur le thème « Rendu réaliste » (section 3.3) sont transférés principalement dans le domaine de la création de maquettes virtuelles : modèles architecturaux, aérospatial, la reconstruction archéologique ou encore la conception d'éclairage.

Ces applications sont réalisées avec le logiciel Candela. Ainsi, aujourd'hui, de nombreux projets de mise en lumière d'édifices prestigieux dans le monde ont été réalisés à l'aide d'une version de ce logiciel par Électricité de France. Une exploitation de ce logiciel dans le domaine de la simulation optique est également effectuée par la société *Optis*. Enfin, l'adaptation de ce logiciel pour des applications de réalité virtuelle est actuellement en cours par la société *Neoxy/Insight Vision*, start-up créée par Slimane Merzouk, ancien doctorant d'Isa.

7.4 Réalité Augmentée

Les résultats des recherches sur le thème « réalité augmentée » (section 3.4) peuvent être mis en œuvre principalement dans des applications de type post-production, études d'impact, par exemple, ou dans le domaine de l'imagerie médicale. Dans ce domaine, nous travaillons en partenariat depuis plusieurs années avec le CHR de Nancy et General Electric (GEMSE) (voir section 3.4.4). Le travail décrit dans la section 3.4.4 est désormais intégré aux logiciels utilisés en salle d'opération et est expérimenté à l'hôpital Saint-Julien CHR. Le prototype de reconstruction ventriculaire décrit dans la section 6.4.3 est, quand à lui, testé sur une base de donnée acquise au CHU Brabois, hôpital d'enfants.

7.5 Graphisme haute performance

Participants : Laurent Alonso, Xavier Cavin, Jean-Claude Paul, Jean-Christophe Ulysse, Christophe Winkler.

L'une des applications développées sur le thème « Graphisme haute performance » (section 3.5) est le module *gOcad-VR*, extension du logiciel gOcad (voir thème « Reconstruction de surfaces », section 3.1). Ce module est basé sur l'API *Monster MPU*, pour bénéficier de l'amélioration de la perception visuelle permise aujourd'hui par les environnements multi-pipelines. *gOcad-VR* est développé et commercialisé par la société T-surf et a été supporté par Arco, Chevron, Elf, Exxon, Mobil, Oxy, Petrobras, Philips Petroleum et Statoil.

Tous les travaux sur ce thème ont été menés en partenariat avec SGI.

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Actions régionales

8.1.1 Collaboration avec le projet PAROLE

Participant : Marie-Odile Berger.

Notre collaboration avec le projet PAROLE sur le dépouillement automatique de films ciné-radiographiques en vue d'obtenir des modèles articulatoires se poursuit. Nous avons réalisé cette année un logiciel permettant le suivi des principaux articulateurs : lèvres, voile du palais, mâchoire et langue. Ce logiciel intègre les méthodes de suivi développées dans l'équipe ISA. Cependant, comme certains gestes articulatoires peuvent mettre le suivi en erreur (par exemple, lorsque la langue disparaît derrière les dents quand la bouche se ferme), des outils ont été développés pour que l'utilisateur puisse intervenir dès qu'il détecte une erreur. Il faut noter que les contraintes de position entre les différents articulateurs ont été prises en compte de façon à contraindre le suivi. Ce logiciel va être utilisé dans les mois qui viennent pour dépouiller une partie de la base de données ciné-radiographiques de ATR.

8.2 Actions nationales

8.2.1 Communications Homme-Machine

Participant : Marie-Odile Berger.

Nous participons à quatre groupes de travail du GDR-PRC CHM.

8.2.2 Geometrica

Participants : Sylvain Lazard, Sylvain Petitjean.

Nous participons à l'action incitative Géométrica.

8.2.3 Ultrasons 3D

Participant : Marie-Odile Berger.

Nous participons à l'action incitative Ultrasons 3D, dirigée par Christian Barillot, en commun avec les projets VISTA (IRISA) et Epidaure (INRIA Sophia-Antipolis)

8.2.4 ISIS

Participant : Marie-Odile Berger.

Nous participons au GDR ISIS.

8.3 Actions internationales

8.3.1 Conversion de cartes pour les pays en développement

Participants : Suzanne Collin, Karl Tombre, Laurent Wendling.

Nous avons initié en 1998 une collaboration avec l'IST (Lisbonne, Portugal) et avec l'École Polytechnique de Yaoundé (Cameroun) sur l'analyse cartographique pour la construction de Systèmes d'Information Géographique dans les pays en développement. Cette collaboration se poursuit, et nous travaillons actuellement à l'élaboration éventuelle d'un projet autour de ce thème, qui pourrait être soumis à des organismes tels que la communauté européenne.

8.3.2 Analyse de plans architecturaux et reconnaissance de symboles

Participants : Gemma Sánchez, Karl Tombre.

Nous poursuivons notre collaboration avec l'Université Autonome de Barcelone, dans le cadre notamment d'une co-tutelle de thèse sur l'analyse de textures 2D des plans architecturaux. Une coopération plus large est actuellement envisagée avec nos collègues du CVC (*Computer Vision Center*) de cette université.

8.3.3 Imagerie médicale

Participant : Marie-Odile Berger.

Nous collaborons aussi avec le *Massachusetts General Hospital/Harvard Medical School, Cardiac Unit*, dans le cadre de nos travaux en imagerie médicale (voir section 3.4).

8.3.4 Journaux

K. Tombre est *editor-in-chief* du journal *International Journal on Document Analysis and Recognition* (Springer Verlag), et *advisory editor* du journal *Machine Graphics & Vision*.

8.3.5 Congrès

- K. Tombre a été co-président du comité de programme de ICDAR'99 (Bangalore, Inde). Il a participé ou participe aux comités de programme de GREC'99 (Jaipur, Inde), CVPR'99 (Fort Collins, Colorado, USA), CVPR'2000 (Hilton Head Island, South Carolina, USA), DAS'2000 (Rio de Janeiro, Brésil), SSPR'2000 (Alicante, Espagne), RFIA'2000 (Paris), RECPAD'2000 (Porto, Portugal), CARI'2000 (Antananarivo, Madagascar) et CIFED'2000 (Lyon).
- H. Everett a participé au comité de programme de CCCG'99 (Vancouver, Canada).
- L. Alonso participe au comité de programme de CARI'2000.

8.4 Visites, et invitations de chercheurs

8.4.1 Reconnaissance Graphique

K. Tombre a fait une conférence invitée au CVC (Université autonome de Barcelone, Espagne)

8.4.2 Rendu réaliste

Marc Stamminger, chercheur au Max-Planck Institute for Computer Science (Saarbrücken, Allemagne) a été invité pour une journée dans le projet ISA. N. Holzschuch a été invité pour une journée au Max-Planck Institute for Computer Science.

8.4.3 Graphisme haute performance

- C. Winkler a été invité plusieurs fois, pour un total d'un mois, par la société T-Surf (Houston, Texas) et par la société SGI (Cortailod, Suisse).

8.4.4 Géométrie des solides

- Sue Whitesides (McGill University, Montréal), Otfried Cheong (Hong-Kong University of Science and Technology), Jean-Daniel Boissonat (INRIA Sophia-Antipolis), Michel Pocchiola (ENS), Jean-François Rotgé (University of Montréal) et Pierre Macé (École des Mines de Nantes) ont été invités dans le cadre de journées scientifiques ou de séminaires.
- S. Lazard a été invité pour une semaine à l'INRIA Sophia Antipolis, et pour un mois par la société SGDL Inc. (Montréal).
- H. Everett a été invitée pour un séminaire à l'Université Louis Pasteur (Strasbourg).

9 Diffusion de résultats

9.1 Enseignement

- Plusieurs membres du projet, en particulier les enseignants-chercheurs, participent activement aux formations nancéennes : Université Henri Poincaré Nancy 1, Université Nancy 2, ESIAL⁶, École des Mines de Nancy.
- Nous participons aussi à des enseignements plus spécifiques en imagerie : DEA d'informatique de Nancy.
- G. Masini a participé à des enseignements à l'université de Montpellier 2.
- N. Holzschuch a participé au tutorial *Advanced Radiosity: Complex Scenes and Glossy Surfaces*, organisé dans le cadre de la conférence Eurographics'99.
- S. Lazard a co-encadré la thèse de maîtrise de N. Kassan à l'Université du Québec à Montréal, intitulée *Système de modélisation géométrique en 3D basé sur des courbes simples de contrôle: une implantation de « Form Organisation »* et soutenue en avril 1999.

6. École Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine.

9.2 Participation à des colloques, conférences invitées...

- Des membres du projet ont participé aux conférences et colloques suivants : Eurographics '99 (Milan, Italie), 4th International Conference on Curves and Surface (St-Malo, France), Siggraph'99, Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'99) (Bangalore, Inde), IEEE Visualisation'99 (San Francisco, CA), 10th Annual International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC'99) (Chennai), Third IAPR International Workshop on Graphics Recognition (Jaipur, Inde), Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI'99) (Cambridge, Angleterre), journées ORASIS 1999 (Aussois, France), 15th European Workshop on Computational Geometry (Antibes, France), High Performance Visualization and Computing Summit (Galveston, Texas), Society of Exploration Geophysicists (SEG) (Houston, Texas).
- C. Winkler a donné une conférence invitée, « La Simulation... dans tous ses états » à l'École Doctorale PROMEMA (Vandœuvre).

10 Bibliographie

Articles et chapitres de livre

- [1] M.-O. BERGER, B. WROBEL-DAUTCOURT, S. PETITJEAN, G. SIMON, « Mixing Synthetic and Video Images of an Outdoor Urban Environment », *Machine Vision and Applications*, 1999.
- [2] J.-D. BOISSONNAT, O. DEVILLERS, S. LAZARD, « Motion Planning of Legged Robots », *SIAM Journal on Computing*, 1999, à paraître, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-182/99-R-182.ps>.
- [3] P. DOSCH, C. AH-SOON, G. MASINI, G. SÁNCHEZ, K. TOMBRE, « Design of an Integrated Environment for the Automated Analysis of Architectural Drawings », in : *Document Analysis Systems: Theory and Practice. Third IAPR Workshop, DAS'98, Nagano, Japan, November 4-6, 1998, Selected Papers*, S.-W. Lee et Y. Nakano (éditeurs), *Lecture Notes in Computer Science, 1655*, Springer-Verlag, Berlin, novembre 1999, p. 295–309, version étendue de l'article de même titre paru dans les actes de DAS'98.
- [4] N. HOLZSCHUCH, L. ALONSO, « Using graphics hardware to speed-up your visibility queries », *Journal of Graphics Tools*, 1999, à paraître, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-030/99-R-030.ps>.
- [5] N. HOLZSCHUCH, F. X. SILLION, « An exhaustive error-bounding algorithm for hierarchical radiosity », *Computer Graphics Forum 17*, 4, décembre 1998, p. 197–218, <http://www.loria.fr/publications/1998/98-R-167/98-R-167.ps>.
- [6] S. PETITJEAN, « Algebraic Geometry and Computer Vision: Polynomial Systems, Real and Complex Roots », *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 1998.
- [7] G. SIMON, M.-O. BERGER, « Des méthodes efficaces pour l'incrustation d'objets virtuels dans des séquences d'images. », *traitement du signal 16*, 1, 1999, p. 31–46, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-183/99-R-183.ps>.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [8] M.-O. BERGER, G. WINTERFELDT, J. P. LETHOR, « Contour Tracking in Echocardiographic Sequences without Learning Stage: Application To the 3D Reconstruction of The Beating Left Ventricle », in : *Proceedings of Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention*

- (MICCAI'99), Cambridge, England, *Lecture Notes in Computer Science, 1679*, Springer, p. 508–515, septembre 1999.
- [9] T. C. BIEDL, E. D. DEMAINE, S. LAZARD, S. M. ROBBINS, M. A. SOSS, « Convexifying Monotone Polygons », in: *10th Annual International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC'99)*, Chennai, *Lecture Notes in Computer Science*, Kamakoti V (IMSC, India) Rangarajan K (MCC, India) Rama R (IIT, Madras, India) Boopal E (IIT, Madras, India), Springer-Verlag, décembre 1999. à paraître, <http://www.loria.fr/publications/1999//.ps>.
- [10] X. CAVIN, L. ALONSO, J.-C. PAUL, « Overlapping Multi-Processing and Graphics Hardware Acceleration: Performance Evaluation », in: *Parallel Visualization and Graphics Symposium 1999, San Francisco, CA*, IEEE, ACM SIGGRAPH, p. 79–88, octobre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999//.ps>.
- [11] X. CAVIN, « Load Balancing Analysis of a Parallel Hierarchical Algorithm on the Origin2000 », in: *Fifth European SGI/Cray MPP Workshop*, Bologna, Italy, CINECA, octobre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999//.ps>.
- [12] H. DEDDI, H. EVERETT, S. LAZARD, « Interpolation with curvature constraints », in: *4th International Conference on Curves and Surfaces, Saint-Malo*, Association Francaise d'Approximation, juillet 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999//.ps>.
- [13] P. DOSCH, G. MASINI, « Reconstruction of the 3D Structure of a Building from the 2D Drawings of its Floors », in: *Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition, Bangalore, Inde*, International Association for Pattern Recognition, IEEE Computer Society, p. 487–490, septembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-105/99-R-105.ps>.
- [14] P. DOSCH, G. MASINI, « Techniques de mises en correspondance en analyse de plans d'architecte », in: *12ème Congrès Francophone AFRIF-AFIA de Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle, Paris*, février 2000. à paraître.
- [15] E. KERRIEN, M.-O. BERGER, E. MAURINCOMME, L. LAUNAY, R. VAILLANT, L. PICARD, « Fully automatic 3D/2D subtracted angiography registration », in: *Proceedings of Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI'99)*, Cambridge (England), *Lecture Notes in Computer Science, 1679*, Springer, p. 664–671, septembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-171/99-R-171.ps>.
- [16] E. KERRIEN, M.-O. BERGER, E. MAURINCOMME, L. LAUNAY, R. VAILLANT, L. PICARD, « Recalage automatique d'images d'angiographie », in: *Journées ORASIS 1999*, Aussois, France, avril 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-172/99-R-172.ps>.
- [17] G. SIMON, M.-O. BERGER, « Registration Methods for Harmonious Integration of Real Worlds and Computer Generated Objects », in: *Advanced Research Workshop on Confluence of Computer Vision and Computer Graphics, Ljubljana, Slovenia*, août 1999.
- [18] G. SIMON, M.-O. BERGER, « Registration with a Zoom Lens Camera for Augmented Reality Applications », in: *Second International Workshop on Augmented Reality, San Francisco, CA*, octobre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-204/99-R-204.ps>.
- [19] G. SIMON, V. LEPETIT, M.-O. BERGER, « Registration methods for harmonious integration of real worlds and computer generated objets », in: *Eurographics, Short Papers and Demos, Milan*, p. 53–55, septembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-180/99-R-180.ps>.
- [20] K. TOMBRE, C. AH-SOON, P. DOSCH, G. MASINI, S. TABBONE, « Stable and Robust Vectorization: How to Make the Right Choices », in: *Third IAPR International Workshop on Graphics Recognition, Jaipur, India*, p. 3–16, septembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-178/99-R-178.ps>.
- [21] C. WINKLER, F. BOSQUET, X. CAVIN, J.-C. PAUL, « Design and Implementation of an Immersive Geoscience Toolkit », in: *IEEE Visualisation'99, San Fransisco, CA*, D. Ebert, M. Gross, B. Hamann (éditeurs), octobre 1999.