

Projet ISA

Modélisation, Simulation et Visualisation

Lorraine

THÈME 3B

R *apport*
d'Activité

2001

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	4
3	Fondements scientifiques	4
3.1	Reconnaissance de graphiques	4
3.1.1	Analyse de documents techniques	5
3.1.2	Les étapes	6
3.1.3	Acquis, espoirs et défis	7
3.1.4	Points forts	8
3.2	Modélisation par la vision	8
3.2.1	Méthodes séquentielles de recalage	9
3.2.2	Gestion des occultations	10
3.2.3	Multi-modalité pour la neuroradiologie	10
3.2.4	Reconstruction dynamique du ventricule	11
3.3	Modélisation et calculs géométriques	11
3.3.1	Construction et manipulation de surfaces triangulées	12
3.3.2	Intersection robuste de surfaces	13
3.3.3	Modélisation à base topologique	14
3.3.4	Visibilité	14
3.4	Simulation et visualisation	15
3.4.1	Calcul de la fonction de radiosité	15
3.4.2	Parallélisation d'algorithmes irréguliers et hiérarchiques	16
3.4.3	Algorithmes pour la visualisation	17
3.4.4	Visualisation « haute-performance »	18
4	Domaines d'applications	19
4.1	Exploration pétrolière	19
4.2	Prototypage virtuel	19
4.3	Réalité augmentée	19
4.4	Imagerie médicale	19
4.5	Analyse de plans et de documentation technique	19
5	Logiciels	20
5.1	Gocad	20
5.2	Candela	21
5.3	Graphite	21
5.4	Qgar	21
6	Résultats nouveaux	22
6.1	Reconnaissance de graphiques	22
6.2	Modélisation par la vision	23
6.3	Modélisation et calculs géométriques	24

6.4	Simulation et visualisation	25
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	26
7.1	Création d'entreprises de technologie	26
7.1.1	T-Surf	26
7.1.2	Neoxy	26
7.1.3	VSP-Technology	26
7.2	Partenariats stratégiques	26
7.2.1	Consortium Gocad	26
7.2.2	SGI	26
7.2.3	SGDL	27
7.2.4	General Electric Medical Systems	27
7.2.5	France Telecom R&D	27
7.2.6	FS2i	27
7.3	Autres	28
7.3.1	RNTL	28
7.3.2	EDF R&D	28
7.3.3	Océ Industries	28
8	Actions régionales, nationales et internationales	28
8.1	Actions régionales	28
8.1.1	Contrat de Plan Etat-Region (CPER)	28
8.1.2	Collaboration avec le projet PAROLE	29
8.2	Actions nationales	29
8.2.1	ISIS	29
8.2.2	ACI Grid	29
8.2.3	ARC Visi3D	29
8.2.4	ARC CoSTIC	29
8.3	Actions internationales	30
8.3.1	IA'64	30
8.3.2	Coopération académique avec l'UAB (Universitat Autònoma de Barcelona)	30
8.3.3	Le projet ARIS	30
8.3.4	Équipe associée McGill-Isa	30
8.3.5	Journaux	31
8.3.6	Congrès	31
8.3.7	Associations	31
8.4	Visites, et invitations de chercheurs	31
9	Diffusion de résultats	32
9.1	Enseignement	32
9.2	Participation à des colloques, séminaires, invitations	32
10	Bibliographie	32

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Jean-Claude Paul [DR INRIA, depuis le 1^{er} septembre]

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]

Cédric Haumont [Ingénieur]

Erwan Kerrien [CR, depuis le 1^{er} octobre]

Sylvain Lazard [CR]

Bruno Lévy [CR]

Ben Li [Ingénieur, depuis le 1^{er} septembre]

Personnel CNRS

Gérald Masini [CR]

Sylvain Petitjean [CR]

Personnel Université

Suzanne Collin [MC, UHP]

Philippe Dosch [MC, Université Nancy 2, IUT de Nancy–Verdun]

Hazel Everett [Professeur, Université Nancy 2]

Bart Lamiroy [MC, INPL–École des Mines de Nancy]

Vincent Lepetit [ATER, jusqu'au 1^{er} octobre]

Jean-Laurent Mallet [professeur ENSG², président du consortium Gocad]

Gilles Simon [MC, UHP]

Salvatore Tabbone [MC, Université Nancy 2, en délégation à l'INRIA jusqu'à 2002]

Pascal Vaxivière [PTA ENSAM, UHP]

Laurent Wendling [MC, UHP, IUT de Saint-Dié]

Brigitte Wrobel-Dautcourt [MC, UHP]

Chercheurs doctorants

René Anxionnat [Praticien hospitalier CHU]

Hervé Barthélemy [CIFRE, jusqu'au 1^{er} août]

Stéphane Conreux [consortium Gocad, jusqu'au 1^{er} juillet]

Mathieu Dazy [allocataire MENESR, jusqu'au 1^{er} avril]

Laurent Dupont [allocataire MENESR]

Xavier Goaoc [allocataire AMN, depuis le 1^{er} octobre]

Xavier Hilaire [CIFRE]

Geoffroy Lauvaux [CIFRE]

Guillaume Leborgne [allocataire MENESR, jusqu'au 1^{er} octobre]

Luciano Pereira Dos Reis [bourse Petrobras]

¹Institut National Polytechnique de Lorraine

²École Nationale Supérieure de Géologie

Nicolas Ray [BDI CNRS cofinancée Industrie]
 Gemma Sánchez [assistante à l'UAB³ (co-tutelle de thèse), jusqu'au 5 novembre]
 Jean-Christophe Ulysse [boursier INRIA]
 Éric Wies [allocataire MENESR, jusqu'au 1^{er} juillet]

Chercheurs post-doctorants

Xavier Cavin [INRIA jusqu'au 1^{er} septembre]
 François Cuny [INRIA]
 Hyeon-Suk Na [INRIA (ARC Visi3D), depuis le 1^{er} mars]

Stagiaire

Dorothée Crépe [INRIA]

2 Présentation et objectifs généraux

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

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 : la recherche pétrolière, la visualisation scientifique, le prototypage virtuel, la réalité augmentée, l'analyse de plans architecturaux.

Les thèmes de recherche développés dans Isa sont :

1. Reconnaissance de graphiques ;
2. Modélisation par la vision ;
3. Modélisation et calculs géométriques ;
4. Simulation et visualisation.

3 Fondements scientifiques

3.1 Reconnaissance de graphiques

Participants : Suzanne Collin, Philippe Dosch, Xavier Hilaire, Bart Lamiroy, Gérald Masini, Gemma Sánchez, Salvatore Tabbone, Karl Tombre, Pascal Vaxivière, 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*

³Universitat Autònoma de Barcelona

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.

3.1.1 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*⁴, 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 celles qui se sont penchées 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

⁴Ou 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.

plusieurs aspects de l'interprétation de dessins d'ingénierie, en vue de les convertir en une représentation CAO [Tom96].

3.1.2 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.

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].

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

[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.

3.1.3 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 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.

3.1.4 Points forts

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 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.

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 menons une réflexion de fond sur la qualité et les performances de la vectorisation d'un document graphique. 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.

Il apparaît également très clairement ces dernières années que les méthodes de reconnaissance de graphiques présentent de l'intérêt bien au delà d'une problématique classique de reconstruction/rétroconversion. Elles permettent en effet d'apporter des critères d'indexation et de recherche supplémentaires dans les problèmes de recherche d'information et d'indexation de grandes bases documentaires, et de fouille de données. Nous avons donc commencé à explorer l'interaction entre reconnaissance d'indices graphiques et le domaine très riche et très actuel de la recherche d'information.

3.2 Modélisation par la vision

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

Résumé : *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 de manière très réaliste. Les applications de ces systèmes sont multiples. Citons par exemple la réalisation d'études d'impact, les simulateurs de tous ordres (simulateurs médicaux, télé-opération, visites virtuelles...), ainsi que la conception d'effets spéciaux pour l'industrie cinématographique... Les méthodes à mettre en œuvre diffèrent fortement selon que les applications nécessitent un traitement temps réel, comme pour les simulateurs, ou un traitement de type post-production. Dans le premier cas, il est nécessaire de développer des méthodes séquentielles de composition, tandis que dans le deuxième cas, on peut tirer parti de l'ensemble des images disponibles pour réaliser la composition.*

Nous nous intéressons plus particulièrement à l'incrustation d'objets de synthèse dans des séquences vidéo, aussi bien du point de vue séquentiel que du point de vue de la post-production. Nous avons d'abord développé des méthodes robustes permettant le calcul séquentiel du point de vue de la caméra pour la séquence d'images. Cette méthode a été étendue au cas de caméras à focale variable. Nous développons également des méthodes permettant de gérer le plus automatiquement possible les occultations la scène et les objets virtuels ajoutés.

Nous développons également des applications en imagerie médicale qui s'appuient sur les travaux, notamment de suivi et de recalage, développés dans l'équipe. Ces travaux concernent plus spécialement les images ultrasonores et le développement d'outils multi-modalité pour la neuro-radiologie interventionnelle.

3.2.1 Méthodes séquentielles de recalage

Obtenir une composition réaliste nécessite que les objets soient incrustés en utilisant le même point de vue que celui adopté par la caméra lors du tournage de la séquence. Retrouver le point de vue de la caméra à partir de la séquence est donc primordial pour la réalité augmentée. Par ailleurs, pour bon nombre d'applications qui requièrent une interaction avec l'utilisateur, ce calcul doit pouvoir être réalisé séquentiellement. Nous avons donc proposé un ensemble de méthodes permettant de calculer le point de vue de façon séquentielle et complètement autonome, même pour des environnements complexes.

Notre méthode s'appuie à la fois sur les connaissances 3D souvent disponibles sur la scène ainsi que sur les correspondances de points d'intérêt entre les images de la séquence. Cette méthode est donc un compromis entre les méthodes basées modèles, cherchant à minimiser l'erreur de reprojection du modèle, et les méthodes projectives basées image.

Nous avons d'abord étendu le recalage basé modèle au cas de primitives courbes 3D de forme libre, ce qui est très utile en environnement urbain, par exemple. Comme l'extraction et le suivi de primitives courbes peut produire des mises en correspondance en partie erronées, nous avons mis en œuvre un algorithme à deux niveaux, basés sur les statistiques robustes, qui permet d'éliminer du calcul les primitives complètement erronées et ne retient que les parties des primitives image qui correspondent effectivement aux connaissances 3D. Cette capacité d'identification des *outliers* est aussi utilisée pour la mise à jour des primitives utilisées : 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.

Les méthodes basées modèle ont cependant l'inconvénient d'optimiser le point de vue pour les seules primitives du modèle. L'incrustation d'un objet loin de ces primitives se traduit alors souvent par une erreur de reprojection très élevée et donc une très mauvaise qualité de composition. Nous avons donc renforcé le calcul 3D/2D en utilisant la contrainte épipolaire sur les appariements 2D/2D de points d'intérêt. L'optimisation d'un critère incluant les critères 2D/3D et 2D/2D permet d'améliorer considérablement le réalisme des images, tout en conservant la robustesse, la séquentialité et l'autonomie de l'algorithme. Nous travaillons actuellement à l'extension de ces algorithmes au cas de caméras à focale variable.

3.2.2 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 (c'est-à-dire la partie visible de l'objet), car des objets de la scène, non forcément modélisés, peuvent se trouver devant l'objet à insérer. Dans la plupart des cas, gérer correctement les occultations nécessite de reconstruire précisément la scène au voisinage de l'objet à insérer. Cette reconstruction est également nécessaire pour gérer les interactions lumineuses entre mondes réels et mondes virtuels.

La reconstruction de type stéréoscopique d'un environnement à partir de plusieurs vues n'est en général pas suffisamment précise pour permettre une gestion satisfaisante des occultations. En effet la reconstruction n'est pas assez dense et de plus, elle est en général très imprécise au voisinage des contours d'occultation. Une difficulté supplémentaire provient du fait que les points de vue sont calculés et sont donc entachés d'une incertitude dépendant de la position de la caméra par rapport à la scène.

Pour ces raisons, nous développons actuellement une méthode de gestion interactive des occultations basée sur le concept de vues clés, dont l'objectif est de combiner la reconstruction et le suivi pour détecter les objets occultants à chaque instant. L'idée générale est de reconstruire localement l'objet occultant en sollicitant l'utilisateur, puis d'utiliser des techniques de suivi pour affiner l'estimation de l'objet occultant.

3.2.3 Multi-modalité pour la neuroradiologie

Cette recherche est effectuée en partenariat avec General Electric. Dans le cadre de la neuroradiologie interventionnelle, le médecin utilise diverses modalités d'imagerie : l'angiographie soustraite 2D, l'angiographie tridimensionnelle et l'imagerie par résonance magnétique. Leur complémentarité ne peut être pleinement exploitée que si ces images sont recalées. L'objectif de nos travaux est de proposer des solutions robustes et rapides au recalage de ces trois modalités.

Nous avons d'abord travaillé sur le recalage des images angiographiques 2D et 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 un recalage initial effectué par corrélation avec la projection en maximum d'intensité du volume 3D. Le résultat est affiné grâce à une méthode itérative faisant intervenir le flot optique.

Nous avons ensuite considéré le problème du recalage IRM/angio 3D. Le principal obstacle

réside ici dans la très grande différence entre les deux signaux. Afin de les surmonter, nous avons proposé une approche basée sur un critère de similarité de voxels. Son principe consiste à filtrer les données pour les rendre plus similaires, puis de les comparer par un critère de corrélation. La mise en œuvre de cette stratégie conduit à un algorithme original, à la fois précis et rapide.

3.2.4 Reconstruction dynamique du ventricule

Dans cette application, nous cherchons à reconstruire dynamiquement le ventricule gauche, en utilisant des séquences d'images échographiques 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 pendant le cycle cardiaque dans un plan de coupe donné. Cependant, 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 tridimensionnel basé sur la notion de surfaces déformables. Partant du ventricule tridimensionnel 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 artefacts de reconstruction générés par le suivi.

3.3 Modélisation et calculs géométriques

Participants : Stéphane Conreux, Mathieu Dazy, Laurent Dupont, Hazel Everett, Xavier Goac, Geoffroy Lauvaux, Sylvain Lazard, Bruno Lévy, Jean-Laurent Mallet, Hyeon-Suk Na, Jean-Claude Paul, Sylvain Petitjean, Éric Wies.

Résumé : *Dans le domaine de la modélisation 3D, il existe plusieurs approches différentes pour représenter les objets, chacune d'entre elle étant bien adaptée à un domaine d'applications précis. La modélisation volumique représente les objets comme des combinaisons booléennes de solides, alors que la modélisation surfacique représente les objets par leurs bords. Les surfaces manipulées peuvent être représentées par des fonctions (quadriques, splines) ou bien discrétisées sous la forme d'ensembles de polygones.*

Cette diversité des représentations possibles et les problèmes géométriques et topologiques difficiles qu'elle induit en amont des méthodes de visualisation et de rendu réaliste nous ont poussé à mettre en place un pôle de compétence autour de la notion des « Mathématiques pour le graphisme ». Au sein de ce pôle, l'accent est mis sur l'utilisation de techniques mathématiques de pointe et le développement d'algorithmes novateurs permettant d'augmenter le réalisme et la robustesse de la visualisation et du rendu de scènes complexes et d'améliorer l'assise théorique des techniques sous-jacentes.

Les travaux réalisés portent principalement sur la conversion entre différents types de représentation d'objets, la combinatoire mise en jeu par ces représentations et les manières de préserver la topologie des modèles correspondants, et enfin les requêtes de visibilité dans des environnements constitués d'objets courbes simples.

3.3.1 Construction et manipulation de surfaces triangulées

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.

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.

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.

Cette méthode satisfait les exigences des méthodes classiques de modélisation (topologie arbitraire,...) mais ne souffre pas de certaines limitations inhérentes à ces méthodes (par exemple, comme assurer une continuité entre des surfaces polynomiales). 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. Il est ainsi possible de modéliser sous contraintes les objets présentant des formes naturelles, où les informations sont parcellaires et de différents types.

Parallèlement, nous avons développé une autre méthode de reconstruction de surfaces triangulées à partir de nuages de points. Cette méthode, dite des interpolants réguliers, s'appuie sur une définition discrète de la notion de squelette et une transposition dans le domaine discret des critères d'échantillonnage développés dans la communauté de géométrie algorithmique pour garantir qu'un nuage de points est suffisamment dense pour être reconstruit sans ambiguïté. L'implantation procède alors par propagation d'un critère de reconstruction local et donne des reconstructions très pertinentes. Nous travaillons actuellement à la comparaison de cette méthode avec d'autres méthodes de reconstruction.

Par ailleurs, nous nous intéressons à la « simplification » de modèles triangulés, au sens d'un

enrichissement de la géométrie. Plus explicitement, nous explorons les possibilités d'identifier sur une surface triangulée les zones qui correspondent à des morceaux de sphères, de cylindres, etc. Cette simplification permet une manipulation plus interactive et une visualisation plus réaliste des surfaces qui restent aujourd'hui encore les plus utilisées dans un contexte industriel.

3.3.2 Intersection robuste de surfaces

Les modèles polygonaux traditionnellement utilisés en informatique graphique ne suffisent pas toujours à rendre compte de la réalité que l'on souhaite modéliser. Pour cette raison, nous étudions les possibilités offertes par les surfaces quadriques (sphères, cylindres, cônes, etc.). Ces surfaces représentent un bon compromis entre souplesse de modélisation et complexité d'utilisation. Cette étude est réalisée en relation étroite avec la société canadienne SGDL Inc. (Solid Geometry Design Logic) qui développe un modéleur volumique à base de quadriques.

En comparaison avec les 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. Nous avons donc travaillé avec les membres du thème « Simulation et visualisation » pour le développement de la méthode dite du maillage virtuel qui permet, en créant une abstraction géométrique plane des surfaces, d'illuminer de manière efficace et très réaliste des surfaces paramétriques que l'on ne pouvait jusque là illuminer qu'en les découpant en mailles triangulaires.

En amont des problèmes de visualisation et d'illumination de surfaces courbes, nous travaillons surtout sur la transformation des modèles volumiques issus du modéleur SGDLsoft en modèles surfaciques. Dans la représentation volumique, les objets sont définis d'une manière similaire à l'approche CSG (Constructive Solid Geometry), comme le résultat d'un ensemble d'opérations (unions, différences, intersections) appliquées à des quadriques. Les objets y sont donc définis de manière *implicite*. Mais les méthodes de rendu et de simulation des échanges lumineux, dont notre méthode du maillage virtuel, nécessitent de disposer au contraire d'une représentation *explicite* de la frontière des objets.

Pour servir de passerelle entre le modéleur SGDLsoft et nos outils de rendu, nous développons donc une méthode de conversion de modèles volumiques en modèles surfaciques. Nous mettons avant tout l'accent sur la robustesse des calculs, principale pierre d'achoppement de nombreuses méthodes de conversion. Cette optique nous a conduit cette année à proposer un algorithme novateur pour le calcul de l'intersection de quadriques. En partant des travaux de Levin ^[Lev76], nous avons montré qu'il était possible de développer une méthode générale robuste pour l'intersection de surfaces quadratiques qui ne nécessite pas un traitement particulier de tous les cas dégénérés. Nous avons notamment montré que notre algorithme minimisait les sources d'erreurs numériques présentes dans l'algorithme de Levin, en évitant au maximum l'apparition d'expressions non rationnelles.

Nous réfléchissons également à des méthodes permettant d'effectuer des intersections robustes de surfaces triangulées.

[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.

3.3.3 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. Lienhardt. Nous avons étendu cette approche à la gestion d'informations attachées aux cellules (sommets, arêtes, polygones, polyèdres...) et implanté les algorithmes dans gOcad.

Nous réfléchissons actuellement à l'utilisation des techniques de la topologie algébrique et combinatoire pour la visualisation volumique. Nous avons proposé une structure de données topologique (*Circular Incident Edges List*) permettant de décrire un algorithme de rendu volumique pour les grilles non-structurées hétérogènes. Nous travaillons actuellement sur une extension de cette structure de données pour le rendu volumique de grilles dynamiques, évoluant dans le temps. De telles grilles peuvent être représentées sous la forme d'un complexe cellulaire de dimension 4, et la visualisation de la grille à un instant t devient un calcul d'intersection entre cet objet de dimension 4 et un hyperplan.

3.3.4 Visibilité

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), graphisme temps réel (pré-calculs de la visibilité et des occultations). 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 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.

Malgré plusieurs travaux récents dans le domaine de la géométrie algorithmique [PV96,Dur99,DDP97], la compréhension théorique des problèmes de visibilité 3D n'en est qu'à ses balbutie-

-
- [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.

ments, 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.

Depuis deux ans, nous abordons les problèmes de la visibilité 3D selon deux axes :

- complexité des algorithmes de calcul, compréhension de la géométrie des ensembles de droites et leur manipulation ;
- calcul de requêtes de visibilité efficaces dans un environnement courbe, et en particulier pour des scènes constituées de quadriques

Nous avons cette année travaillé sur deux problèmes. Tout d’abord, nous avons étudié le complexe de visibilité de sphères d’un point de vue théorique. Nous avons en particulier étudié la topologie des cellules du complexe de visibilité et, en transposant le problème dans l’espace de Plücker (espace des droites orientées), montré que l’ensemble des droites tangentes à deux sphères d’intérieurs disjoints était un double tore. Notre autre préoccupation a été d’étudier la complexité « pratique » du complexe de visibilité de sphères. La complexité théorique étant prohibitive et peu réaliste en général, nous avons, en partant d’une base de calcul initialement introduite par Durand [Dur99], montré que le nombre de sommets du complexe de visibilité de sphères est linéaire lorsque les occlusions sont prises en compte.

3.4 Simulation et visualisation

Participants : Laurent Alonso, Hervé Barthélémy, Xavier Cavin, Dorothée Crépe, François Cuny, Gilles Depret, Cédric Haumont, Guillaume Leborgne, Bruno Lévy, Ben Li, Jean-Claude Paul, Nicolas Ray, Luciano Pereira, Jean-Christophe Ulysse.

Résumé : *Nos recherches sur la simulation de la propagation de la lumière tirent profit à la fois de l’analyse fonctionnelle et des approches hiérarchiques en algorithmique. Elles ont suscité également le développement d’une nouvelle approche pour paralléliser des algorithmes irréguliers et dynamiques. Grâce à ces travaux, notre algorithme de radiosité permet aujourd’hui de calculer des solutions sur des modèles géométriques de très grande taille.*

Nous avons également travaillé sur des méthodes géométriques pour appliquer des textures à des objets courbes représentés par des surfaces triangulées. Notre approche permet à la fois de minimiser les déformations et de mettre des éléments de l’image en correspondance avec des détails du modèle 3D.

Enfin, pour mettre en œuvre des applications de visualisation temps réel, nous travaillons sur des techniques de visualisation « haute performance », exploitant des architectures multi-processeur graphiques.

3.4.1 Calcul de la fonction de radiosité

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 radiosité en tout point du modèle géométrique considéré. La résolution efficace de cette équation, qui est une équation intégrale de Fredholm de seconde espèce, peut être effectuée par des méthodes stochastiques ou numériques.

L'approche que nous développons est une méthode de projection, et nous avons entrepris différentes recherches depuis plusieurs années pour réduire l'approximation ou la complexité des calculs effectués lors de la résolution de cette équation : 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.

La méthode de projection que nous utilisons pour approcher la fonction de radiosité 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 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.

Notre algorithme apportait jusqu'ici des solutions originales à tous ces problèmes, mais restait cependant très sensible aux caractéristiques géométriques des surfaces initiales, qui sont par défaut des surfaces triangulées. Pour lever cette difficulté, nous avons conçu une méthode permettant de mettre en œuvre cet algorithme sur des surfaces paramétriques, sans approximation géométrique et de façon très naturelle et rapide. Cette méthode est une abstraction géométrique, que nous avons appell e *Virtual Mesh*, qui permet, grâce à des fonctions de *mapping*, de traiter toute surface paramétrisable comme une surface plane.

3.4.2 Parallélisation d'algorithmes irréguliers et hiérarchiques

La parallélisation efficace d'un algorithme de calcul de la fonction de radiosité est 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 sur une machine cc-NUMA Origin 2000.

Les algorithmes parallèles hiérarchiques, de par leur nature dynamique et irrégulière, exigent des allocations et des d allocations 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. Nous avons proposé 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 pour valider notre approche.

Nos travaux sur le parallélisme ont été expérimentés avec succès sur notre algorithme de

radiosité, et permettent de calculer des solutions sur de très gros modèles avec une accélération significative et un excellent facteur d'échelle (scalability). Ils peuvent être étendus à la résolution des problèmes de N -corps, qui sont basés sur une caractéristique fondamentale propre à beaucoup de phénomènes physiques, sont de plus en plus utilisés pour résoudre des problèmes à large échelle, dans une grande variété de domaines scientifiques et d'ingénierie.

3.4.3 Algorithmes pour la visualisation

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.

Notre méthode de génération de coordonnées de textures permet de traiter des objets homéomorphes à des disques. Pour traiter des objets de topologie arbitraire, nous nous intéressons à la génération automatique d'atlas de textures, à savoir une fonction bijective, éventuellement discontinue, mettant en correspondance un objet avec un sous-ensemble du plan. La construction d'un atlas s'effectue en trois étapes :

- Segmentation de l'objet : nous développons une méthode de décomposition guidée par la géométrie de l'objet, et indépendante du maillage. Nous nous attachons à découper l'objet suivant ses détails caractéristiques : arêtes vives, zones de changement de courbure et lignes de crêtes.
- Paramétrisation des parties : nous avons développé une nouvelle méthode de paramétrisation, fondée sur une discrétisation du critère de conformité (préservation des angles). Ce critère permet d'éviter les recouvrements, et offre de très bonnes propriétés d'extrapolation.
- Regroupement des espaces paramétriques : afin de générer une seule texture pour l'objet, les espaces paramétriques de chacune de ses parties doivent être regroupés. Ceci est un problème NP-complet d'optimisation de polygones en 2D. Nous avons mis au point une heuristique fournissant de bons résultats pour les polygones issus de notre algorithme de segmentation.

Ces méthodes peuvent être appliquées dans de nombreux domaines. Nous les utilisons dans le domaine de la visualisation du sous-sol, où les surfaces triangulées sont souvent très complexes. Nous allons également les utiliser dans l'application de prototypage virtuel pour optimiser le traitement des textures de radiosité (voir section 4.2). Un autre domaine d'application des atlas de textures concerne les systèmes de dessins 3D, à savoir l'équivalent des logiciels de dessins classiques généralisé à des surfaces 3D.

3.4.4 Visualisation « haute-performance »

Nous avons introduit une nouvelle architecture logicielle permettant de combiner un environnement multi-processeurs et plusieurs pipelines graphiques. Nous avons montré [CAP99] que cette combinaison, qui exploite le moteur géométrique des pipelines graphiques, autorisait une accélération très importante de calculs géométriques globaux mis en œuvre dans certaines applications scientifiques, sans pénaliser l'accélération du parallélisme classique. Nous avons entrepris avec SGI la mise à l'échelle de telles configurations, notamment dans le but de trouver le meilleur compromis processeurs / pipelines graphiques, et d'optimiser leurs interactions. Nous nous sommes par ailleurs intéressés à une évaluation comparée des environnements multi-processeurs et du matériel graphique dans les applications de visualisation.

Nous avons travaillé sur l'API *MPU*, qui 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, avant que le *frame buffer* correspondant à l'image partielle générée soit transféré au pipeline suivant. Le pipeline suivant peut alors commencer à *compléter* cette image à partir de sa propre sous-scène. Finalement, l'image calculée par le dernier pipeline correspond à l'image finale ;

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.

C'est sur cette API que nous avons développé les modules *Gocad-VR* (voir section 5.1) et *Candela-VR* (voir section 5.2).

[CAP99] 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*, A. SIGGRAPH (éditeur), IEEE, p. 79-88, octobre 1999.

4 Domaines d'applications

4.1 Exploration pétrolière

Les résultats des recherches sur le thème « Modélisation et calculs géométriques » (section 3.3) et « simulation et visualisation » (section 3.4) sont également transférés dans le domaine des géo-sciences et plus précisément de l'exploration pétrolière, via le logiciel (voir section 5.1) <http://www.ensg.u-nancy.fr/GOCAD/>. L'une des applications développées est notamment le module *Gocad-VR*, extension du logiciel Gocad. 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.

4.2 Prototypage virtuel

L'application « prototypage virtuel » utilise certains résultats des recherches sur les thèmes « Modélisation et calculs géométriques » (section 3.3) et « Simulation et visualisation » (section 3.4), en particulier le logiciel Candela, noyau de calcul de la fonction de radiosité, et son extension Candela-VR (section 5.2).

4.3 Réalité augmentée

Les résultats des recherches sur le thème « modélisation par la vision » (section 6.2) peuvent être mis en œuvre principalement dans des applications de type post-production, études d'impact... Depuis cette année, nous développons également un axe de recherche sur la réalité augmentée interactive, notre objectif étant de développer des méthodes de calcul du point de vue en temps réel robustes.

4.4 Imagerie médicale

Les résultats des recherches sur le thème « modélisation par la vision » (section 6.2) sont également mis en œuvre dans le domaine de l'imagerie médicale. Nous travaillons en partenariat depuis plusieurs années avec le CHRU de Nancy et General Electric (GEMSE) dans le domaine de la neuro-radiologie interventionnelle. Le travail décrit dans la section 6.2 est intégré aux logiciels utilisés en salle d'opération et est expérimenté à l'hôpital Neurologique CHRU.

4.5 Analyse de plans et de documentation technique

Les résultats des recherches sur le thème « Reconnaissance de graphiques » (section 6.1) sont transférés dans le domaine de l'analyse de documents de plans architecturaux, permettant la modélisation à partir de plans.

Notre principal centre d'intérêt dans ce contexte de reconnaissance de graphiques a été, ces dernières années, 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 caractéristiques. 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 avons donc concentré 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.

Plusieurs partenaires industriels nous ont proposé de réfléchir sur l'emploi de ces méthodes d'analyse de plans (reconnaissance de symboles, extraction de primitives graphiques) dans un contexte plus axé sur l'organisation et l'indexation de l'information. Il s'agit d'être capable d'ajouter des informations contextuelles, syntaxiques ou sémantiques, à de la documentation « brute » scannée ou disponible dans un format plus pauvre (DXF, PDF, HTML...) Typiquement, les méthodes de segmentation texte/graphique peuvent permettre de trouver des « hyperliens » entre un schéma ou un plan et une légende ou une nomenclature. Les méthodes de reconnaissance de symboles, quant à elles, permettent d'organiser une information graphique brute, comme par exemple un ensemble de vecteurs et d'arcs au format DXF, en couches sémantiques d'information, dans des applications telles que la gestion de patrimoine immobilier, par exemple.

5 Logiciels

5.1 Gocad

Logiciel dédié à la modélisation et à la visualisation du sous-sol, *Gocad* est développé dans le cadre d'un consortium, dirigé par Jean-Laurent Mallet, 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*. L'extension *Gocad-VR* est

[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.

commercialisée par la société T-surf et a été supportée par Arco, Chevron, Elf, Exxon, Mobil, Oxy, Petrobras, Philips Petroleum et Statoil.

5.2 Candela

Noyau de calcul par éléments finis permettant de simuler la propagation de la lumière. *Candela* est la propriété de Inria-Transfert. Candela-VR est une extension de Candela permettant de mettre en œuvre cette simulation dans des environnements multi-processeurs et multi-pipelines graphiques. Une licence d'exploitation exclusive a été cédée à la start-up VSP-Technology, créée par des anciens doctorants de l'équipe.

5.3 Graphite

Graphite est une plate-forme d'expérimentation pour les algorithmes de modélisation 3D. En permettant de combiner entre eux ses composants logiciels grâce à un dialecte XML, Graphite permet le prototypage rapide de nouveaux algorithmes géométriques développés dans l'équipe (paramétrisation de surfaces triangulées, modélisation multi-résolution). Graphite se fonde sur des standards logiciels (XML, STL, Open Inventor, GTK et bientôt Corba) et des standards académiques (CGAL).

5.4 Qgar

Nous développons depuis plusieurs années une plateforme logicielle conséquente en reconnaissance de graphique. Nous nous étions en effet heurtés plus d'une fois à la difficulté de réutiliser dans une nouvelle thèse ou sur une nouvelle application des méthodes développées dans des recherches antérieures. Nous avons donc décidé en 1996 de développer une bibliothèque de classes C++ qui fournirait des implantations stables et robustes des méthodes faisant partie de l'état de l'art de la reconnaissance de graphiques. Au fil des années et des problèmes traités, cette bibliothèque a grossi, et a été complétée par un ensemble d'applications et une interface graphique. Actuellement, la plateforme logicielle se décompose donc en trois parties :

- QgarLib, une bibliothèque de classes C++, implantant les traitements « élémentaires » d'images et de graphiques, qui sont les briques de base permettant de réaliser diverses applications de reconnaissance de graphique ;
- QgarApps, une série d'une quinzaine d'applications correspondant aux diverses étapes usuelles dans le traitement d'un document graphique ;
- QgarGUI, une interface utilisateur permettant de piloter les applications, de visualiser les résultats obtenus à chaque phase, de corriger ou de modifier interactivement ces résultats, etc.

Cet ensemble logiciel a fait l'objet d'un dépôt à l'APP, il sera prochainement muni de son site web <http://www.qgar.org>, et il fournit actuellement la base de notre contribution au projet RNTL Docmining.

6 Résultats nouveaux

6.1 Reconnaissance de graphiques

Participants : Suzanne Collin, Philippe Dosch, Xavier Hilaire, Bart Lamiroy, Gérald Masini, Gemma Sánchez, Salvatore Tabbone, Karl Tombre, Pascal Vaxivière, Laurent Wendling.

Nous avons continué à approfondir nos réflexions sur la qualité des outils de bas niveau, qui travaillent directement sur les images numérisées. Le problème que nous avons tout particulièrement traité cette année est celui de la vectorisation : pour atteindre la haute précision, les méthodes à base de squelettisation ne suffisent plus, et la thèse de Xavier Hilaire est l'occasion pour nous d'étudier, en partenariat avec la société FS2i, une amélioration du positionnement des vecteurs et de leurs jonctions par le biais de méthodes statistiques [19].

Au delà des travaux que nous menons depuis plusieurs années sur la reconnaissance de symboles [4], il reste plusieurs défis à relever. L'un d'eux est de traiter les symboles dits texturés, c'est-à-dire l'agencement régulier de formes sur une région, représentant par exemple un pavage, un carrelage, etc. Ce problème a fait l'objet de la thèse de Gemma Sánchez, qui a proposé une approche structurelle et syntaxique pour modéliser et reconnaître ce type de symboles [16, 29].

Par ailleurs, nous avons orienté nos recherches cette année sur l'utilisation de *signatures* pour aider à l'analyse et à l'indexation de documents graphiques. Une première approche consiste à calculer les signatures sur l'image brute, sans passer par des phases de segmentation ou de vectorisation. Nous avons ainsi expérimenté des signatures à base d'histogrammes de forces [30, 31, 33] et comptons poursuivre ces travaux, en explorant notamment les potentialités de la transformée de Radon [32]. Ces signatures définissent une transformation d'une image dans le plan des paramètres (ρ, θ) et permettent de générer des vecteurs caractéristiques pour la reconnaissance d'objets et/ou de symboles binaires. Elles possèdent de bonnes propriétés comportementales vis-à-vis des transformations d'échelle, rotation et translation. Elles sont ainsi plus discriminantes qu'une méthode d'indexation à base d'indices de compacité et plus efficaces que les approches à base d'appariement de formes (*template matching*).

Bien que prometteurs, nos résultats actuels doivent toutefois être considérés comme préliminaires et deux aspects essentiels doivent être explorés :

- Lorsque les couches graphiques sont riches en éléments qui se touchent, la segmentation des différentes couches ne se fait plus de manière nette. Dans ce cas il est nécessaire d'adapter le calcul de la signature à des symboles graphiques partiellement occultés ou en prolongement avec d'autres couches.
- Les documents graphiques sont généralement de très grande taille (type A0) et dans ce cas se pose le problème de l'accès rapide à de grands volumes de données. Plus précisément, il est nécessaire de structurer et classifier les signatures de la manière la plus efficace et dynamique possible.

Mais il serait dommage, dans bien des cas, de se priver du pouvoir expressif supérieur des vecteurs et du graphique. C'est pourquoi nous souhaitons également travailler sur le calcul de signatures à partir de symboles et de vecteurs. Au cours de son séjour post-doctoral à Barcelone, Philippe Dosch a ainsi commencé à développer une méthode permettant une coopération entre caractérisation et reconnaissance de symboles. Une première passe calcule une signature plutôt

générique, rapide à calculer, mais assez pauvre sémantiquement. La reconnaissance de symboles à proprement parler peut ensuite être guidée par les signatures trouvées, et s'appuyer par ailleurs sur les modèles de la connaissance métier.

La connaissance dite « métier » consiste généralement en des algorithmes particuliers et leur paramétrisation (les deux sont indissociables mais tout à fait différents) et forme ainsi un *contexte*. C'est l'association de ce contexte aux formes syntaxiques, extraites des étapes précédentes, qui va donner la sémantique. Or l'attribution de cette sémantique permet souvent à son tour de continuer l'analyse sous un autre angle et d'enrichir l'interprétation précédente. Nous pensons qu'il est indispensable de trouver une cohérence dans la représentation des données syntaxiques et sémantiques dans un même formalisme (XML, SVG, MPEG7, MPEG21, VRML...). Ce formalisme formerait la base pour une représentation d'un document à un stade de son analyse et/ou de son interprétation (les deux deviennent quasiment synonymes dans ce contexte). Nous avons commencé à explorer cette problématique, notamment en partenariat avec la société Océ [23], et nous comptons poursuivre ces travaux dans les années à venir.

6.2 Modélisation par la vision

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

Nos travaux en réalité augmentée visent à fournir des méthodes permettant d'incruster le plus facilement possible des objets virtuels dans des séquences vidéos. Dans le cadre de cette activité, nous développons deux axes de recherche : le calcul automatique du point de vue dans une séquence d'images et la gestion des occultations entre objets réels et objets virtuels.

Jusqu'à présent, et même si nous avons surtout développé des méthodes séquentielles de calcul du point de vue, nous nous étions peu préoccupés de l'aspect temps réel des algorithmes. Ceci est pourtant indispensable si l'on veut être capable de considérer des applications interactives. Depuis cette année, nous nous intéressons, via le projet européen ARIS, à des méthodes temps réel de calcul du point de vue, l'objectif étant de parvenir à traiter au moins 15 images par seconde pour assurer un rendu de bonne qualité. Pour atteindre ce but, nous nous basons sur l'observation de structures planaires dans l'image, de telles structures étant fréquentes dans les environnements que nous traitons. De nombreux travaux récents ont montré qu'il était en effet possible de calibrer ou de se positionner grâce à l'observation de structures planaires. La particularité des approches planaires du positionnement est de fournir des algorithmes très fiables, la contrainte épipolaire point/droite de mise en correspondance dans le cas général étant alors remplacée par une contrainte de type point/point. Nous avons donc proposé cette année une extension des approches de positionnement au cas multi-planaire, de manière à pouvoir prendre en compte la présence de plusieurs plans dans la scène pour le calcul du point de vue [28]. Des solutions itératives linéaires ont été proposées qui approximent le problème à l'ordre 1 et permettent un calcul temps réel du point de vue. Comme on pouvait s'y attendre, la prise en compte de plusieurs plans dans la scène améliore grandement la qualité du point de vue obtenu par rapport à l'approche mono-plan. Nous travaillons actuellement dans deux directions : la première concerne l'acquisition automatique du modèle multi-planaire de la scène à partir d'une séquence d'images ; la deuxième concerne la mise en œuvre de méthodes

permettant d'éviter la dérive du calcul du point de vue au cours du temps. Le point de vue à un instant donné est en effet obtenu en multipliant les homographies planaires calculées entre deux images consécutives. Les erreurs peuvent ainsi s'accumuler au cours du temps et mener à une possible dérive du système.

Outre un calcul efficace du point de vue, une composition réaliste nécessite également de gérer correctement les occultations entre les objets ajoutés et les objets déjà présents dans la scène. La gestion des occultations est étroitement liée à la possibilité de reconstruire la scène de manière fiable et précise. Cependant les méthodes classiques de reconstruction ne peuvent être utilisées ici notamment en raison de l'incertitude sur les points de vue calculés. Nous avons donc développé une méthode semi-interactive permettant une gestion fine des occultations [24, 25] et prenant explicitement en compte l'incertitude sur les points de vues calculés. Notre approche repose sur le concept de vues clés dans lesquelles l'utilisateur détoure l'objet occultant. Grâce au calcul de l'erreur sur les points de vue calculés et aux détourages fournis par l'utilisateur, nous pouvons prédire la position de l'objet occultant dans les images intermédiaires ainsi qu'une zone de confiance autour de cette prédiction. Ceci permet de détecter finement le contour occultant grâce à une méthode de suivi. Nous obtenons ainsi une composition très réaliste au prix d'une interaction très modérée avec l'utilisateur.

Enfin, nos recherches dans le domaine de la neuro-radiologie ont repris cette année. Faisant suite au développement dans l'équipe des outils de recalage multimodalité entre IRM et angiographie 2D et 3D, l'objectif que nous poursuivons est d'utiliser la multimodalité pour la segmentation des malformations artério-veineuses (MAVs), cette segmentation devant être utilisée ensuite dans le traitement radiothérapeutique des MAVs. Les deux imageries IRM et angiographiques apportent en effet des informations différentes mais complémentaires sur ces malformations, dont il faut tirer parti. Les travaux menés cette année sont surtout d'ordre clinique et ont consisté à étudier la variabilité inter-opérateur de la segmentation des MAVs. Une telle étude est indispensable pour tester et valider ensuite des algorithmes semi-automatiques de segmentation.

6.3 Modélisation et calculs géométriques

Participants : Stéphane Conreux, Mathieu Dazy, Laurent Dupont, Hazel Everett, Xavier Goaoc, Geoffroy Lauvaux, Sylvain Lazard, Bruno Lévy, Jean-Laurent Mallet, Hyeon-Suk Na, Jean-Claude Paul, Sylvain Petitjean, Éric Wies.

Les publications obtenues en 2001 par le thème géométrie sont les suivantes :

- B. Lévy a présenté ses travaux sur le placage contraint de textures à la conférence ACM SIGGRAPH à Los Angeles [27]. Une vidéo intitulée *Face It!* accompagnait cette publication. Projetée lors de la conférence, cette vidéo a été réalisée par le département communication de l'Inria grâce au logiciel Graphite.
- G. Caumon (doctorant CRPG⁵/ENSG) et B. Lévy ont présenté une nouvelle structure de données pour le rendu de grilles complexes non-structurées, développée avec S. Conreux et X. Cavin, à la conférence IEEE Visualization [26].

⁵Centre de Recherches Pétrographiques (CNRS)

- S. Lazard a contribué à la rédaction de plusieurs articles sur le calcul de plus courts chemins de courbure bornée, parus dans *Algorithmica* [10], *International Journal of Computational Geometry and Applications* [11] et *SIAM Journal on Computing* [3]. Il a également publié deux articles sur la reconfiguration de mécanismes articulés [8] et sur les chaînes polygonales 3D [7].
- H. Everett a publié ses travaux sur les graphes dans un chapitre du livre *Perfect Graphs*, coordonné par J. Ramirez Alfonsin et B. Reed, édité par Wiley [13]. Elle a également présenté un article sur le même thème à la conférence COMB'01 [18].
- L. Dupont, S. Lazard et S. Petitjean ont présenté les résultats préliminaires de leurs travaux sur les intersections de quadriques (en collaboration avec D. Lazard du LIP6) au *Workshop on Uncertainty in Geometric Computations* [17]. S. Petitjean et S. Lazard ont également contribué au développement de la méthode dite du « maillage virtuel » pour l'illumination de surfaces courbes décrite dans un article paru dans la revue *ACM Transactions on Graphics* [5].
- La méthode de reconstruction de surfaces triangulées à partir de nuages de points proposée par S. Petitjean et E. Boyer (Inria Rhône-Alpes) a été publiée dans la revue *Computational Geometry : Theory and Applications* [15].

6.4 Simulation et visualisation

Participants : Laurent Alonso, Hervé Barthélémy, Xavier Cavin, Dorothée Crépe, François Cuny, Gilles Depret, Cédric Haumont, Guillaume Leborgne, Bruno Lévy, Jean-Claude Paul, Luciano Pereira, Nicolas Ray, Jean-Christophe Ulysse.

Les publications obtenues en 2001 par le thème « Simulation et visualisation » sont les suivantes :

- Nos travaux sur l'algorithme de calcul de la fonction de radiosité ont porté sur l'extension de l'algorithme suivant deux aspects différents :
 - l'aspect fonctionnel : l'utilisation de fonctions ondelettes d'ordre élevé;
 - l'aspect géométrique : la mise en œuvre de l'algorithme sur des surfaces paramétriques [5].

Nous avons poursuivi nos travaux sur la paramétrisation des surfaces triangulées, en proposant la définition de nouveaux critères permettant d'interpoler et d'extrapoler des points de données. Une discrétisation originale de l'équation bi-harmonique permet d'atteindre ce résultat. Une application au plaquage de textures sous contraintes a été présentée dans [27]. Nous développons également un algorithme d'optimisation de l'affichage des résultats de calculs d'illumination globale fondé sur cette approche.

- Nos travaux sur la visualisation de données volumiques ont porté sur l'élaboration d'une structure de données combinatoire permettant d'optimiser les calculs d'intersection mis en jeux pour ce type d'approche. Notre structure de données, présentées dans [26], permet ainsi de visualiser interactivement des grilles non-structurées hétérogènes, constituées de cellules convexes ayant un nombre arbitraire de faces.

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Création d'entreprises de technologie

7.1.1 T-Surf

La société **T-Surf** (P.D.G. : Jean-Claude Dulac) assure le développement et la commercialisation du logiciel *Gocad* (section 5.1). 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. Le logiciel Gocad, comportant des outils de modélisation et de visualisation appliqués aux géo-sciences, intègre certains résultats de recherche liés aux thèmes « Modélisation et calculs géométriques » (section 3.3) et « simulation et visualisation » (section 3.4).

7.1.2 Neoxy

La société **Neoxy**, créée par Slimane Merzouk, un ancien doctorant du projet, a pour objectif de fournir des outils de graphisme en temps réel sur Internet. L'un de ses objectifs est d'être en mesure de fournir des outils de création et d'enrichissement du contenu des sites Web par l'intégration d'outils de visualisation, dont certains ont été expérimentés dans le cadre du thème « simulation et visualisation » (section 3.4).

7.1.3 VSP-Technology

La société **VSP-Technology** a été créée en décembre 2001. Son objectif est de fournir des solutions de Visualisation Haute-Performance pour des applications de conception assistée et d'ingénierie pétrolière. Sa technologie intègre les résultats de recherche des thèmes « simulation et visualisation » (section 3.4), ainsi que certains algorithmes géométriques développés dans le cadre du thème « Modélisation et calculs géométriques » (section 3.3).

7.2 Partenariats stratégiques

7.2.1 Consortium Gocad

Le logiciel `{\emGocad}` (section 5.1) est développé dans le cadre d'un consortium qui regroupe une quarantaine d'universités et une trentaine de compagnies pétrolières dans le monde. Ce logiciel a pour vocation de fournir des outils de modélisation et de visualisation du sous-sol. Ce logiciel intègre certains résultats de recherche liés aux thèmes « Modélisation et calculs géométriques » (section 3.3) et « Simulation et Visualisation » (section 3.4).

7.2.2 SGI

Nous avons un partenariat avec SGI depuis 1996, qui implique les thèmes « Modélisation et calculs géométriques » (section 3.3) et « Simulation et visualisation » (section 3.4). Ce partenariat a porté sur le développement de logiciels graphiques : Performer, MPU, et sur l'expérimentation de l'Origin 2000. Actuellement, Isa est l'un des quinze sites bêta-testeur de l'I.A. 64, et développe l'une des principales applications du programme Networked Graphics VizServer de SGI.

7.2.3 SGDL

Le partenariat avec SGDL Inc. (Montreal) porte sur la transformation de modèles géométriques en modèles de surfaces de degré élevé, et la visualisation de modèles géométriques complexes.

Ce partenariat concerne les thèmes « Modélisation et calculs géométriques » (section 3.3) et « Simulation et visualisation » (section 3.4).

7.2.4 General Electric Medical Systems

Le partenariat avec General Electric sur le thème « Modélisation par la vision » (section 6.2) a commencé en 1995. Il porte sur l'encadrement de boursiers CIFRE sur le thème de la réalisation d'outils multi-modalité pour la neuro-radiologie interventionnelle. Aujourd'hui, deux anciens doctorants d'Isa ont rejoint cette compagnie.

7.2.5 France Telecom R&D

Nos relations avec France Télécom remontent à une première action de recherche de 1996 à 1999, au cours de laquelle nous avons travaillé sur la reconstruction d'édifices à partir de leurs plans architecturaux. Un nouveau partenariat avec FT R&D a été noué fin 2000, autour de problèmes d'indexation de documentation graphique. FT R&D nous a associés à son projet interne HyperArtLedge, qui vise à mettre un niveau sémantique sur les documents multimédia. Nous participons aussi au projet RNTL Docmining, dont FT R&D est *leader*, les autres partenaires étant les universités de Rouen, de la Rochelle et de Fribourg (Suisse). Ce projet vise à réaliser une plate-forme de démonstration pour l'acquisition de documents hétérogènes représentant des plans d'accès de bâtiments, afin de rendre accessibles les contenus de ces documents.

7.2.6 FS2i

La société FS2i est une PME spécialisée dans les logiciels métiers pour le second-œuvre en bâtiment, notamment autour des problèmes de calepinage. Nous avons avec cette société un partenariat stratégique qui s'organise en trois parties :

- nous apportons des conseils sur l'algorithmique du calepinage et de l'organisation de données graphiques ;
- nous travaillons avec FS2i sur les algorithmes de reconnaissance de symboles architecturaux – en effet, ces problèmes de reconnaissance se posent également à FS2i, à partir de données vectorielles obtenues à partir de fichiers DXF ou DWG ;
- enfin, nous étudions ensemble les problèmes de précision dans la vectorisation de plans architecturaux, par l'intermédiaire de la bourse CIFRE de Xavier Hilaire.

7.3 Autres

7.3.1 RNTL

Projet VSP : Prototypage virtuel

L'objectif du projet est de développer une technologie pré-compétitive dans le domaine du prototypage virtuel.

Partenaires industriels : Inria Rhones-Alpes, SGI, ALSTOM_contracting, ALSTOM_Transport, Renault, VSP-Technology, Optis.

7.3.2 EDF R&D

Nous avons commencé en 2001 une collaboration avec EDF R&D sur l'analyse et la reprise des plans de réseaux, qui représentent les réseaux électriques ou les réseaux de conduites de gaz sur un fond de plan géographique. La plupart de ces plans existent uniquement sur leur support d'origine, à savoir du calque ou du papier. L'objectif général de l'étude est double :

- faciliter la numérisation de ces plans (sous forme raster) ou leur saisie sous des outils de type DAO (AutoCAD, MicroStation) ou SIG ;
- donner la possibilité aux centres EDF de mieux exploiter l'information décrite sur les plans grande échelle lorsqu'ils ne sont pas informatisés sous une forme relativement évoluée (type DAO), c'est-à-dire lorsqu'ils sont sur support calque ou sous forme d'image.

Une première étape de cette étude a abouti à l'amélioration sensible de l'étape de segmentation texte/graphique en analyse de documents techniques.

7.3.3 Océ Industries

Nous avons mené en 2000–2001 une étude exploratoire commune avec Océ-Industries et l'université de Rouen, sur les problèmes d'enrichissement d'une documentation technique scannée par la mise en évidence de liens entre zones de texte et parties des illustrations graphiques.

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Actions régionales

8.1.1 Contrat de Plan Etat-Region (CPER)

Participant : Jean-Claude Paul [(Responsable programme « Simulation et Réalité Virtuelle »)].

Participation dans le cadre du CPER au pôle « Intelligence Logicielle », thème « calcul, graphisme, réseau haute performance ».

8.1.2 Collaboration avec le projet PAROLE

Participants : Marie-Odile Berger, Bruno Levy, Gilles Simon, Brigitte Wrobel.

L'opération *Tête parlante* du CPER a pour but de mettre au point un visage parlant virtuel dans un double objectif : fournir un support pour des applications grand public (Internet, apprentissage des langues) et valider des connaissances et théories en production de la parole. Le rôle de la vision par ordinateur est d'acquérir les éléments du visage permettant de générer les visèmes 3D, c'est à dire une configuration faciale particulière correspondant à un phonème. Des techniques de stéréovision sont donc mises en oeuvre pour la construction d'un modèle du visage. Nous allons ensuite travailler sur le suivi de points et de courbes significatives sur le visage pendant l'articulation de séquences de paroles. Ces données seront ensuite utilisées pour générer les visèmes 3D.

8.2 Actions nationales

8.2.1 ISIS

Participant : Marie-Odile Berger.

Nous participons au GDR ISIS, groupe réalité virtuelle.

8.2.2 ACI Grid

Participants : Laurent Alonso, Bruno Lévy, Jean-Claude Paul, Luciano Perreira dos Reis.

Jean-Claude Paul coordonne le projet pluridisciplinaire GeoGrid, dans le cadre de l'ACI Grid, sur le thème « Meta Visual Geo-Computing ». Ce projet concerne les problèmes de visualisation et de calculs numériques complexes, tels ceux rencontrés en exploration et en exploitation pétrolière. GeoGrid a pour objectif de proposer des solutions novatrices fondées sur les avancées réalisées par l'équipe dans les domaines de la visualisation, de la géométrie et de la parallélisation d'algorithmes hiérarchiques irréguliers.

8.2.3 ARC Visi3D

Participants : Hazel Everett, Xavier Goac, Sylvain Lazard, Hyeon-Suk Na, Sylvain Petitjean.

Gestion de l'action de recherche coopérative Visi3D, sur le thème « Visibilité tridimensionnelle : théorie et applications ». Dans ce cadre, Anoop Pant, stagiaire indien, a effectué un séjour de trois mois au sein de l'équipe. <http://www.loria.fr/~lazard/ARC-Visi3D>.

8.2.4 ARC CoSTIC

Participants : Laurent Dupont, Sylvain Lazard, Sylvain Petitjean.

Nous participons à l'action de recherche coopérative CoSTIC, gérée par Bernard Mourrain

à Sophia Antipolis <http://www-sop.inria.fr/galaad/costic>.

8.3 Actions internationales

8.3.1 IA'64

Participant : Laurent Alonso.

Isa est l'un des 15 sites mondiaux beta-testeur de l'IA'64.

8.3.2 Coopération académique avec l'UAB (Universitat Autònoma de Barcelona)

Participants : Philippe Dosch, Bart Lamiroy, Gemma Sánchez, Karl Tombre.

Nous entretenons une coopération scientifique suivie depuis plusieurs années avec le *Computer Vision Center* de l'université autonome de Barcelone. Gemma Sánchez est en cotutelle de thèse entre nos deux équipes. Philippe Dosch a fait un séjour post-doctoral à Barcelone, et nous avons accueilli Ernest Valveny en stage post-doctoral en 2001. Cette coopération s'est concrétisée notamment par plusieurs publications communes, sur le thème de la reconnaissance de symboles.

8.3.3 Le projet ARIS

Participants : Marie-Odile Berger, Gilles Simon.

Le but du projet européen ARIS est de concevoir des techniques innovantes de réalité augmentée pour des applications de commerce électronique dans lesquelles les produits seront présentés dans leur futur environnement. Un utilisateur, muni d'un casque de réalité virtuelle, pourra par exemple se promener dans son appartement en y visualisant les éléments d'ameublement qu'il souhaite acquérir. Ce projet regroupe les compétences de diverses équipes en recalage visuel, synthèse d'images et visualisation. S'agissant d'applications par nature interactive, notre tâche est de concevoir des méthodes temps réel de calcul du point de vue de la caméra. Pour atteindre ce but, nous nous appuyons sur les structures planaires, très présentes dans les environnements d'intérieur, qui nous permettent d'obtenir des algorithmes à la fois robustes et rapides. Le projet ARIS est réalisé en collaboration avec l'IGD (Darmstadt) et les universités de Bristol et de Manchester. Les partenaires industriels sont INTRACOM et Ikea (Grèce). <http://aris-ist.intranet.gr>

8.3.4 Équipe associée McGill-Isa

Participants : Hazel Everett, Xavier Goaoc, Sylvain Lazard, Hyeon-Suk Na, Sylvain Petitjean.

Gestion de l'équipe associée Inria commune au groupe géométrie de l'équipe Isa et au laboratoire de géométrie algorithmique de l'université McGill (Montréal), sur le thème des calculs de visibilité et plus généralement de la géométrie algorithmique. Dans ce cadre, Vida

Dujmovic, doctorante à l'université McGill, a visité l'équipe Isa pendant un mois en octobre 2001 et Hyeon-Suk Na a rendu visite à l'équipe de McGill en novembre. <http://www.loria.fr/~everett/McGill-ISA/McGill-ISA.html>

8.3.5 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*.

8.3.6 Congrès

- S. Petitjean a été membre du comité de programme d'ICCV'2001 (International Conference on Computer Vision).
- G. Simon a participé aux comités de programme de VAA'2001 (International Symposium on Virtual and Augmented Architecture), Dublin, Irlande ainsi que de ISAR'2001 (International Symposium on Augmented Reality), New York, NY, USA.
- M.-O. Berger est membre du comité de programme d'ECCV'2002 (European Conference on Computer Vision), Copenhague.
- K. Tombre a été co-président du comité de programme de ICDAR'2001 (Seattle, USA). Il a participé ou participe aux comités de programme de GREC'2001 (Kingston, Ontario), RFIA'2002 (Angers), ICPR'2002 (Québec, Canada), SSPR'2002 (Windsor, Canada), DAS'2002 (Princeton, New Jersey, USA), CIFED'2002 (Tunisie), CARI'2002 (Yaoundé, Cameroun) et RECPAD'2002 (Aveiro, Portugal).

8.3.7 Associations

K. Tombre est secrétaire de l'IAPR (International Association for Pattern Recognition) depuis septembre 2000. Il est également membre du CA de l'AFRIF (Association Française de Reconnaissance et d'Interprétation de Formes).

B. Lévy est membre du jury d'attribution du prix de thèse de SPECIF. S. Petitjean est membre du jury d'attribution du prix de thèse de l'AFIT.

8.4 Visites, et invitations de chercheurs

- Jean-Claude Paul a été invité à plusieurs reprises aux Centres de Recherches de SGI à Mountain View (Etats-Unis) et Cortaillod (Suisse).
- Jean-Claude Paul a été invité à l'université Tsingshua (Chine).
- Sue Whitesides, professeur à l'université de McGill, a visité l'équipe géométrie pendant un mois en juin 2001 en tant que professeur invité.
- B. Lévy a été invité à Hong Kong pour le démarrage de la coopération entre l'Inria et l'université de Hong Kong.
- J.-C. Paul et B. Lévy se sont rendus au Brésil, dans le cadre du projet de coopération Cofecub avec l'université de PUC à Rio. Ils ont également été invités par l'IMPA (Institut de Mathématiques Pures et Appliquées) et Petrobras.
- X. Goac a été invité à l'université de Barcelone.

- H. Everett a effectué une visite de deux semaines au Brésil, à l'université fédérale de Rio de Janeiro, dans le cadre de la coopération Capes/Cofecub.
- B. Lévy et F. Cuny (créateur de l'entreprise VSP) ont été invités par Alias/Wavefront (Toronto).

9 Diffusion de résultats

9.1 Enseignement

- Plusieurs membres du projet, en particulier les enseignants-chercheurs, participent activement aux formations nancéiennes : Université Henri Poincaré Nancy 1, Université Nancy 2, ESIAL⁶, École des Mines de Nancy.
- Nous participons aussi à des enseignements plus spécifiques en imagerie : Supelec, DEA d'informatique de Nancy.
- G. Masini a participé à des enseignements à l'université de Montpellier 2.

9.2 Participation à des colloques, séminaires, invitations

- Des membres du projet ont participé aux conférences et colloques suivants : ICDAR'2001 (Seattle, USA), GREC'2001 (Kingston, Ontario, Canada), GRETSI'2001 (Toulouse), ORASIS'2001 (Cahors), Journées de géométrie algorithmique (Masgrangeas, France), Gocad Meeting (Nancy, France), SIGGRAPH'2001 (Los Angeles), Visualization'2001 (San Diego), Workshop on Uncertainty in Geometric Computations (Sheffield), European Workshop on Computational Geometry (Berlin), European Conference on Combinatorics, Graph Theory and Applications (Barcelone), Journées de clôture communes des ARC Visi3D et CoSTIC, SPIE'2001 (San Diego), ISMR'2001 (Yokohama)

10 Bibliographie

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [1] H. BARTHÉLEMY, *Analyse et approfondissement des méthodes de radiosité et d'illumination globale pour le contrôle et la visualisation de simulations numériques de rendu réaliste*, Thèse cife, LORIA, octobre 2001.
- [2] V. LEPETIT, *Gestion des occultations en réalité augmentée*, Thèse d'université, Nancy 1, mai 2001.

Articles et chapitres de livre

- [3] P. K. AGARWAL, T. BIEDL, S. LAZARD, S. SURI, S. WHITESIDES, « Curvature-Constrained Shortest Paths in a Convex Polygon », *SIAM Journal on Computing*, 2001.
- [4] C. AH-SOON, K. TOMBRE, « Architectural Symbol Recognition Using a Network of Constraints », *Pattern Recognition Letters* 22, 2, février 2001, p. 231-248.

⁶École Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine.

- [5] L. ALONSO, F. CUNY, S. PETITJEAN, J.-C. PAUL, S. LAZARD, E. WIES, « The Virtual Mesh : A Geometric Abstraction for Efficiently Computing Radiosity », *ACM Transactions on Graphics*, 2001.
- [6] R. ANXIONNAT, S. BRACARD, X. DUCROCQ, Y. TROUSSET, L. LAUNAY, E. KERRIEN, M. BRAUN, R. VAILLANT, F. SCOMAZZONI, A. LEBEDINSKY, L. PICARD, « Intracranial Aneurysms : Clinical Value of 3D Digital Subtraction Angiography in the Therapeutic Decision and Endovascular Treatment », *Radiology*, 218, mars 2001, p. 799–808.
- [7] T. BIEDL, E. DEMAINE, M. DEMAINE, S. LAZARD, A. LUBIW, J. O’ROURKE, M. OVERMARS, S. ROBBINS, I. STREINU, G. TOUSSAINT, S. WHITESIDES, « Locked and Unlocked Polygonal Chains in Three Dimensions », *Discrete and Computational Geometry* 26, 3, août 2001, p. 269–281.
- [8] T. BIEDL, E. DEMAINE, M. DEMAINE, S. LAZARD, A. LUBIW, J. O’ROURKE, S. ROBBINS, I. STREINU, G. TOUSSAINT, S. WHITESIDES, « A Note on Reconfiguring Tree Linkages : Trees can Lock », *Discrete Applied Mathematics*, 2001.
- [9] J.-D. BOISSONNAT, O. DEVILLERS, S. LAZARD, « Motion planning of legged robots », *SIAM Journal on Computing* 30, 1, mars 2001, p. 218–246.
- [10] J.-D. BOISSONNAT, S. K. GHOSH, T. KAVITHA, S. LAZARD, « An algorithm for computing a convex and simple path of bounded curvature in a simple polygon », *Algorithmica*, 2001.
- [11] J.-D. BOISSONNAT, S. LAZARD, « A polynomial-time algorithm for computing shortest paths of bounded curvature amidst moderate obstacles », *International Journal of Computational Geometry and Applications*, 2001.
- [12] X. CAVIN, F. CUNY, « Real-time Visualization through the Internet », *ERCIM News*, 44, janvier 2001, p. 29–30.
- [13] H. EVERETT, C. M. H. DE FIGUEIREDO, C. LINHARES SALES, F. MAFFRAY, O. PORTO, B. REED, « Even Pairs », in : *Perfect Graphs*, J. L. R. A. et Bruce A. Reed (éditeur), *Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization*, John Wiley & Sons Ltd., 2001, ch. 4.
- [14] P. MATSAKIS, J. M. KELLER, L. WENDLING, J. MARJAMAA, O. SJAHPUTERA, « Linguistic Description of Relative Positions in Images », *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics - Part B* 31, 4, août 2001, p. 573–588.
- [15] S. PETITJEAN, E. BOYER, « Regular and non-regular point sets : properties and reconstruction », *Computational Geometry : Theory and Applications* 19, 2-3, 2001, p. 101–126.
- [16] G. SÁNCHEZ, J. LLADÓS, K. TOMBRE, « A Mean String Algorithm to Compute the Average Among a Set of 2D Shapes », *Pattern Recognition Letters* 23, 1-3, janvier 2002, p. 203–213, à paraître.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [17] L. DUPONT, S. LAZARD, S. PETITJEAN, D. LAZARD, « Towards the Robust Intersection of Implicit Quadrics », in : *Workshop on Uncertainty in Geometric Computations, Sheffield, UK*, juillet 2001.
- [18] H. EVERETT, C. DE FIGUEIREDO, S. KLEIN, B. REED, « Bull-Reducible Berge Graphs are Perfect », in : *Euroconference on Combinatorics, Graph Theory and Applications - COMB01, Barcelone, Spain*, septembre 2001.
- [19] X. HILAIRE, K. TOMBRE, « Improving the Accuracy of Skeleton-Based Vectorization », in : *4th IAPR International Workshop on Graphics Recognition, Kingston, Ontario, Canada*, p. 381–394, septembre 2001.

- [20] L. IDOUMGHAR, R. SCHOTT, M. ALABAU, « A New Hybrid Genetic Algorithm for the Graph Colouring Problem », *in : 3rd Colloquium on Computational Telecommunications - ALGOTEL'2001, Saint Jean de Luz, France*, I. Lorraine (éditeur), mai 2001.
- [21] L. IDOUMGHAR, R. SCHOTT, M. ALABAU, « New Hybrid Genetic Algorithms for the Frequency Assignment Problem », *in : IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence - ICTAI'2001, Dallas, Texas, USA*, IEEE (éditeur), novembre 2001.
- [22] E. KERRIEN, O. LÉVRIER, R. ANXIONNAT, S. SAUTY, J. KNOPLIOCH, « Automated registration of 3D X-ray angiography images to magnetic resonance images », *in : SPIE Medical Imaging 2001, San Diego, CA, USA*, K. Hanson (éditeur), 4322, 1, SPIE - The International Society for Optical Engineering, SPIE Press, p. 623–632, PO Box 10 ; Bellingham WA 98227-0010 USA, février 2001.
- [23] B. LAMIROY, L. NAJMAN, R. EHRHARD, C. LOUIS, F. QUÉLAIN, N. ROUYER, N. ZEGHACHE, « Scan-to-XML for Vector Graphics : an experimental setup for intelligent browsable document generation », *in : Fourth IAPR International Workshop on Graphics Recognition, Kingston, Ontario, Canada*, septembre 2001.
- [24] V. LEPETIT, M.-O. BERGER, « An intuitive tool for outlining objects in video sequences : applications to augmented and diminished reality », *in : Second International Symposium on Mixed Reality, Yokohama, Japan*, mars 2001.
- [25] V. LEPETIT, M.-O. BERGER, « Un outil de segmentation pour la manipulation de séquences vidéo », *in : 13 ieme congrès francophone de reconnaissance des formes et d'intelligence artificielle, Caen, France*, janvier 2002.
- [26] B. LÉVY, G. CAUMON, S. CONREAUX, X. CAVIN, « Circular Incident Edge Lists : A Data Structure for Rendering Complex Unstructured Grids », *in : IEEE Visualization 2001, San-Diego, USA*, IEEE, octobre 2001.
- [27] B. LEVY, « Constrained Texture Mapping », *in : SIGGRAPH 2001, Los Angeles, USA*, ACM, Addison Wesley, août 2001.
- [28] G. SIMON, M.-O. BERGER, « Recalage temporel d'une structure plane par morceaux : application a la Realite Augmentee temps reel », *in : Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle, Angers, France*, janvier 2002.
- [29] G. SÁNCHEZ, J. LLADÓS, K. TOMBRE, « An Error-Correction Graph Grammar to Recognize Textured Symbols », *in : 4th IAPR International Workshop on Graphics Recognition, Kingston, Ontario, Canada*, p. 135–146, septembre 2001.
- [30] S. TABBONE, L. WENDLING, K. TOMBRE, « Indexing of Technical Line Drawings Based on F-Signatures », *in : 6th International Conference on Document Analysis and Recognition, Seattle, Washington, USA*, p. 1220–1224, septembre 2001.
- [31] S. TABBONE, L. WENDLING, « Indexation d'objets à niveaux de gris à partir d'une mise en correspondance de F-Signatures », *in : Colloque sur le traitement du signal et des images - GRETSI 01, Toulouse, France*, septembre 2001.
- [32] S. TABBONE, L. WENDLING, « Indexation par le contenu de documents techniques à partir de la transformée de Radon bidimensionnelle », *in : Actes du 13eme Congrès AFCET de Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle, Angers, France*, janvier 2002.

Rapports de recherche et publications internes

- [33] A. TABBONE, L. WENDLING, « Color and Grey Level Image Indexing Based on Tridimensional Representation of Force Histogram », *Rapport de recherche*, juillet 2001.