

*Projet ISA**Modélisation, Simulation et Visualisation**Lorraine*

THÈME 3B



*R*apport
d'Activité

2002

Table des matières

1. Composition de l'équipe	1
2. Présentation et objectifs généraux	1
3. Fondements scientifiques	2
3.1. Modélisation par la vision	2
3.1.1. Méthodes séquentielles de recalage	2
3.1.2. Gestion des occultations	3
3.1.3. Multi-modalité pour la neuroradiologie	3
3.1.4. Segmentation volumique d'images néphrologiques	4
3.2. Calculs géométriques pour la visualisation de scènes complexes	4
3.2.1. Théorie et applications de la visibilité tridimensionnelle	5
3.2.2. Calcul géométrique fiable sur les surfaces	5
3.2.3. Algorithmique des surfaces triangulées	6
3.3. Simulation et visualisation haute performance	7
3.3.1. Calcul de la fonction de radiosité	7
3.3.2. Algorithmes pour la visualisation	8
3.3.3. Visualisation haute performance	9
4. Domaines d'application	9
4.1. Exploration pétrolière	9
4.2. Conception assistée	9
4.3. Réalité augmentée	10
4.4. Imagerie médicale	10
4.5. Gestion sylvicole	10
4.6. Stratoconception	11
5. Logiciels	11
5.1. Gocad	11
5.2. Candela	11
5.3. Graphite	11
6. Résultats nouveaux	12
6.1. Modélisation par la vision	12
6.2. Calculs géométriques pour la visualisation de scènes complexes	12
6.3. Simulation et visualisation haute performance	13
7. Contrats industriels	14
7.1. Création d'entreprises de technologie	14
7.1.1. Earth Decision Sciences	14
7.1.2. VSP-Technology	14
7.2. Partenariats stratégiques	14
7.2.1. Consortium Gocad	14
7.2.2. SGI	14
7.2.3. General Electric Medical Systems	14
7.3. Autres	14
7.3.1. RNTL	14
8. Actions régionales, nationales et internationales	15
8.1. Actions régionales	15
8.1.1. Contrat de Plan État-Région (CPER)	15
8.2. Actions nationales	15
8.2.1. ACI Geo-Grid	15
8.2.2. ARC Tête parlante	15

8.2.3.	ARC Plasma	15
8.2.4.	ARC TéléGéo	15
8.2.5.	AS réalité augmentée temps réel CNRS	16
8.2.6.	ATIP STIC CNRS	16
8.2.7.	Collaboration avec le projet Spaces	16
8.2.8.	Collaboration avec le projet PRISME	16
8.2.9.	Organisation de congrès	16
8.2.10.	Associations	16
8.3.	Actions européennes	17
8.3.1.	Projet européen ARIS	17
8.4.	Actions internationales	17
8.4.1.	Équipe associée McGill-ISA	17
8.4.2.	Organisation de congrès	17
8.5.	Visites et invitations de chercheurs	17
9.	Diffusion des résultats	18
9.1.	Enseignement	18
9.2.	Participation à des colloques, séminaires, invitations	18
10.	Bibliographie	18

1. Composition de l'équipe

ISA est un projet commun au CNRS, à l'INRIA, à l'INPL et aux universités Henri Poincaré-Nancy 1 et Nancy 2.

Responsable scientifique

Jean-Claude Paul [DR INRIA]

Responsable permanent

Sylvain Petitjean [CR CNRS]

Assistante de projet

Isabelle Herlich [TR INRIA]

Personnel INRIA

Laurent Alonso [CR]

Marie-Odile Berger [CR]

Frédéric Blaise [CR, détaché du CIRAD]

Xavier Cavin [CR, depuis le 1/9/2002]

Erwan Kerrien [CR]

Sylvain Lazard [CR]

Bruno Lévy [CR]

Ben Li [Ingénieur Associé, Graphite]

Jérémie Turbet [Ingénieur Expert, RNRT/VTHD++, depuis le 1/6/2002]

Personnel Université

Hazel Everett [Professeur, université Nancy 2]

Jean-Laurent Mallet [Professeur ENSG, président du consortium Gocad]

Gilles Simon [MC, université Henri Poincaré Nancy 1]

Brigitte Wrobel-Dautcourt [MC, université Henri Poincaré Nancy 1]

Spécialiste académique étranger

Xiaopeng Zhang [Professeur Institut d'Automatique de l'Académie des Sciences de Chine]

Chercheurs doctorants

René Anxionnat [praticien hospitalier CHRU Nancy]

Laurent Dupont [allocataire MENESR]

Xavier Goaoc [allocataire moniteur normalien]

Geoffroy Lauvaux [CIFRE CIRTES]

Luciano Pereira Dos Reis [bourse Petrobras]

Nicolas Ray [BDI CNRS co-financée industrie]

Rodrigo Toledo [boursier INRIA avec co-financement Région, depuis le 1/9/2002]

Jean-Christophe Ulysse [boursier INRIA]

Flavio Viguera [boursier INRIA, depuis le 1/3/2002]

Chercheurs post-doctorants

Hyeon-Suk Na [INRIA, ARC Visi3D, jusqu'au 1/8/2002]

Gilles Dépret [INRIA, ARC Plasma]

2. Présentation et objectifs généraux

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

Les *problèmes scientifiques fondamentaux* abordés dans le projet 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 : les sciences de la terre, la visualisation scientifique, le prototypage virtuel, la réalité augmentée, *etc.* Elles sont généralement développées en coopération avec l'industrie. En outre, deux start-ups, **Earth Decision Sciences** (anciennement : T-Surf) et **VSP-Technology**, ont été créées par des membres du projet.

Le projet ISA travaille sur trois thèmes de recherche :

1. Modélisation par la vision : imagerie médicale, réalité augmentée (section 3.1).
2. Calculs géométriques pour la visualisation de scènes complexes (section 3.2).
3. Simulation et visualisation haute performance (section 3.3).

Le thème sur la reconnaissance de graphiques a donné naissance en 2002 au projet **Qgar**.

3. Fondements scientifiques

3.1. Modélisation par la vision

Participants : René Anxionnat, Marie-Odile Berger, Erwan Kerrien, Gilles Simon, Brigitte Wrobel-Dautcourt, Javier Flavio Viguera Gomes.

Mots clés : *Recalage, calcul de point de vue, suivi, réalité augmentée, segmentation volumique, détournage, surfacique, imagerie médicale.*

Les progrès réalisés à la fois en synthèse d'images 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 en 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 second 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. De nombreuses applications de réalité augmentée étant de nature interactive, il est impératif de développer des méthodes séquentielles et temps réel permettant le calcul du point de vue. Nous travaillons sur ce point, notamment dans le cadre d'environnements contenant des structures planaires. Enfin, nous développons des méthodes permettant de gérer le plus automatiquement possible les occultations de 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. Nous nous intéressons également à la segmentation d'images volumiques dans le cadre de la néphrologie.

3.1.1. 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.

Nous avons d'abord proposé une méthode qui 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. Comme l'extraction et le suivi de primitives courbes peuvent produire des mises en correspondance en partie erronées et perturber le calcul de point de vue, l'intégration de méthodes statistiques robustes dans l'algorithme permet d'obtenir un algorithme très fiable, même pour des images de faible qualité. 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.

Le développement croissant d'applications de réalité augmentée de type interactive, comme les visites virtuelles, nécessite maintenant d'élaborer des algorithmes séquentiels et temps réel de calcul du point de vue. Dans le cadre du projet européen ARIS, nous nous intéressons à ce problème dans le cadre d'environnements structurés comme les scènes d'intérieur. 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 nous intéressons donc au calcul robuste du point de vue à partir d'observations multiples de plans. Des solutions itératives linéaires ont été proposées qui approchent le problème à l'ordre 1 et permettent un calcul du point de vue à une cadence de 30 images par seconde. Notre approche nécessitant un modèle multiplanaire de la scène, nous nous intéressons également à la reconstruction multiplanaire de la scène à partir de séquences d'images acquises préalablement à l'application de réalité augmentée.

3.1.2. 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.

3.1.3. Multi-modalité pour la neuroradiologie

Cette recherche est effectuée en partenariat avec General Electric et le CHRU de Nancy. 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/angiographie 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.

Nos recherches actuelles s'orientent vers le détournement des malformations artério-veineuses (MAVs). En effet, le traitement de ces malformations par la neuro-radiologie interventionnelle est complété par un traitement radiothérapeutique. L'apparition des collimateurs multilames permettant désormais d'irradier des formes complexes, il est nécessaire d'estimer de façon précise la surface des MAVs. Nous réfléchissons donc à des méthodes semi-interactives, tirant parti de toutes les imageries disponibles (angiographie 2D et 3D, IRM) et permettant d'identifier la surface de la malformation.

3.1.4. Segmentation volumique d'images néphrologiques

Nous avons initié cette année une nouvelle collaboration dans le domaine de la néphrologie. Afin de planifier une opération, comme l'ablation d'un rein par exemple, le chirurgien demande au radiologue une série de trois acquisitions scanner. Ces images sont acquises à trois instants différents afin de suivre la progression d'un agent de contraste dans le système vasculaire du patient : le temps artériel souligne les artères, le temps veineux, les veines et le temps tardif fait ressortir le système urétral. L'objectif que nous poursuivons est d'offrir au chirurgien une vue 3D simplifiée de ces trois objets, vitaux pour le patient mais difficiles à cerner pour le médecin. Cette première étape de la collaboration a consisté en l'évaluation des méthodes de segmentation markovienne dans un cadre tridimensionnel d'abord puis en intégrant les trois acquisitions scanner (données multivariées). La poursuite de la collaboration pour l'année prochaine a été décidée au vu des premiers résultats encourageants.

3.2. Calculs géométriques pour la visualisation de scènes complexes

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

Mots clés : *Géométrie effective, mathématiques pour le graphisme, robustesse, modélisation, conversion, visibilité.*

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 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 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.

3.2.1. Théorie et applications de la visibilité tridimensionnelle

La notion de visibilité tridimensionnelle (3D) joue un rôle fondamental en informatique graphique. Dans ce domaine, le calcul des objets visibles depuis un point donné, les calculs d'ombre ou de pénombre sont des exemples de calculs de visibilité. Dans les méthodes de synthèse d'images par illumination globale (algorithmes dits de radiosité), il est nécessaire de déterminer de manière très répétitive si deux points de la scène sont mutuellement visibles. Ces calculs peuvent être excessivement coûteux. Ainsi, en radiosité, il n'est pas rare qu'entre 50 et 70 % de la simulation soit passée à effectuer des requêtes de visibilité.

Des objets spatialement éloignés peuvent avoir des interactions visuelles très complexes et peu intuitives et, de ce fait, les requêtes de visibilité sont d'une nature intrinsèquement globale. C'est en partie ce qui explique que, jusqu'à aujourd'hui, les chercheurs ont principalement eu recours à des structures *ad hoc*, d'une portée limitée, permettant de répondre à la volée à des requêtes particulières. Hélas, l'expérience a montré que ces structures supportent difficilement le passage à l'échelle. Faute de manquer d'un cadre mathématique bien défini et d'exploiter les propriétés intrinsèques de la visibilité 3D, elles sont inutilisables sur des modèles comportant plusieurs centaines de milliers de primitives, tant du point de vue de la complexité que de celui de la robustesse (dégénérescences géométriques, surfaces alignées, ...).

Nous avons choisi une voie alternative qui consiste à précalculer (donc hors ligne) une structure de visibilité 3D globale dans laquelle des requêtes très efficaces sont ensuite effectuées à la volée (en ligne). Le complexe de visibilité 3D est une structure de ce type, récemment introduite en géométrie algorithmique et en informatique graphique [37][35]. Nous abordons les problèmes de visibilité 3D globale selon deux directions : nous en étudions, d'une part, les bases théoriques et nous travaillons, d'autre part, sur les aspects pratiques liés au développement d'algorithmes de visibilité efficaces et robustes.

Du point de vue de la théorie, nous avons cette année étudié le problème des droites « tangentes » (possiblement obstruées) à quatre polytopes. Nous avons donné de bien meilleures bornes sur le nombre de ces tangentes que ce qui était connu jusqu'alors. Ces résultats donnent des mesures de la complexité des « sommets » (cellules de dimension 0) du complexe de visibilité d'objets facettisés, en particulier pour des scènes triangulées. L'autre voie de recherche actuelle sur le plan de la théorie porte sur la topologie des cellules du complexe de visibilité pour des objets courbes simples, et notamment des sphères.

Du point de vue de la pratique, nous nous sommes interrogés sur le problème de la complexité des structures de visibilité 3D globales, considérée par beaucoup comme rédhibitoire. En effet, la taille de ces structures est dans le pire des cas en $O(n^4)$, où n est le nombre d'objets de la scène. Mais nous avons en fait montré que dans le cas d'objets distribués de manière uniforme, la complexité est linéaire en la taille de l'entrée. Ce résultat probabiliste ne préjuge bien sûr pas de la complexité observée sur des scènes réelles, où les objets ne sont pas uniformément répartis. Néanmoins, les premiers tests empiriques réalisés montrent que, même pour des scènes réelles, la complexité observée est très inférieure à la complexité théorique, comme notre résultat probabiliste semble l'indiquer.

Nous travaillons actuellement à traduire ces signes positifs en une algorithmique efficace. Nous étudions donc de nouveaux algorithmes de construction du complexe de visibilité, en mettant l'accent tant sur la complexité que sur la robustesse. Ces derniers mois, nous avons mis en place un cadre de travail permettant de reformuler la construction du complexe de visibilité d'objets algébriques simples en un ensemble de problèmes de nature algébrique sur l'espace des droites, *via* les coordonnées de Plücker.

3.2.2. Calcul géométrique fiable sur les surfaces

Les surfaces algébriques simples couvrent une variété de formes suffisante pour représenter la majorité des objets rencontrés dans les domaines du *design*, de l'architecture et de l'industrie manufacturière. Ainsi, on estime que 95 % des pièces mécaniques sont bien modélisées par des carreaux de quadriques (surfaces de degré 2, comprenant notamment les plans, les sphères, les cylindres et les cônes) et de tores [38]. Il convient donc d'être en mesure de traiter ces surfaces de manière efficace et robuste algorithmiquement, notamment en vue de leur utilisation en synthèse d'images.

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 poursuivons notre travail avec les membres du thème « Simulation et visualisation haute performance » sur le développement de la méthode dite du maillage virtuel qui permet de s'affranchir de la géométrie réelle des objets en en créant une abstraction géométrique mieux adaptée aux calculs d'illumination.

En amont du processus de rendu, mais de manière contiguë au développement d'un outil d'illumination de surfaces courbes, il est également important de fiabiliser le processus de conversion de modèles volumiques en modèles surfaciques. En effet, nombre de modélisateurs conventionnels fonctionnent par assemblage - union, intersection, différence - de volumes simples (paradigme baptisé *Constructive Solid Geometry* ou CSG), typiquement des quadriques volumiques. Par contre, l'illumination par la méthode de radiosité ne peut se faire que sur une représentation surfacique des objets (dite BRep pour *Boundary Representation*). Il faut donc être en mesure de passer de manière robuste et exacte d'un type de représentation à l'autre, opération baptisée conversion CSG-BRep, de manière à pouvoir profiter de la puissance du maillage virtuel. Les enjeux ici sont de rendre cohérentes les informations géométriques avec les informations topologiques qui traduisent les relations de proximité et d'inclusion des différents éléments.

Une étape fondamentale de cette conversion est le calcul de l'intersection de deux primitives volumiques. Nous avons récemment mis au point un algorithme robuste et optimal pour le calcul d'une forme paramétrique exacte de l'intersection de deux quadriques. Notre méthode est basée sur un formalisme projectif, des techniques d'algèbre linéaire et de théorie des nombres, et de nouveaux théorèmes caractérisant la rationalité de l'intersection. C'est la première approche générale de l'intersection de deux quadriques véritablement utilisable en pratique (contrairement à l'approche adoptée jusqu'alors, celle de J. Levin [36]).

Depuis quelques mois, nous travaillons sur l'utilisation de cet algorithme général dans un contexte applicatif. Nous continuons notamment le développement d'une boucle de conversion CSG-BRep exacte pour des modèles dont les primitives de base sont des quadriques volumiques. Ces travaux font appel à des résolutions algébriques pour lesquelles nous collaborons avec des membres du projet Spaces.

3.2.3. Algorithmique des surfaces triangulées

Si la recherche d'un plus grand réalisme en synthèse d'images passe souvent par l'introduction de surfaces courbes, les modèles triangulés resteront néanmoins encore longtemps une solution de choix dans l'industrie, de par leur simplicité, leur flexibilité et leur omniprésence. Nous nous intéressons à l'algorithmique et à la manipulation efficace de grands volumes de données maillées.

Le principal problème sur lequel nous travaillons est celui de la paramétrisation globale des surfaces triangulées. Paramétrer une surface consiste à la décomposer en « disques topologiques » (c'est-à-dire en parties déplaçables sans recouvrement et sans trou) et à mettre ces parties en correspondance avec des sous-ensembles du plan. De nombreuses applications sont possibles, dans les domaines du placage de textures, de la re-triangulation de surfaces (homogénéisation de la densité d'un maillage) ou encore de la compression de données. Les méthodes de paramétrisation globale actuelles sont soit trop fortement contraintes, soit sans garanties suffisantes. Nous étudions de nouvelles méthodes de paramétrisation de surfaces maillées offrant à la fois une plus grande souplesse que les méthodes existantes et de meilleures propriétés théoriques.

Après nous être intéressés aux aspects « placage de textures » du problème, nous avons récemment défini une nouvelle technique de paramétrisation qui minimise les déformations angulaires, mettant ainsi l'accent sur une propriété dite de conformité. Il est connu que la paramétrisation d'une surface triangulée ne peut généralement pas être parfaitement conforme, et nous avons en fait défini un critère de minimisation aux moindres carrés basé sur les équations de conformité de Cauchy-Riemann. Grâce à cette mise en équation, nous avons été en mesure de prouver un ensemble de résultats remarquables sur notre paramétrisation quasi-conforme (existence et unicité de la solution, préservation des propriétés métriques locales, indépendance par rapport à la résolution du maillage, ...). Nos recherches actuelles portent sur la prise en compte de contraintes additionnelles tout en préservant les atouts du modèle initial. De plus, nous travaillons au développement applicatif de notre technique de paramétrisation au-delà des simples aspects placage de textures.

Puisqu'il est illusoire dans la majorité des cas de paramétrer un objet entier à l'aide d'une unique paramétrisation, tant les déformations introduites seraient alors importantes, il faut être en mesure de découper

(on dit également segmenter) cet objet en disques topologiques, chaque disque étant ensuite paramétré séparément. Le problème de la segmentation de cartes de profondeur, de terrains ou d'objets maillés est un problème difficile bien connu des spécialistes de vision artificielle, pour lequel il existe peu voire pas de solution robuste et efficace tant il est mal posé. Dans l'optique d'une paramétrisation des parties découpées, nous avons mis au point un algorithme de segmentation s'inspirant de la théorie de Morse qui localise les découpages dans les zones de courbure, les artefacts dus à la proximité de deux paramétrisations différentes étant ainsi moins visibles.

3.3. Simulation et visualisation haute performance

Participants : Laurent Alonso, Frédéric Blaise, Xavier Cavin, Gilles Dépret, Bruno Lévy, Ben Li, Jean-Claude Paul, Luciano Pereira Dos Reis, Nicolas Ray, Rodrigo Toledo, Jérémie Turbet, Jean-Christophe Ulysse, Xiaopeng Zhang.

Mots clés : *Illumination globale, algorithmes hiérarchiques parallèles, algorithmes pour la visualisation, visualisation haute performance.*

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.

3.3.1. 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 de Galerkin. Les fonctions de base que nous avons considérées sont des ondelettes multiples de moment un, deux ou trois. 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 appelée *Virtual Mesh* [2], et qui permet, grâce à des fonctions de *mapping*, de traiter toute surface paramétrisable comme une surface plane.

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'ordonnement permettant d'obtenir des calculs performants pour ce genre d'applications sur une machine cc-NUMA SGI Origin 2000.

Nos travaux sur le parallélisme ont été expérimentés avec succès sur notre algorithme de radiosité [8], et permettent de calculer des solutions sur de très gros modèles avec une accélération significative et un excellent facteur d'échelle. 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 : ces méthodes de résolution sont de plus en plus utilisées pour résoudre des problèmes à large échelle, dans une grande variété de domaines scientifiques et d'ingénierie.

3.3.2. 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.

Nos derniers travaux sur la paramétrisation des surfaces triangulées portent sur 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 [5].

Nous utilisons ces méthodes dans le domaine de la visualisation du sous-sol, où les surfaces triangulées sont souvent très complexes. Nous développons également un algorithme d'optimisation de l'affichage des résultats de calculs d'illumination globale fondé sur cette approche (application à la conception assistée, voir section 3.2). 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.

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 jeu pour ce type d'approche. Notre

structure de données, présentée dans [7], permet ainsi de visualiser interactivement des grilles non structurées hétérogènes, constituées de cellules convexes ayant un nombre arbitraire de faces.

3.3.3. Visualisation haute performance

Nous avons introduit une nouvelle architecture logicielle permettant de combiner un environnement multi-processeur et plusieurs pipelines graphiques. Nous avons montré 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).

4. Domaines d'application

4.1. Exploration pétrolière

Les résultats des recherches sur le thème « Calculs géométriques » (section 3.2) et « Simulation et visualisation haute performance » (section 3.3) sont transférés dans le domaine des géo-sciences et plus précisément de l'exploration pétrolière, via le logiciel *Gocad* (voir section 5.1). 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. Conception assistée

L'application « conception assistée » utilise certains résultats des recherches sur les thèmes « Calculs géométriques » (section 3.2) et « Simulation et visualisation haute performance » (section 3.3), 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 6.1) peuvent être mis en œuvre principalement dans des applications de type post-production ou études d'impact. 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 6.1) 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 6.1 est intégré aux logiciels utilisés en salle d'opération et est expérimenté à l'hôpital neurologique CHRU.

4.5. Gestion sylvicole

La résolution des problèmes de gestion des ressources forestières nécessite d'assembler des processus complexes, dans l'espace et le temps : intégration des connaissances dans des logiciels de simulation et des systèmes d'informations géographiques (SIG), optimisation économique ou écologique de la sylviculture.

Dans le cadre d'une collaboration inter-instituts INRIA-CIRAD-INRA-ENGREF, nous cherchons à développer des outils permettant d'aider à la gestion des peuplements forestiers en utilisant des SIG, les modèles de production forestière de l'INRA, les modèles structure-fonction du CIRAD-AMAP et nos connaissances en calcul et visualisation haute performance. En particulier, la possibilité de pouvoir, à partir des données 2D d'un SIG, modéliser en 3D un couvert forestier, permet d'envisager de nombreux traitements : la visualisation, comme outil de dialogue entre les organismes gestionnaires et les utilisateurs de la forêt, mais aussi des calculs aérodynamiques (résistance à la casse au vent) et de transfert d'énergie (feux de forêt).

Ainsi, le projet scientifique *SILVES* (Simulations Informatiques et Logiciels de Visualisation pour l'Expérimentation Sylvicole) devrait donner naissance à une plate-forme logicielle intégrée permettant de représenter, de simuler et de visualiser des espaces sylvicoles dans leur état actuel et au cours de leur évolution afin de mieux maîtriser les choix de sylviculture et les décisions d'aménagement. La modélisation géométrique de couverts forestiers devrait également permettre le couplage avec d'autres modèles intéressés par la structure de couverts forestiers : simulation de feux de forêt, simulation du vent dans les couverts et étude de la résistance à la casse, estimation de la qualité du bois en fonction des contraintes sylvicoles, ...

Les objectifs scientifiques du projet *SILVES* peuvent se décomposer en trois thèmes de recherche principaux :

1. Visualisation 3D de données SIG : utilisation du logiciel IMAGIS (visualisation de SIG) et des logiciels AMAP (simulation de la croissance des plantes) développés au CIRAD. En particulier, il est nécessaire de développer les potentialités d'IMAGIS afin de permettre son utilisation dans des thématiques forestières.
2. Contrôle des paramètres des modèles structure-fonction par des modèles de production forestière : connaissant les règles de développement générales d'une espèce et ne connaissant que certaines variables relatives à une réalisation à un moment donné de la vie de la plante, est-il possible de reconstruire complètement la plante, à cette date là, tout au long de sa vie et avec quelle précision ? Problème d'inversion de modèles et quasi-numérique qui s'apparente à l'estimation des paramètres ou à l'optimisation (méthode du Recuit Simulé ou des Moindres Carrés Généralisés).
3. Calcul et visualisation haute performance : simulation de couverts forestiers et visualisation immersive. Les caractéristiques de ce thème sont les suivantes :

- Développement d’une plate-forme logicielle permettant de simuler un couvert forestier (en utilisant les compétences d’AMAP existantes) et de le visualiser en salle immersive.
- Simulations en temps-réel afin de permettre une interaction entre l’utilisateur et le simulateur.
- Développement d’une interface permettant de modifier les caractéristiques de la simulation (choix sylvicoles par exemple).
- Etude du problème de la représentation multi-échelle d’un couvert forestier afin d’optimiser les performances.

4.6. Stratoconception

Nous travaillons en liaison avec le **CIRTES** à l’amélioration de l’algorithmique du procédé dit de Stratoconception. Les procédés de prototypage rapide, et particulièrement la Stratoconception, sont issus de la chaîne numérique en conception mécanique. Ils permettent de passer d’une pièce définie numériquement à un modèle physique en peu de temps (de l’ordre de quelques heures) et à différents rapports d’échelle. Plus spécifiquement, la Stratoconception consiste à décomposer la pièce à usiner par calcul en un ensemble de couches élémentaires simples (des « strates »). Les pièces élémentaires sont fabriquées directement par micro-fraisage ou découpe laser à partir de matériaux en plaques, puis assemblées pour reconstituer l’objet final. Si l’objet à fabriquer est complexe (disons, une œuvre d’art), des volumes resteront inaccessibles au procédé d’usinage, et ceci quel que soit l’axe de stratification utilisé. Puisque ces zones (dites de contre-dépouille) devront être éliminées manuellement en fin de chaîne pour que l’objet usiné soit fidèle à sa représentation numérique, il convient d’en minimiser l’importance. Nous travaillons donc sur la recherche d’un axe de stratification minimisant les contre-dépouilles et sur l’estimation des volumes cachés. Ces travaux combinent algorithmique géométrique et utilisation du hardware graphique de manière à obtenir rapidement une estimation assez fine de l’erreur commise.

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 **Earth Decision Sciences** (anciennement : T-Surf) assure le développement et la commercialisation du logiciel Gocad. L’extension Gocad-VR est commercialisée par la société Earth Decision Sciences 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).

6. Résultats nouveaux

6.1. Modélisation par la vision

L'essentiel de notre activité en réalité augmentée cette année a été axé sur le développement d'algorithmes temps réel de calcul du point de vue pour des scènes multi-planaires. 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 [20]. Des solutions itératives linéaires ont été proposées qui approchent 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 sommes actuellement capables de traiter 30 images par seconde avec cette méthode, ce qui est tout à fait compatible avec les besoins de rendu. Comme notre approche requiert la connaissance du modèle multiplanaire de la scène, nous avons développé deux méthodes permettant l'acquisition de ce modèle. La première, de nature interactive [33], permet de reconstruire l'environnement pendant l'application, pour les cas où les plans considérés sont orthogonaux à un plan donné (ce qui est le cas dans les scènes d'intérieur ou les murs sont perpendiculaires au sol). La deuxième [31], permet de reconstruire l'environnement à partir des homographies induites par les plans à partir d'un ensemble discret d'images.

Nos travaux dans le domaine de la gestion des occultations ont débouché sur la présentation [28] d'un outil de segmentation d'objets dans des séquences vidéo. Cette approche semi-interactive 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 détournages 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 segmentation des objets de très bonne qualité au prix d'une interaction très modérée avec l'utilisateur.

Nos travaux dans le domaine de la neuro-radiologie ont porté cette année sur le détournage des malformations artério-veines en vue d'un traitement radio-thérapeutique. Nos travaux se sont développés selon deux axes. D'un point de vue clinique, nous avons étudié la variabilité du détournage manuel réalisé par des médecins sur les angiographies 2D, cette modalité servant de base à la radiothérapie. Nous étudions également la pertinence du détournage lorsqu'il est réalisé sur d'autres modalités, comme l'angiographie 3D, pour comprendre si cette modalité peut être incorporée dans un processus multi-modalité de détournage des MAVs. Parallèlement, nous mettons en œuvre des algorithmes de surfaces déformables pour affiner l'estimation obtenue grâce au détournage manuel du médecin.

Enfin, les premiers résultats que nous avons obtenus dans l'analyse de scanners néphrologiques ont été jugés très intéressants par les médecins et cette collaboration va donc être poursuivie cette année.

Pour finir, nous avons présenté en mai, dans le cadre du 7ème festival du film de chercheur du CNRS un film, intitulé *Les Robots*, illustrant nos méthodes de calcul de points de vue à base de plans ainsi que nos méthodes de gestion des occultations des modèles 3D.

6.2. Calculs géométriques pour la visualisation de scènes complexes

Sur le thème de la visibilité 3D, nous avons démontré une série de résultats sur le nombre de droites tangentes à quatre polytopes de complexité n . Trivialement, ce nombre est borné supérieurement, dans le cas générique, par $O(n^4)$. Nous avons en fait beaucoup amélioré cette borne et montré que le nombre de tangentes est en $\Theta(n^2)$. Plus généralement, si l'on se donne un ensemble de k polytopes possédant au total n arêtes, alors le nombre de droites tangentes à 4 polytopes parmi les k est en $\Theta(n^2 k^2)$. Les preuves utilisées pour démontrer ces résultats se transforment aisément en des algorithmes de calcul efficaces [24].

Nous avons également donné plusieurs résultats nouveaux pour des objets répartis avec une distribution uniforme. Dans ce cadre, nous avons montré que la taille moyenne du complexe de visibilité de n sphères de rayon unité est en $\Theta(n)$. Nous avons donné différentes généralisations de ce résultat pour des sphères de

taille variable, des polyèdres et des polygones, et avons étudié d'autres distributions comme la distribution de Poisson.

Sur le thème du calcul géométrique fiable sur les surfaces, nous avons cette année mis une touche finale à l'implantation de notre algorithme quasi-optimal d'intersection de quadriques. La solution produite est, à une racine près, minimale (en terme de degré de l'extension de corps sur laquelle les coefficients de la paramétrisation sont définis) et le gain observé, en taille de la solution, est d'un facteur 17 000 sur des exemples représentatifs. Une version préliminaire de ce travail, capital pour gérer efficacement les arrangements de quadriques, a été récemment publiée [17].

Enfin, sur le thème de l'algorithmique des surfaces triangulées, nous avons publié nos travaux sur la paramétrisation conforme de surfaces triangulées à la conférence SIGGRAPH de San Antonio [30]. L'article présente également notre technique permettant de segmenter des surfaces triangulées en morceaux facilement utilisables par le module de paramétrisation. Parallèlement, nous avons publié un article de synthèse faisant un tour d'horizon des méthodes de segmentation de surfaces triangulées, en mettant l'accent sur la difficile estimation des propriétés différentielles [18].

Pour finir, notons que B. Lévy a présenté en mai, dans le cadre du 7ème festival du film de chercheur du CNRS, un film réalisé par le département communication de l'INRIA grâce au logiciel Graphite. Ce film, intitulé *Face It !*, illustre les techniques de placage de textures sous contraintes sur des modèles 3D.

6.3. Simulation et visualisation haute performance

Nos recherches en rendu volumique portent sur deux aspects différents :

1. gestion des grilles structurées de très grande taille ;
2. gestion des grilles non-structurées hétérogènes.

En ce qui concerne le premier point, nos recherches ont porté sur le développement d'architectures logicielles et matérielles pour gérer ces volumes, sur des architectures allant du PC (utilisation des Pixel Shaders, de la texture 3D) et des grappes de PC à l'Onyx3800 (API Volumizer).

Le deuxième point consiste à développer des structures de données et algorithmes adaptés pour traiter la complexité de ces grilles. Nous avons introduit la structure de données *C-Graph* (*Cellular Graph*), qui permet d'effectuer les calculs d'intersections liés au processus de visualisation avec une complexité optimum (linéaire en fonction de la taille de la sortie). Ces résultats sont actuellement exploités dans le cadre de l'ARC Plasma (pour la visualisation des résultats de simulation numérique des plasmas de fusion) et de l'ACI Geo-Grid (pour la visualisation des données sismiques d'exploration pétrolière, et des résultats de simulation d'écoulement). Ces travaux ont été soumis au journal *IEEE Transactions on Computer Graphics and Visualization*.

L'approche de simulation de l'illumination globale développée par l'équipe permet de simuler de manière précise les échanges lumineux dans des bases de données de grande taille. Nos recherches ont porté sur la visualisation interactive des résultats de ces calculs. L'utilisation de textures permet de tirer parti des cartes graphiques 3D, qui sont capables d'habiller des objets avec des images. Dans notre cas, ces images vont coder les variations de l'intensité lumineuse émise par les objets de la scène. Générer ces textures nécessite de munir tous les objets de la scène d'une paramétrisation. Notre méthode *Least Squares Conformal Maps* [30] permet pour la première fois de construire cette paramétrisation d'une manière automatique pour des scènes de grande complexité (plusieurs millions de primitives). Ces résultats sont actuellement utilisés par la start-up VSP-Technology.

Notons par ailleurs que B. Lévy a contribué à la rédaction d'un article sur la génération automatique de textures à partir d'une photo par la méthode dite des « particules de textures » [25]. Cette méthode consiste à extraire de la photo initiale des éléments significatifs baptisés particules, à effectuer une analyse statistique de leurs positions relatives et à distribuer de manière stochastique ces éléments sur l'objet à texturer tout en respectant les statistiques de co-occurrence.

Dans le cadre du projet RNRT/VTHD++ sur les réseaux à « vraiment très haut débit », nous avons travaillé sur des aspects de visualisation distribuée, basés sur la plate-forme *open source* Chromium. Nous avons

tout d'abord effectué le portage de la librairie réseau sur IPv6, puis nous avons montré comment utiliser un protocole non fiable (*i.e.* UDP) pour optimiser l'utilisation du réseau et améliorer les performances [34].

7. Contrats industriels

7.1. Création d'entreprises de technologie

7.1.1. *Earth Decision Sciences*

La société **Earth Decision Sciences** (PDG : Jean-Claude Dulac) assure le développement et la commercialisation du logiciel Gocad (section 5.1). Earth Decision Sciences (anciennement : 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 « Calculs géométriques » (section 3.2) et « Simulation et visualisation haute performance » (section 3.3).

7.1.2. *VSP-Technology*

La société **VSP-Technology** (PDG : François Cuny) 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 haute performance » (section 3.3), ainsi que certains algorithmes géométriques développés dans le cadre du thème « Calculs géométriques » (section 3.2).

7.2. Partenariats stratégiques

7.2.1. *Consortium Gocad*

Le logiciel **Gocad** (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 « Calculs géométriques » (section 3.2) et « Simulation et visualisation haute performance » (section 3.3).

7.2.2. *SIGI*

Nous avons un partenariat avec SIGI depuis 1996, qui implique les thèmes « Calculs géométriques » (section 3.2) et « Simulation et visualisation haute performance » (section 3.3). 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 beta-testeur de l'IA64, et développe l'une des principales applications du programme *Visual Servicing* de SIGI.

7.2.3. *General Electric Medical Systems*

Le partenariat avec General Electric sur le thème « Modélisation par la vision » (section 6.1) 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.

7.3. Autres

7.3.1. *RNTL*

Projet VSP : Visualization Service Provider.

Partenaires industriels : SIGI, ALSTOM Contracting, ALSTOM Transport, Renault, Optis, VSP-Technology.

8. Actions régionales, nationales et internationales

8.1. Actions régionales

8.1.1. Contrat de Plan État-Région (CPER)

Participant : Jean-Claude Paul [Responsable du programme « Calcul, graphisme et réseaux haute performance »].

Ce thème du pôle intelligence logicielle regroupe plusieurs projets de l'INRIA Lorraine et plusieurs laboratoires du CNRS et des universités de Lorraine.

8.2. Actions nationales

8.2.1. ACI Geo-Grid

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

Jean-Claude Paul coordonne le projet pluridisciplinaire Geo-Grid, 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. Geo-Grid 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. L'ACI regroupe l'INRIA Lorraine, le CRPG, l'ENSG de Nancy, le LABRI, et le projet PRISME de l'INRIA Sophia-Antipolis.

8.2.2. ARC Tête parlante

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

L'ARC *Tête parlante* 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 œuvre 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.

8.2.3. ARC Plasma

Participants : Laurent Alonso, Gilles Dépret, Bruno Lévy, Jean-Claude Paul, Sylvain Petitjean.

Bruno Lévy et Gilles Dépret coordonnent l'**ARC Plasma** qui vise à développer une coopération scientifique sur le thème de la physique des plasmas de fusion thermonucléaire.

Dans le domaine de la physique des plasmas de fusion thermonucléaire, les simulations nucléaires, qui consistent à résoudre l'équation de Vlasov, ont montré leur grande utilité. La visualisation des résultats de ces simulations est aujourd'hui couramment utilisée mais les techniques de visualisation utilisées sont actuellement rudimentaires, eu égard à la complexité des phénomènes physiques à appréhender. La visualisation de ces phénomènes met en effet en jeu des grandeurs multidimensionnelles et des volumes de données à une échelle hors de portée des techniques de visualisation actuelles.

L'objectif scientifique des travaux menés dans le cadre de cette ARC est d'améliorer sensiblement la fiabilité des simulations numériques grâce à la mise en œuvre de techniques de visualisation haute performance.

L'ARC regroupe l'INRIA Lorraine, l'IRMA de Strasbourg, le LPMI (UMR CNRS 7040), le CEA de Cadarache et le LSIT de Strasbourg.

8.2.4. ARC TéléGéo

Participants : Bruno Lévy, Sylvain Petitjean, Nicolas Ray.

L'**ARC TéléGéo** (« Géométrie et télécommunications »), pilotée par Pierre Alliez de l'INRIA Sophia Antipolis, a pour objectif de créer une synergie autour de la transmission en réseau d'objets géométriques. Le but est

d'étudier et de développer des techniques de traitement et de représentation de l'information géométrique pour des applications sur des réseaux hétérogènes. Les thèmes de recherche impliqués comprennent la géométrie algorithmique, le codage, la compression de données, le traitement numérique de la géométrie et l'informatique graphique.

8.2.5. *AS réalité augmentée temps réel CNRS*

Participants : Marie-Odile Berger, Erwan Kerrien, Gilles Simon.

Marie-Odile Berger est responsable de l'action spécifique du CNRS intitulée *Réalité augmentée temps réel* du RTP 25.

8.2.6. *ATIP STIC CNRS*

Participants : Laurent Dupont, Hazel Everett, Xavier Goaoc, Sylvain Lazard, Bruno Lévy, Sylvain Petitjean.

Gestion de l'ATIP (Action thématique et incitative sur programme) jeunes chercheurs « Géométrie effective pour la visualisation réaliste de scènes complexes » du département STIC du CNRS.

8.2.7. *Collaboration avec le projet Spaces*

Participants : Laurent Dupont, Xavier Goaoc, Sylvain Lazard, Sylvain Petitjean.

Nous collaborons avec plusieurs membres du projet Spaces (LORIA-LIP6) sur divers aspects liés au calcul robuste sur les surfaces courbes et à la visibilité 3D. L'algorithme de calcul d'une paramétrisation quasi-optimale de l'intersection de deux quadriques a été développé conjointement avec D. Lazard, responsable scientifique du projet Spaces. Par ailleurs, l'intersection des courbes paramétrées ainsi obtenues avec d'autres quadriques fait apparaître des polynômes à coefficients algébriques dont la résolution est une spécialité du projet Spaces.

Concernant la visibilité, le cadre algébrique que nous avons mis en place pour calculer le complexe de visibilité fait naître bon nombre de questions sur les ensembles algébriques et semi-algébriques : tester si un ensemble semi-algébrique est vide, trouver sa dimension, isoler ses composantes connexes, ... Les membres du projet Spaces (en particulier J.-C. Faugère et F. Rouillier) possèdent une forte expertise sur ces questions.

8.2.8. *Collaboration avec le projet PRISME*

Participants : Hazel Everett, Xavier Goaoc, Sylvain Lazard, Bruno Lévy, Sylvain Petitjean.

Nous collaborons avec les membres du projet PRISME (INRIA Sophia Antipolis) sur plusieurs problèmes liés au thème « Calculs géométriques ». En particulier, nous travaillons avec O. Devillers sur les questions de visibilité 3D (aspects probabilistes, complexité, ...). Plusieurs articles en commun sont en préparation.

Par ailleurs, nous collaborons avec P. Alliez et F. Cazals sur plusieurs aspects de l'algorithmique des surfaces triangulées, et notamment la paramétrisation globale de surfaces maillées.

8.2.9. *Organisation de congrès*

- H. Everett, S. Lazard et S. Petitjean ont organisé les Journées de géométrie algorithmique 2002 à Obernai en octobre.
- J.-C. Paul a organisé la journée « Visualisation et grands calculs » au CINES en octobre 2002.

8.2.10. *Associations*

- 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.

8.3. Actions européennes

8.3.1. Projet européen ARIS

Participants : Marie-Odile Berger, Gilles Simon, Flavio Viguera.

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 interactives, 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).

8.4. Actions internationales

8.4.1. Équipe associée McGill-ISA

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

Gestion de l'**équipe associée INRIA McGill-ISA** 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, Stefan Langerman (postdoc), Matthew Kitching (étudiant de Master), Sue Whitesides (professeur) et Malvika Rao (étudiante de Master), de l'université McGill, ont cette année visité le projet ISA. À l'inverse, H. Everett et S. Lazard ont rendu visite en septembre à l'équipe de McGill.

8.4.2. Organisation de congrès

- M.-O. Berger a été membre du comité de programme d'ECCV'2002 (European Conference on Computer Vision), Copenhague.
- H. Everett et S. Lazard ont co-organisé avec Sue Whitesides le colloque « International Workshop on Geometry Problems in Computer Graphics » (Bellairs Research Institute of McGill University, La Barbade, février).
- H. Everett a été membre du comité de programme de CCCG'02 (Canadian Conference on Computational Geometry), Lethbridge, Alberta.
- Gilles Simon a été membre du comité de programme d'ISMAR 2002 (International Symposium on Mixed and Augmented Reality), Darmstadt.

8.5. Visites et invitations de chercheurs

- Steve Wismath, professeur à l'université de Lethbridge (Canada), a visité le projet en juin.
- Otfried Cheong, professeur à l'université d'Utrecht, a visité le projet pendant un mois en mars 2002 en tant que professeur invité.
- Depuis octobre 2002, le professeur Xiaopeng Zhang de l'Institut d'Automatique de l'Académie des Sciences de Chine à Pékin est accueilli en tant que *spécialiste académique étranger*. Il est en charge dans le projet *SILVES* de la partie calcul et visualisation haute performance.
- X. Goaoc a été invité pendant un mois en novembre par l'université des sciences et technologie de Hong Kong (HKUST).

9. Diffusion des 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, **ESIAL**.
- Nous participons aussi à des enseignements plus spécifiques. H. Everett et S. Lazard interviennent dans le module « Algorithmique géométrique et graphique » du DEA d'informatique de Nancy. M.-O. Berger et B. Lévy interviennent dans le module « Algorithmique numérique pour la vision et la synthèse d'images » de ce même DEA. M.-O. Berger intervient à SUPELEC Metz dans le cadre d'une initiation à la vision par ordinateur. Gilles Simon intervient dans le cadre du DESS Imagerie Numérique et Interactivité à Epinal.

9.2. Participation à des colloques, séminaires, invitations

- Des membres du projet ont participé aux conférences et colloques suivants : CCCG'02 (Lethbridge, Alberta, Canada), SOCG'02 (Barcelone), SIGGRAPH'02 (San Antonio), Visualization'02 (Boston), International Conference on Curves and Surfaces (Saint-Malo), Journées de géométrie algorithmique (Obernai), International Workshop on Geometry Problems in Computer Graphics (Bellairs Research Institute of McGill University, La Barbade), ECG Workshop on Robustness and Efficiency Issues in Implementing Arrangements of Curves and Surfaces (Sophia Antipolis), ISMAR 2002 (International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Darmstadt), BMVC 2002 (British Machine Vision Conference, Cardiff), Symposium Neuroradiologicum 2002 (Paris), International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO) Working Party S5.01-04.

10. Bibliographie

Bibliographie de référence

- [1] P. K. AGARWAL, T. BIEDL, S. LAZARD, S. SURI, S. WHITESIDES. *Curvature-Constrained Shortest Paths in a Convex Polygon*. in « SIAM Journal on Computing », 2001.
- [2] L. ALONSO, F. CUNY, S. PETITJEAN, J.-C. PAUL, S. LAZARD, E. WIES. *The Virtual Mesh : A Geometric Abstraction for Efficiently Computing Radiosity*. in « ACM Transactions on Graphics », 2001.
- [3] M.-O. BERGER, B. WROBEL-DAUTCOURT, S. PETITJEAN, G. SIMON. *Mixing Synthetic and Video Images of an Outdoor Urban Environment*. in « Machine Vision and Applications », numéro 3, volume 11, 1999, pages 145-159.
- [4] E. KERRIEN, M.-O. BERGER, E. MAURINCOMME, L. LAUNAY, R. VAILLANT, L. PICARD. *Fully automatic 3D/2D subtracted angiography registration*. in « Proceedings of Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI'99, Cambridge, England », série Lecture Notes in Computer Science, volume 1679, Springer, éditeurs A. C. CHRIS TAYLOR., pages 664-671, septembre, 1999.
- [5] B. LEVY. *Constrained Texture Mapping*. in « SIGGRAPH 2001, Los Angeles, USA », ACM, Addison Wesley, août, 2001.

- [6] B. LEVY, S. PETITJEAN, N. RAY, J. MAILLOT. *Least Squares Conformal Maps for Automatic Texture Atlas Generation*. in « Special Interest Group on Computer Graphics - SIGGRAPH'02, San-Antonio, Texas, USA », éditeurs ACM., juillet, 2002.
- [7] 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.
- [8] J.-C. PAUL, X. CAVIN, L. ALONSO. *Partitioning and Scheduling Large Radiosity Computations in Parallel*. in « Journal on Parallel and Distributed Computer Practices - Special Issue on Parallel and Distributed Computer Graphics », numéro 3, volume 3, septembre, 2000.
- [9] S. PETITJEAN, E. BOYER. *Regular and non-regular point sets : properties and reconstruction*. in « Computational Geometry : Theory and Applications », numéro 2-3, volume 19, 2001, pages 101-126.
- [10] G. SIMON, M.-O. BERGER. *Pose estimation for planar structure*. in « IEEE Computer Graphics and Applications », numéro 6, volume 22, novembre, 2002, pages 46-53.

Articles et chapitres de livre

- [11] P. K. AGARWAL, T. BIEDL, S. LAZARD, S. SURI, S. WHITESIDES. *Curvature-Constrained Shortest Paths in a Convex Polygon*. in « SIAM Journal on Computing », numéro 6, volume 31, 2002, pages 1814-1851.
- [12] M. ALABAU, L. IDOUMGHAR, R. SCHOTT. *New Hybrid Genetic Algorithms for the Frequency Assignment Problem*. in « IEEE Transactions on Broadcasting », numéro 1, volume 48, mars, 2002, pages 27-34.
- [13] R. ANXIONNAT, L. PICARD, S. BRACARD, J. MELO NETO. *L'angiographie 3D en neuroradiologie : quelle technique pour l'avenir*. éditeurs A. BLUM., in « Scanographie Volumique Multicoupe, principes, applications, perspectives. », Masson, juin, 2002, pages 32-38.
- [14] 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*. in « Discrete Applied Mathematics », numéro 1-3, volume 117, janvier, 2002, pages 293-297.
- [15] F. BLAISE. *La modélisation de l'architecture des plantes et ses applications à la création de paysages virtuels*. éditeurs F. SILLION., in « Synthèse d'images géographiques », série Information Géographique et Aménagement du Territoire, volume 4, Hermes, novembre, 2002, chapitre 5, pages 171-216.
- [16] P. BOSE, H. EVERETT, S. WISMATH. *Properties of Arrangements Graphs*. in « International Journal of Computational Geometry », janvier, 2002.
- [17] L. DUPONT, D. LAZARD, S. LAZARD, S. PETITJEAN. *Towards the Robust Intersection of Implicit Quadrics*. éditeurs J. WINKLER, M. NIRANJAN., in « Workshop on Uncertainty in Geometric Computations 2001 », série International Series in Engineering and Computer Science, volume 704, Kluwer Academic Publishers, août, 2002, chapitre 5, pages 59-68.

- [18] S. PETITJEAN. *A Survey of Methods for Recovering Quadrics in Triangle Meshes*. in « ACM Computing Surveys », numéro 2, volume 34, juillet, 2002, pages 211-262.
- [19] N. RÉMY, A. SHTUKA, B. LÉVY, J. CAERS. *GsTL : a geostatistical template library in C++*. in « Computers and Geosciences », numéro 8, volume 28, octobre, 2002, pages 971-979.
- [20] G. SIMON, M.-O. BERGER. *Pose Estimation for Planar Structures*. in « IEEE Computer Graphics and Applications », numéro 6, volume 22, novembre, 2002, pages 46-53.
- [21] C. SOLER, F. X. SILLION, F. BLAISE, P. REFFYE (DE). *An Efficient Instantiation Algorithm for Simulating Radiant Energy Transfer in Plant Models*. in « ACM Transactions on Graphics », octobre, 2002.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [22] R. ANXIONNAT, C. MARCHAL, A. CORDEBAR, I. BUCHHEIT, E. KERRIEN, E. TROUSSET, M.-O. BERGER, P. BEY, P. ALEETTI, S. BRACARD, S. COULBOIS, J. AUQUE, L. PICARD. *Radiosurgery of complex shaped brain arteriovenous malformations using multileaf collimator. Interest of 3D X-ray angiography and fusion with MRI for the delineation of the target*. in « Symposium Neuroradiologicum, Paris, France », volume 29, éditeurs J. OF NEURORADIOLOGY., septembre, 2002.
- [23] F. BLAISE, L. SAINT-ANDRÉ, J.-M. LEBAN, J.-C. GÉGOUT, J.-C. HERVÉ. *Connection between forest inventory data and geographic information systems for assessing timber value at the stand level*. in « International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO) Working Party S5.01-04 », novembre, 2002.
- [24] H. BRO"NNIMANN, O. DEVILLERS, V. DUJMOVIC, H. EVERETT, M. GLISSE, X. GOAOC, S. LAZARD, H.-S. NA, S. WHITESIDES. *On the Number of Lines Tangent to Four Convex Polyhedra*. in « 14th Canadian Conference on Computational Geometry - CCCG'02, Lethbridge, Canada », août, 2002.
- [25] J.-M. DICHLER, K. MARITAUD, B. LEVY, D. CHAZANFARPOUR. *Texture Particles*. in « Eurographics 2002 - EG 2002, Saarbru"cken, Germany », septembre, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-269/A02-R-269.ps>.
- [26] J.-Y. GREFF, L. IDOUMGHAR, R. SCHOTT. *Using Markov Decision Processes to Solve the Frequency Assignment Problem*. in « 20th IASTED International conference on Artificial Intelligence and Soft Computing - ASC'2002, Banff, Canada », IASTED, juillet, 2002.
- [27] L. IDOUMGHAR, M. ALABAU, R. SCHOTT. *Une Nouvelle Approche Hybride pour Résoudre le Problème d'Allocation de Fréquences*. in « 13ème Congrès Francophone AFRIF-AFIA de Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle - RFIA'2002, Angers, France », pages 241-248, janvier, 2002.
- [28] V. LEPETIT, M.-O. BERGER. *Un outil de segmentation pour la manipulation de séquences vidéo*. in « 13ème Congrès Francophone AFRIF-AFIA de Reconnaissance des Formes et d'Intelligence Artificielle - RFIA'2002, Angers, France », janvier, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-007/A02-R-007.ps>.
- [29] B. LEVY, S. PETITJEAN. *Least Squares Conformal Maps*. in « Fifth International Conference on Curves and Surfaces 2002, Saint-Malo, France », juin, 2002.

- [30] B. LEVY, S. PETITJEAN, N. RAY, J. MAILLOT. *Least Squares Conformal Maps for Automatic Texture Atlas Generation*. in « Special Interest Group on Computer Graphics - SIGGRAPH'02, San-Antonio, Texas, USA », éditeurs ACM., juillet, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-065/A02-R-065.ps>.
- [31] G. SIMON, M.-O. BERGER. *Real time registration of known or recovered multi-planar structures : application to AR*. in « British Machine Vision Conference 2002 - BMVC'2002, Cardiff, United Kingdom », pages 567-576, septembre, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-159/A02-R-159.ps>.
- [32] G. SIMON, M.-O. BERGER. *Recalage temporel d'une structure plane par morceaux : application à la Réalité Augmentée temps réel*. in « 13ème Congrès Francophone AFRIF-AFIA de Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle - RFIA'2002, Angers, France », janvier, 2002.
- [33] G. SIMON, M.-O. BERGER. *Reconstructing while registering : a novel approach for markerless augmented reality*. in « International Symposium on Mixed and Augmented Reality - ISMAR'02, Darmstadt, Germany », septembre, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-198/A02-R-198.ps>.
- [34] S. THIBAUT, X. CAVIN, O. FESTOR, E. FLEURY. *Unreliable Transport Protocol for Commodity-Based OpenGL Distributed Visualization*. in « Workshop on Commodity-Based Visualization Clusters, Boston, MA », octobre, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-303/A02-R-303.ps>.

Bibliographie générale

- [35] F. DURAND. *Visibilité tridimensionnelle : étude analytique et applications*. thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble I, 1999.
- [36] J. LEVIN. *A parametric algorithm for drawing pictures of solid objects composed of quadric surfaces*. in « Communications of the ACM », numéro 10, volume 19, 1976, pages 555-563.
- [37] M. POCCHIOLA, G. VEGTER. *The Visibility Complex*. in « International Journal of Computational Geometry and Applications », numéro 3, volume 6, 1996, pages 1-30.
- [38] A. REQUICHA, H. VOELCKER. *Solid modeling : a historical summary and contemporary assessment*. in « IEEE Computer Graphics and Applications », numéro 1, volume 2, 1982, pages 9-24.