

Rapport INRIA 1994 — Programme 4
Analyse Synthèse d'Images

PROJET SYNTIM

3 mai 1995

PROJET SYNTIM

Analyse Synthèse d'Images

Localisation : *Rocquencourt*

Mots-clés : animation faciale (1), déformation (1), image SPOT (1), interprétation géométrique (1), interprétation photométrique (1), mise en correspondance d'images (1), modelleur (1), modélisation des tissus (1), NURBS (1), placage de texture (1), radiosité (1), segmentation d'image (1), stéréo (1), texture (1), tracé de rayons (1), vision par ordinateur (1).

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

André Gagalowicz, directeur de recherche, INRIA

Responsable permanent

Olivier Monga, chargé de recherche, INRIA

Secrétariat

Laurence Bourcier, INRIA

Personnel INRIA

Pierre Jancène, directeur de recherche, INRIA

Sabine Coquillart, chargée de recherche, INRIA

Anne Verroust, chargée de recherche, INRIA

Chercheurs doctorants

Andrew Ackah-Miezan, boursier MESR, université de Paris 6

Philippe Decaudin, boursier MESR, université de Compiègne

Laroussi Doghman, boursier INRIA, université de Paris 9

Bruno Jedynak, boursier INRIA, université de Paris 11
Francis Lazarus, boursier MESR, université de Paris 7
Fabrice Neyret, boursier INRIA, université de Paris 11
Jean-Philippe Rozé, boursier INRIA, université de Paris 11
Jean-Philippe Tarel, boursier MESR, université de Paris 9
Jean-Marc Vézien, boursier INRIA, université de Paris 7
Xavier Provot, boursier MESR, université de Paris 5

Stagiaires

Ivan Bricault, stage de DEA, magistère de l'ENS et X, du 1er février au 31 juillet 1994
Monika Gorkani, Media lab., MIT Cambridge USA, du 1er septembre 1993 au 30 juin 1994
Guillaume Jandot, stage de fin d'études, Ecole IIE , du 1er janvier au 30 juin 1994
Ivan Keller, stage de DEA, université Paris 11, du 1er mai au 30 septembre 1994
Véronique Prinnet, stage de Mastère, université de Compiègne, 1er avril au 30 septembre 1994
Ruurd Zeinstra, stage HIO Pays-Bas, du 1er septembre 94 au 30 juin 1995

Chercheurs extérieurs

Jean Louchet, ENSTA
Jean-Marie Rocchisani, Hôpital Avicenne, Bobigny

Collaborateur extérieur

Nozha Boujemaa, Ecole d'Ingénieurs en Informatique pour l'Industrie (E3i) - Université de Tours

Conseiller scientifique

Georges Stamon, Professeur à l'université Paris 5

Professeur invité

Donald Geman, Université du Massachusetts, USA

I.T.A

Jean-Paul Chièze, en commun avec Fractales et Masda, INRIA
Jean-Baptiste Giorgi, en commun avec Fractales et Masda, INRIA

2 Présentation du projet

Notre but est d'étudier au sein d'un même projet des techniques issues de la vision par ordinateur ainsi que des techniques issues de l'infographie et de mettre en place des schémas coopératifs entre les deux pour faire progresser de manière duale ces deux domaines.

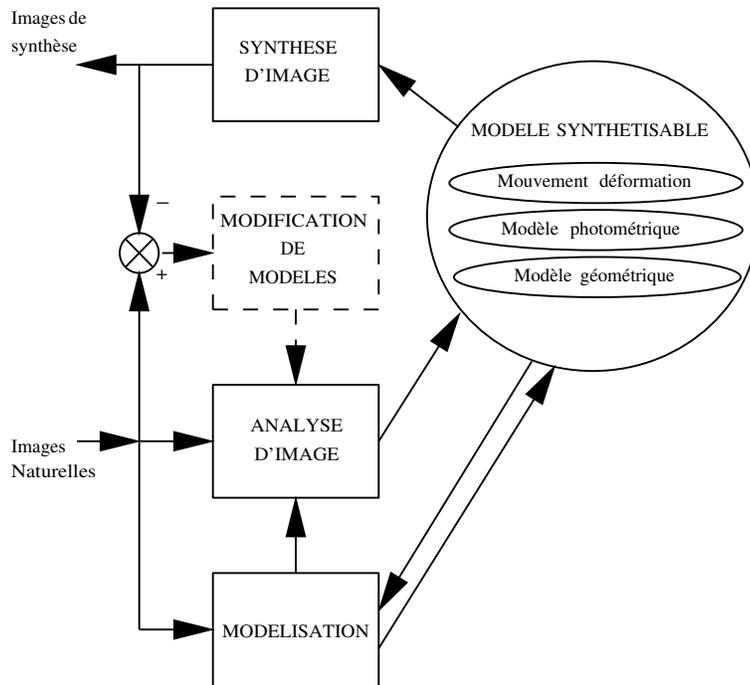


Figure 1 : Schéma conceptuel du thème de recherche

Dans SYNTIM, la recherche en infographie est orientée suivant deux axes : la modélisation¹ d'objets et de scènes tridimensionnelles par ordinateur, qui est un des axes forts du projet, ainsi que la synthèse d'images à partir des modèles produits (boîtes 1 et 4 du schéma de la figure 1).

La recherche en vision par ordinateur est surtout focalisée sur l'analyse d'images dans le sens de la production de modèles synthétisables de scènes à partir d'images naturelles ; une deuxième voie, encore peu développée,

¹les termes soulignés font référence aux données et procédures manipulées par le projet suivant le schéma de la figure 1

mais qui le sera d'avantage dans l'avenir, consiste à utiliser la différence entre images naturelles et images de synthèse pour piloter de manière automatique la modification de modèles qui doit guider la procédure d'analyse d'images pour l'obtention d'un modèle synthétisable de bonne qualité (visuelle). A l'heure actuelle, cette modification de modèles est essentiellement manuelle (pointillés). Ces deux activités sont représentées par les boîtes 2 et 3 du schéma de la figure 1 .

Les activités de SYNTIM en vision par ordinateur et en infographie semblent à priori très différentes. Ainsi, la lecture du chapitre 3, qui décrit les recherches dans chacun des quatre axes présentés auparavant (modélisation, synthèse d'image, analyse d'image, modification de modèle) pourrait donner une impression de dispersion totale sans la description, qui va suivre, des liaisons qui existent entre ces axes et qui sont visualisées par les flèches de la figure 1 .

Avant tout autre chose, il faut mentionner la notion de modèle synthétisable, qui est au cœur de l'activité de SYNTIM, qui en fait sa spécificité, et sa cohésion (voir la figure 1) : on peut dire que tout chercheur de SYNTIM créé ou manipule tout ou partie d'un modèle synthétisable. Nous appelons modèle synthétisable, un modèle d'objet ou de scène (réel ou pas) qui contient toute l'information nécessaire à la génération d'une image de cet objet ou de cette scène.

Un modèle synthétisable d'objet est formé de plusieurs éléments qui décrivent sa géométrie, sa photométrie : c'est-à-dire la manière dont la surface des objets réagit avec le rayonnement lumineux, (ceci peut inclure l'information de texture de cette surface), le mouvement (si l'objet est mobile) et la déformation (si celui-ci est déformable). La plupart du temps, c'est cette information complète qui est recherchée et manipulée dans SYNTIM, mais on ne s'interdit pas de n'en exploiter qu'une partie (modèle géométrique par exemple) suivant les applications.

Il s'avère que la production de modèles synthétisables ouvre la voie à de nombreuses applications (audiovisuel, CAO, jeux vidéo, réalité virtuelle, multimédia, téléprésence, services pour les autoroutes de l'information de demain...).

A SYNTIM, nous nous intéressons plus particulièrement à l'étude de modèles surfaciques et ceci de deux points de vue différents : l'infographie et la vision par ordinateur. Pour se faire, nous avons décidé de rendre compatibles les modèles synthétisables produits par les deux approches pour favoriser la coopération.

Du côté infographie, c'est une approche interactive développée autour du modéleur ACTION 3D, qui a été choisie et qui est symbolisée par la boîte modélisation de la figure 1. Cette approche est souvent utilisée pour modéliser des objets irréels (voir paragraphe 3.4).

Du côté vision par ordinateur, on s'intéresse plutôt à la modélisation de scènes naturelles et au développement de techniques plus automatiques utilisant en entrée des images de ces scènes (alors que l'entrée est la souris dans le monde interactif). Cette opération de modélisation (= production de modèles synthétisables) est effectuée par la procédure analyse d'image de la figure 1.

Ces deux modes sont en fait très complémentaires car la modélisation automatique est une technique d'analyse d'images à base de modèles géométriques produits interactivement par les infographistes. Il est également possible de corriger interactivement des erreurs issues de traitements automatiques. Réciproquement, la modélisation interactive peut être épaulée considérablement par l'adjonction de traitements automatiques.

Un exemple de coopération que nous désirons développer consiste à faire produire interactivement par la modélisation les modèles géométriques des différents objets susceptibles d'être présents dans une scène naturelle et faire exécuter de manière automatique par l'analyse d'image (paragraphe 3.1) la construction du modèle géométrique de toute la scène, ainsi que de son modèle photométrique en se servant des modèles géométriques des objets.

D'une manière plus générale, un des thèmes de recherche de SYNTIM consiste à développer et élargir les techniques de coopération analyse/synthèse dans le domaine de la production de modèles synthétisables (modélisation) de manière à obtenir des modèles de qualité, aisément constructibles.

La technique de synthèse d'images (paragraphe 3.3) développée dans SYNTIM est une autre source de collaboration analyse/synthèse dans SYNTIM. C'est à la base, un algorithme de rendu réaliste que l'on peut comparer à ceux étudiés dans les projets SIAMES ou IMAGIS, et qui permettent aux infographistes de produire des images de synthèse de grande qualité.

Mais ici, un accent particulier est mis sur le fait de produire des images de synthèse aussi proches que possible d'images naturelles en utilisant

les modèles synthétisables les plus simples possibles. De plus cet algorithme accepte en entrée aussi bien des données issues de la modélisation (infographie) que des données issues de la procédure d'analyse d'images. Ainsi, par l'intermédiaire des modèles synthétisables, il devient aisé de mélanger images naturelles et images de synthèse.

Le problème le plus complexe abordé par SYNTIM consiste à produire des modèles synthétisables à partir d'images naturelles, comme cela a été mentionné précédemment. Le seul problème qui a été traité jusqu'à présent, concerne le cas de scènes d'intérieur assez polyédriques, ne comprenant pas d'objets complexes ou trop nombreux, dans le cas statique (pas de mouvement, ou de déformations). Le problème traité consiste, à partir d'une paire stéréo d'images naturelles, à produire un modèle géométrique et photométrique de cette scène.

Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de faire intervenir ensemble les quatre procédures de la figure 1 (coopération maximale). Tout d'abord, on demande à la modélisation de fournir interactivement un modèle géométrique (polyédrique) du monde (approche globale). Ensuite la procédure d'analyse d'images (paragraphe 3.1) est mise en action. Celle-ci a pour but de déterminer la portion de cette base de données géométrique qui est présente sur la paire stéréo ainsi que la position des deux caméras par rapport à cette scène. Ce problème étant résolu, il reste à déterminer le modèle photométrique associé aux différents objets perçus par les caméras.

Pour vérifier la qualité du modèle synthétisable obtenu, la procédure synthèse d'images (paragraphe 3.3) est activée et la comparaison des images synthétiques et naturelles est effectuée automatiquement par la procédure modification de modèle (voir le paragraphe 3.2) pour positionner au mieux le modèle géométrique, manuellement quant au choix du type de modèle photométrique choisi (lambertien, ou spéculaire, etc...) et enfin automatiquement pour la détermination des valeurs des paramètres photométriques relatifs à un type de modèle photométrique donné.

Après avoir montré les imbrications existant entre les axes de recherche de SYNTIM (et visualisées par les flèches de la figure 1), passons maintenant à la description des actions de recherche produits dans ce cadre en 1994.

3 Actions de recherche

3.1 En Analyse d'images (supervisées par André Gagalowicz, Olivier Monga, Donald Geman, Georges Stamon, Nozha Boujemaa)

Cette partie correspond à la procédure du même nom de la figure 1. Elle a pour but ultime de produire des modèles synthétisables à partir de la donnée d'images naturelles. Nous avons choisi une présentation des divers points, liés à la succession des opérations mises en œuvre.

3.1.1 Calibration de caméras par approche radiométrique

Participants : Jean-Philippe Tarel, André Gagalowicz

Il est utile, pour faciliter l'analyse de paires d'images de connaître la physique du capteur qui les fournit. En particulier, il est important d'avoir les caractéristiques géométriques et radiométriques de la caméra. Cette étape préliminaire spécifie les conditions de prise de vue lors de l'obtention des images naturelles. Ce sont ces données qui seront utilisées dans l'étape de reconstruction de facettes 3D du paragraphe 3.1.3. La modélisation géométrique du capteur et les méthodes d'estimation de ses paramètres décrites dans les rapports précédents a donné lieu à une publication [23].

Pour compléter cette étude, nous nous sommes intéressés à la partie radiométrique de la calibration. Des expérimentations avec un objectif à focale variable Canon J15, ont permis d'observer que :

- la distribution de l'affaiblissement radiométrique produit par le système de lentille est difficile à modéliser de part sa forme,
- un changement de zoom produit des variations importantes de la répartition de l'affaiblissement sur la rétine.

Ces expériences témoignent de la difficulté d'une modélisation théorique des corrections à apporter pour avoir une image bien calibrée photométriquement. Une méthode de correction radiométrique à partir d'images de référence d'un fond gris uniforme a donc été mise en place. Cette méthode permet de réduire l'écart de radiométrie entre les pixels de la rétine de 5% à 1%.

3.1.2 Segmentation floue dans l'espace des couleurs

Participants : Monika Gorkani, Nozha Boujemaa

La segmentation des images est à proprement parler la première étape de l'analyse d'images. Le but est de partitionner une image (ou une paire stéréo) en régions telles qu'elles correspondent autant que ce peu à la projection des objets de la scène sur ces images. On utilise des propriétés de similarité de couleur pour effectuer cette segmentation.

La couleur est une information très riche pour la résolution de nombreux problèmes en analyse d'images tel que la segmentation et la localisation des ombres. Etant donné qu'il s'agit d'une information typiquement graduelle, nous avons essayé de la modéliser par une approche fondée sur la théorie des ensembles flous, adaptée à la manipulation de ce type d'information. Nous avons développé un algorithme dérivé de celui qui a été décrit dans [9] de façon qu'il soit capable de considérer à la fois les trois composantes couleur d'un pixel donné. De nombreuses représentations de l'information de couleur existent, telles que RGB, YIQ et RGB normalisée.

Nous avons testé ce nouvel algorithme sur des images couleurs contenant des objets polyédriques ainsi que des objets non-planaires. En utilisant les coordonnées RGB normalisées, les résultats obtenus à l'aide de cet opérateur, sont illustrés par deux exemples (figure 2 : segmentation d'objets polyédriques, figure 3 : segmentation d'objets non polyédriques).

Dans les deux cas, l'objet est bien séparé à la fois du fond de l'image et de son ombre. Notons qu'il s'agit bien d'une segmentation photométrique et non géométrique de l'objet. Nous soulignons que tous les résultats montrés n'ont subi aucun post-traitement d'élimination ou de fusion des petites régions.

Les résultats obtenus nous paraissent très encourageants et nous amènent à aller d'avantage dans le sens de l'exploitation de l'information contextuelle et graduelle dans l'espace des couleurs, que fournit la modélisation par les ensembles flous.

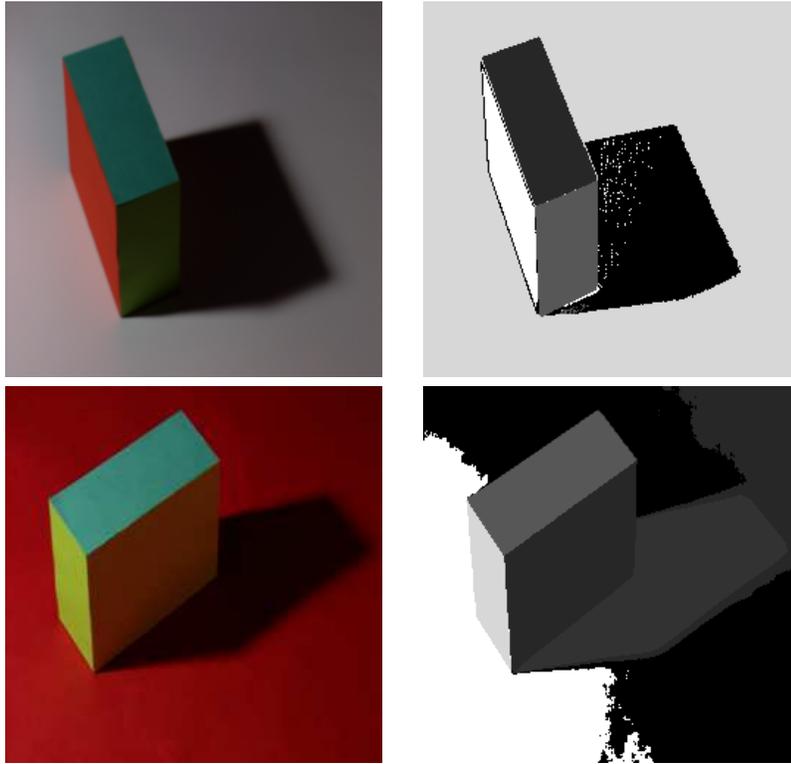


Figure 2 : Images originales et segmentées.

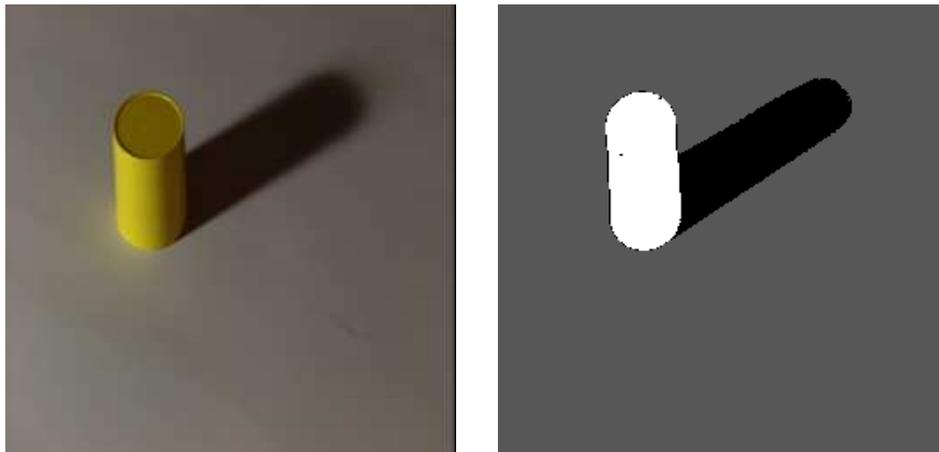


Figure 3 : Image originale d'objet non planaire et sa segmentation du fond

3.1.3 Reconstruction de facettes 3D par approche régionale

Participants : Jean-Marc Vezien, Jean-Philippe Tarel, André Gagalowicz

Après la segmentation des deux images d'un couple stéréo, on met en correspondance des régions de l'image gauche et de l'image droite qui sont issues du même objet 3D (on a utilisé des résultats de recherche passés). Cette étape de reconstruction a pour objet de prendre chacun des couples de régions mis en correspondance et d'utiliser les données de calibration du paragraphe 3.1.1 pour construire la facette plane 3D (hypothèse polyédrique) se projetant exactement sur les deux régions.

Poursuivant la recherche d'algorithmes de reconstruction de surfaces planes (caractérisées par une équation $z = px + qy + c$) à partir de paires de régions segmentées dans des couples stéréo calibrées, plusieurs algorithmes ont été implantés :

- L'algorithme introduit en 91, utilisant les moments géométriques d'ordre 0, 1 et 2, et s'appuyant sur l'approximation orthographique de la projection a été étendu au modèle paraperspective, plus précis. La mise en correspondance des moments des projections images de chaque facette 3D fournit un système linéaire en ses paramètres (p, q, c) dans le cas d'une géométrie purement translative, et nécessite la résolution d'un système du troisième degré dans le cas général.
- Un algorithme de nature textuelle a été mis au point : les deux régions d'un appariement sont d'abord caractérisées par leur carte d'autocorrélation. Une fonction **globale** de coût de mise en correspondance entre autocorrélations, dépendant de la position 3D du plan solution, est proposée. Sa minimisation par une technique itérative de gradient classique (routine de Powell) fournit les coefficients p, q de la normale à la surface. La position c du plan est obtenue par mise en correspondance explicite des centres de gravité des deux régions appariées. Là encore, une version s'appuyant sur l'approximation paraperspective de la projection a été implantée.
- Une méthode exacte a été développée pour des paires rectifiées. Elle utilise les moments dans la version géométrique et le gradient des régions dans la version photométrique. En travaillant dans l'espace des disparités et non directement dans l'espace 3D réel,

la reconstruction avec un couple rectifié non calibré est possible. La reconstruction métrique se déduit aisément si la calibration est connue. Les tests montrent une bonne précision de l'algorithme ainsi qu'une bonne robustesse au bruit et aux erreurs de segmentation (figure 4).

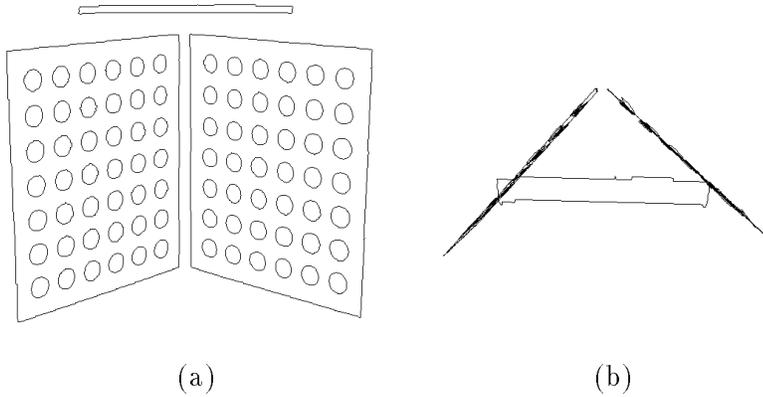


Figure 4 : Reconstruction de la mire à deux faces en vue de face (a), et de dessus (b). Remarquer l'alignement des facettes reconstruites.

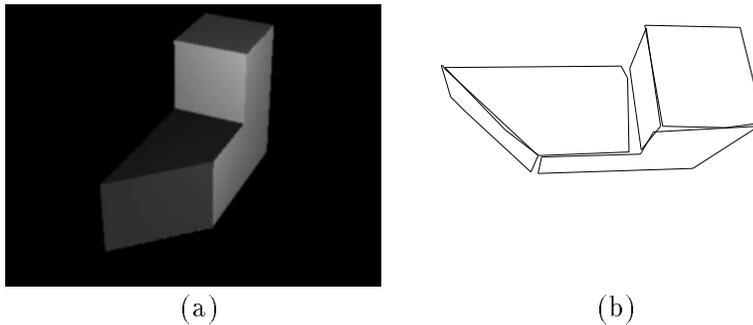


Figure 5 : (a) Un objet polyédrique de synthèse et (b) sa reconstruction 3D vue d'en haut.

D'autres exemples de reconstruction issues des différents algorithmes sont visibles figures 5 et 7.

3.1.4 Recalage d'objets 3D

Participants : Jean-Marc Vezien, Jean-Philippe Tarel, Nozha Boujemaa, Guillaume Jandot

Cette étape suit l'étape de reconstruction du paragraphe précédent. Nous rappelons que la procédure d'analyse d'images investiguée par SYNTIM est une technique d'analyse à base de modèles. Ainsi, nous avons à notre disposition l'ensemble des modèles 3D des objets susceptibles d'être présents dans la scène. De plus, grâce à l'étape précédente, nous disposons d'un ensemble de facettes planes détectées lors de l'analyse. Le but est ici de retrouver les objets (par leur modèles) présents dans la scène en mettant en correspondance des facettes détectées avec des facettes (à trouver) appartenant à l'un ou l'autre de ces modèles.

- Un algorithme dérivé de la méthode de recalage ICP [13] a été ainsi étudié. Il s'agit d'un algorithme itératif calculant à chaque pas une mise en correspondance de chaque point de donnée avec le point le plus proche du modèle à positionner. Cette correspondance permet le calcul d'un déplacement optimal au sens des moindres carrés. L'algorithme reitère les deux étapes mise en correspondance/recalage jusqu'à ce que l'erreur résiduelle soit stable. A partir d'une pose initiale, une telle procédure converge systématiquement vers le plus proche minimum local. Afin d'assurer l'obtention du minimum global, une représentation à base de quaternions est utilisée pour tester différentes positions initiales du modèle.

L'adaptation au cas du recalage sur des reconstructions bruitées et incomplètes (l'objet n'est vu que partiellement, alors que le modèle est supposé exhaustif) consiste à analyser statistiquement les mises en correspondance à chaque étape de l'algorithme pour ne retenir que les plus robustes. Cette méthode a l'avantage de permettre le recalage d'un modèle d'objet isolé dans une scène complexe, puisque les fausses mises en correspondance sont alors en grande partie ignorées. La procédure complète reste coûteuse en temps de calcul, mais est implantée sur la machine parallèle KSR. Les temps de calcul sont de l'ordre de deux à trois minutes.

- Les méthodes de classification floue, de part leur robustesse, peuvent fournir un outil intéressant pour la reconnaissance 3D. Une étude sur l'apport de ces méthodes a débuté. Différents

algorithmes qui semblent adaptés au recalage 3D comme celui de Gustafson-Kessel ou Dave, sont actuellement testés sur des données réelles.

Les figures 6 et 7 montrent le résultat de recalages de modèles polyédriques ou localement approximés par des polyèdres, sur des images d'intérieur.

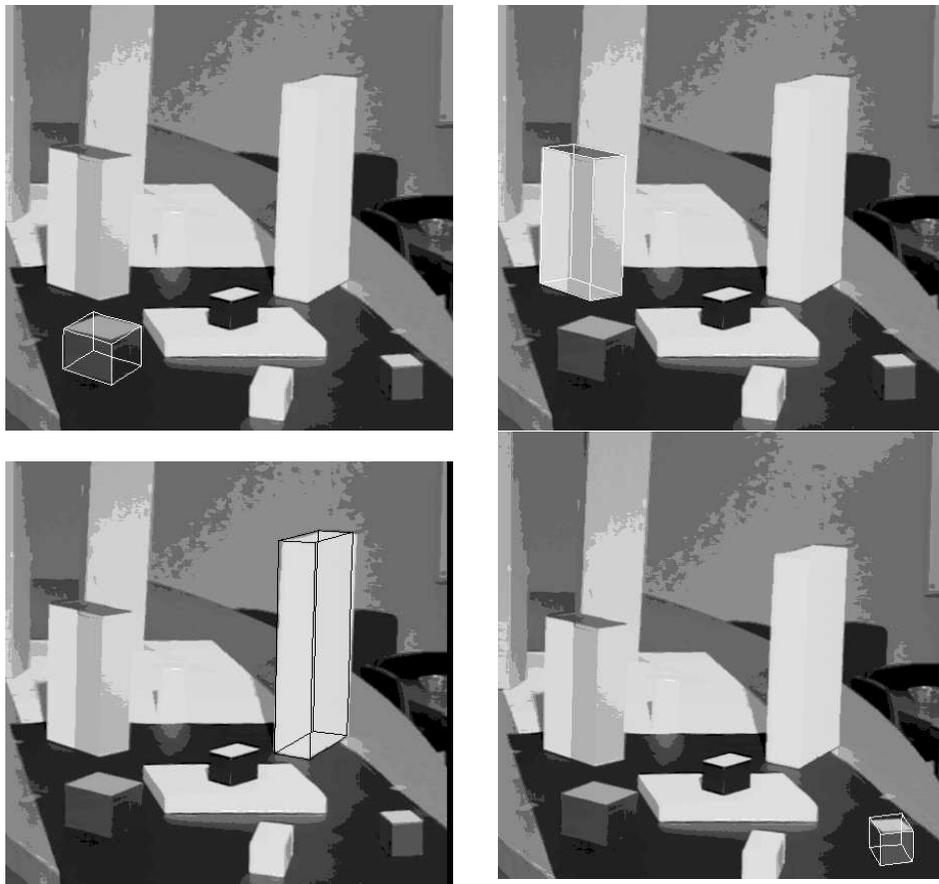
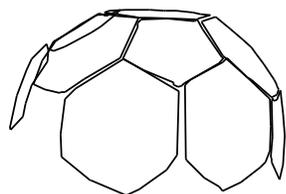
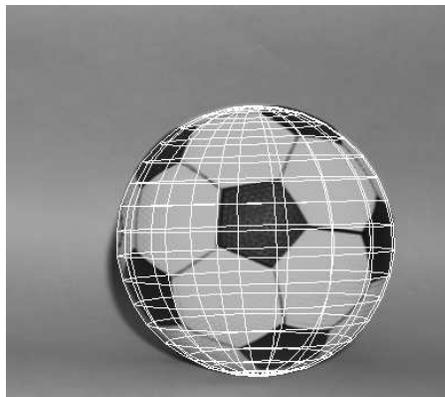


Figure 6 : Recalage de polyèdres dans une scène complexe par ICP robuste.



(a)



(b)

Figure 7 : Recalage d'une sphère sur un ballon de football. Les primitives reconstruites sont les hexagones et pentagones (a), alors que la sphère est polygonalisée par le système parallèles-méridiens (superposition sur l'image réelle en (b)).

3.1.5 Localisation de Sources Lumineuses et Analyse Photométrique

Participants : Andrew Ackah-Miezan, Véronique Serfaty

Notre approche en analyse d'images nous conduit à estimer les caractéristiques photométriques des objets de la scène analysée. Cette étude consiste à proposer un modèle de synthèse, d'en estimer les paramètres, puis de les valider en comparant les images générées aux images originales. Nous avons introduit (voir rapport d'activité 93) un modèle d'illumination permettant de prendre en compte les dégradés d'intensité lumineuse sur les surfaces de la scène. A partir de ce modèle, nous pouvons pour une facette donnée, calculer la position de la source lumineuse principale. Les paramètres de la source sont estimés par un procédure de minimisation d'un critère de moindres carrés. Nous avons introduit dans le processus des contraintes géométriques sur la position initiale de la source lumineuse, qui tiennent compte de la position, de l'orientation et de la distribution d'intensité lumineuse sur chaque facette du modèle. Nous avons aussi proposé une normalisation de la distribution

permettant de prendre en compte de façon plus homogène l'estimation effectuée sur plusieurs facettes de la scène.

3.1.6 Caractérisation de surfaces gauches à partir d'images

Participants : Olivier Monga, Richard Lengagne, Ivan Bricault, Véronique Prinnet, Nasser Armande², Richard Lengagne, Rachid Deriche³, Pascal Fua

.

Le problème de l'analyse d'images dans le cas de scènes non polyédriques est un problème non résolu, très difficile. La recherche présentée ici vise à fournir des outils de base pour aborder ultérieurement ce problème.

L'objectif de cette recherche est de caractériser des surfaces gauches à partir d'images. Même si chaque type d'image amène des spécificités, on verra que ces problèmes peuvent être abordés avec des outils assez similaires. On verra aussi que cette approche permet d'extraire des images de niveaux de gris des indices visuels non pris en compte par les algorithmes classiques.

Les types d'images traitées sont :

- images volumiques provenant du domaine médical $I(x, y, z)$;
- cartes de profondeur obtenues par exemple par vision stéréoscopique : $p(x, y, z)$;
- images de niveau de gris $I(x, y)$ définissant une surface $(x, y, I(x, y))$

Les problèmes génériques mis en jeu sont :

- extraction de caractéristiques différentielles à partir de traces discrètes de surfaces ;
- approximation de surfaces avec des modèles paramétriques.

On s'intéresse tout d'abord à l'extraction de lignes de crêtes dans des images volumiques médicales avec une approche multi-résolution [22, 21].

Ce sujet est la continuation du travail décrit pages 8 et 9 du rapport d'activités 1993. Son objet est donc de proposer une approche multi-

²EERIE Nîmes

³INRIA-Sophia Antipolis

échelle pour la détection de lignes de crête (voir rapports d'activités 1991 et 1992) d'une surface dans des images volumiques.

De manière à fusionner les résultats obtenus à différentes échelles, nous introduisons un graphe d'adjacence multi-échelle défini de la manière suivante :

- chaque nœud du graphe correspond à un point détecté comme point de crête pour au moins une échelle ;
- les attributs associés à chaque point sont :
 - les coordonnées du point $3D$ correspondant ;
 - les valeurs des échelles pour lesquelles ce point est un point de crête ;
 - les caractéristiques différentielles extraites pour toutes les échelles ;
 - une arête joignant deux nœuds définie si et seulement si les deux points correspondants sont voisins en 26-connexité.

Cette représentation permet d'introduire aisément des critères morphologiques pour détecter les lignes de crête. La figure 8 montre des résultats obtenus sur deux images $3D$ obtenues par scanner X d'un même crâne dans deux positions différentes (position A et position B). Ce travail est décrit dans les références suivantes [22, 21].

De nombreux capteurs (capteurs lasers, vision stéréoscopique...) produisent des images $2D$ représentant des cartes de profondeur. Ces images $2D$ fournissent un paramétrage naturel de la surface qui peut être mis à profit pour extraire ses caractéristiques différentielles. Ainsi, nous avons adapté les algorithmes d'extraction de lignes de crêtes développés auparavant (voir section précédente) pour les images volumiques à ce type de données. Nous obtenons ainsi une caractérisation des lignes de crêtes à partir des dérivées partielles d'ordre 1, 2, 3 des images. De la même manière, le résultat dépend de la largeur des filtres utilisés. La spécificité ici est que le paramétrage défini par la carte de profondeur conditionne le lissage des données. On a donc introduit un filtrage adaptatif où la largeur des filtres de dérivation dépend du gradient de l'image. Cette approche permet d'obtenir un lissage des données moins lié à la position du capteur au moment de la prise de mesure. Cet algorithme a été testé sur des cartes de profondeur représentant des visages obtenus par

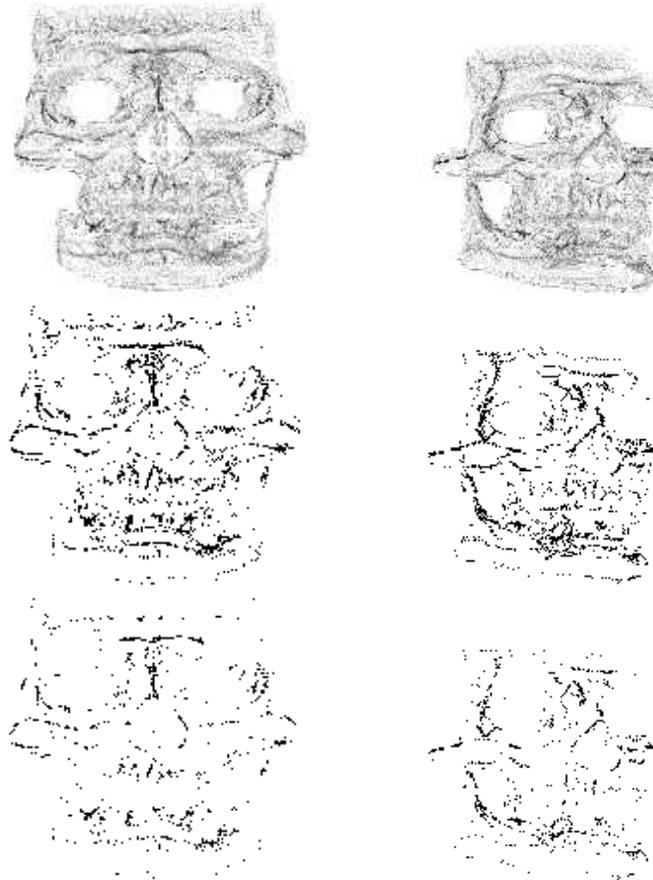


Figure 8 : En haut : vues en perspective correspondant aux positions A (gauche) et B (droite) où le niveau de gris correspond au nombre d'échelles telles que le point est un point de crête ; milieu : vues en perspective correspondant aux positions A (gauche) et B (droite) où seuls les points qui sont points de crête pour au moins 4 échelles sont marqués; en bas : vues en perspective correspondant aux positions A (gauche) et B (droite) où seuls les points qui sont points de crête pour au moins 5 échelles sont marqués.

Vision Stéréoscopique. Ces cartes de profondeur nous ont été fournies par Pascal Fua du Stanford Research Institute.

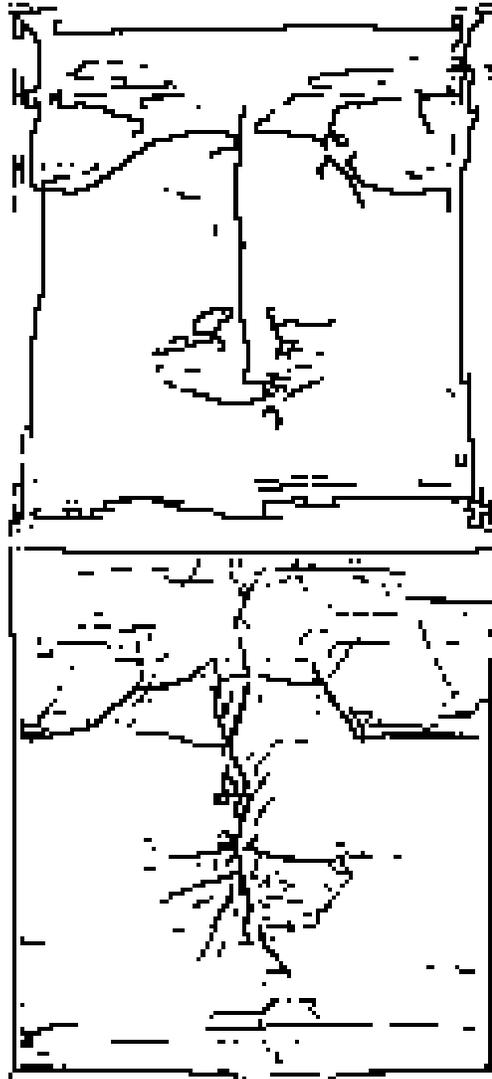


Figure 9 : Extrema de la courbure maximale (Bernard) obtenues par différentes méthodes : en haut: par filtrage adaptatif; en bas : avec $\sigma_x = \sigma_y = 2$.

Dans beaucoup de cas, les singularités différentielles des surfaces fournissent seulement une description partielle des formes qui est insuffisante

pour certaines applications comme l'extraction de paramètres de formes, la localisation, la fusion multi-capteurs... La suite de notre travail est consacrée à l'étape de modélisation des surfaces, c'est-à-dire l'approximation avec des modèles paramétriques. Nous avons choisi les surfaces quadriques par morceaux [10]. Des travaux ont déjà été réalisés en particulier par Faugeras et Hébert (1985) sur la segmentation de cartes de profondeur en quadriques par morceau à l'aide d'un algorithme de croissance de régions contrôlée par les erreurs d'approximation. La contribution de notre approche est d'utiliser aussi des lignes caractéristiques pré-calculées telles que les lignes de crêtes, le maillage extrême et les lignes paraboliques pour guider la croissance de surface. Nous évitons ainsi les instabilités des critères d'approximation au voisinage des discontinuités de la courbure. Nous utilisons aussi un algorithme optimal de croissance de régions développé par ailleurs au lieu de la stratégie sous-optimale de Faugeras et Hébert. Le résultat final est un étiquetage de la surface en termes de morceaux de quadriques. La stabilité de cette représentation permet de l'utiliser par exemple pour le recalage et l'identification de sous-structures (voir figure 10).

3.1.7 Extraction des réseaux autoroutiers à partir des images du satellite SPOT d'observation de la terre

Participants : Bruno Jedynak, Donald Geman, Jean-Philippe Rozé, Ivan Keller

Cette action est à part à l'intérieur du projet SYNTIM et correspond à la continuation d'un contrat de longue date avec le CNES que celui-ci voudrait finaliser pour rentabiliser son investissement.

Nous avons développé cette année un algorithme original de suivi des réseaux routiers principaux dans les images de la Terre de très grande taille (1024x1024 pixels à 7000x7000 pixels environ) obtenues à l'aide du satellite d'observation SPOT.

Cet algorithme est capable, à partir d'un point de départ et d'une direction sur une route principale, spécifiés par l'utilisateur, de détecter l'ensemble ou, éventuellement, une partie de cette route.

Ce travail s'inscrit dans la continuation d'une étude menée avec Donald Geman (Professeur invité à l'INRIA) depuis plusieurs années portant sur la problématique générale de la reconnaissance de formes dans une image. Cette étude nous a conduit à formuler le problème de l'identi-



Figure 10 : 4 sections de la machoire supérieure, première orientation ; pour chaque coupe, on visualise en plus foncé une quadrique présente aussi sur les autres coupes.

cation des réseaux sous la forme d'un *jeu statistique contre l'image* (voir [24] et [26]). L'algorithme résultant est séquentiel et adaptatif. Il s'agit, à chaque étape du processus, de se concentrer sur la zone de l'image qui, potentiellement, permet de réduire le plus possible l'incertitude sur la position de la route.

Nous avons de plus développé une plateforme de travail en C++ qui nous permet de simuler le comportement de l'algorithme.

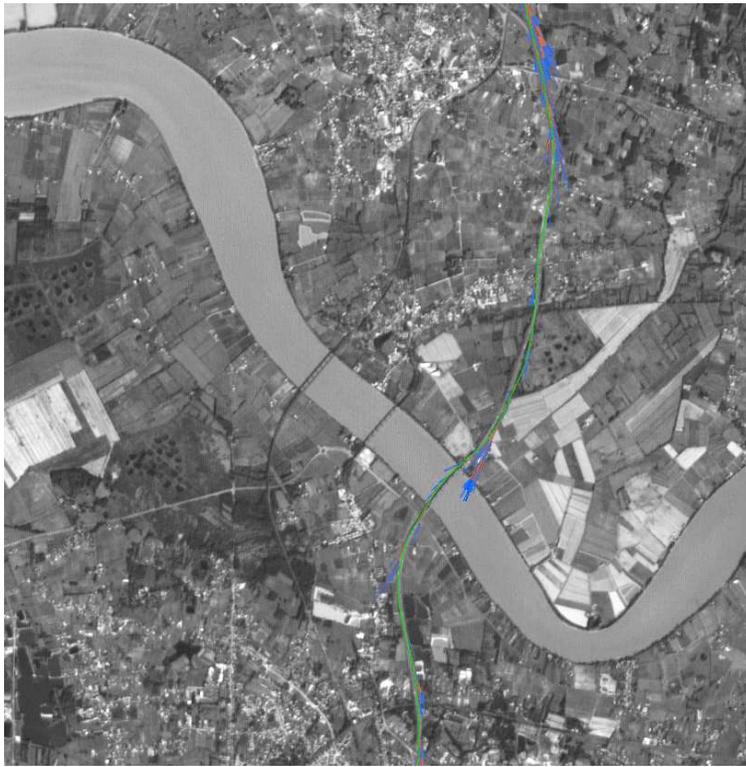


Figure 11 : Résultat d'un algorithme séquentiel de suivi de réseaux extrait d'une scène complète SPOT (6013x7640 pixels) de la région de Bordeaux. Les segments de couleur correspondent à des zones de l'image sélectionnées automatiquement pour tester la présence d'une route. Les couleurs rouges indiquent que le test est positif, les couleurs bleus que le test est négatif. En vert, la route extraite.

3.2 En modification de modèles

Ce paragraphe correspond à l'activité de la procédure du même nom dans le schéma de la figure 1.

3.2.1 Recalage 3D/2D

Participants : Jean-Philippe Tarel, Andrew Ackah-Miezan, Monika Gorkani, André Gagalowicz

On appelle recalage 3D/2D, le recalage géométrique de modèles 3D d'objets d'une scène effectuée directement sur des images (2D) de cette scène. Le positionnement géométrique des objets est modifié automatiquement grâce au retour sur image (voir la figure 1).

À partir du recalage 3D décrit dans la section 3.1.4, plusieurs méthodes de raffinement du recalage des objets 3D reconnus de la scène ont été développées. Ces méthodes permettent d'envisager de faire du suivi de modèle 3D dans une séquence d'images.

- Une méthode de recalage 3D/2D par recouvrement de région a été développée qui présente deux avantages : elle est plus robuste que la méthode basée sur les sommets des régions développée l'année dernière, et elle est plus générale car non contrainte par la forme des régions. La méthode est itérative et s'imbrique dans un processus de mise en correspondance facettes/régions. Le recalage du modèle 3D est réalisé sur la segmentation.
- La minimisation sur la position du modèle, d'une énergie traduisant la différence entre l'image brute et l'image générée par la reprojection permet de raffiner encore le recalage. Dans cette approche, les régions de la reprojection sont d'intensité constante car les facettes 3D sont supposées lambertiennes et éclairées à l'infini.
- Une méthode de recalage 3D/2D par minimisation d'une énergie de contour présente d'autres avantages : elle ne nécessite que le modèle 3D et l'image originale sur laquelle on calcule le potentiel. Il s'agit en effet de trouver la position du modèle minimisant le potentiel le long de son contour projeté. La méthode n'impose pas de contraintes sur la forme des modèles à recaler, ni sur leur nombre. La méthode n'utilise pas, non plus, de correspondances explicitées a priori.

3.3 En Synthèse d'images

Cette recherche correspond à la procédure du même nom sur le schéma de la figure 1. L'objectif est ici de produire des images de synthèse à partir de la donnée de modèles synthétisables.

3.3.1 Réalité Enrichie par Synthèse

Participants : Pierre Jancène, Fabrice Neyret, Xavier Provot, Jean-Philippe Tarel

La Réalité Enrichie par Synthèse, également connue sous les noms de Synthetic TV et de Réalité Augmentée, désigne l'art d'automatiser le mélange d'objets de synthèse et d'objets réels dans une même séquence d'images animées. Cette activité assez récente fait intervenir des compétences dans les deux domaines de l'analyse et de la synthèse d'images. Elle est novatrice et s'inscrit dans la problématique du projet. Elle est rendue possible par la production de modèles synthétisables compatibles issus de l'analyse et de la synthèse.

L'objectif visé est de faire interagir des objets de synthèse et les objets que l'on peut identifier dans une image réelle ou une séquence d'images réelles. Le processus se déroule en plusieurs étapes :

- analyse d'une paire d'images stéréoscopiques réelles visant à produire un modèle 3D des objets figurant dans la scène : calibration de la caméra, segmentation de l'image en régions, mise en correspondance entre les images gauche et droite, reconstruction 3D, recalage avec le modèle 3D des objets de la scène,
- insertion des objets recalés et de la caméra dans la base de données du modeleur géométrique et d'animation Action-3D,
- addition des objets de synthèse, éventuellement animés, et des sources de lumière dans la même base de données,
- synthèse de l'image de ces objets tenant compte de la présence des objets 3D recalés notamment en ce qui concerne les occultations partielles ou totales et le calcul des ombres portées,
- composition de l'image de synthèse et de l'image réelle correspondante saisie par la caméra.

Une première maquette a été réalisée avec pour but principal de montrer la faisabilité d'un tel processus. Les images suivantes sont tirées

de la bande de démonstration ([32]) résultat de cette maquette. Dans l'image enrichie du premier exemple, les objets de synthèse projettent leur ombre sur l'objet réel figurant dans la scène qui, de plus, a été rendu réfléchissant. Dans le second exemple, des objets de synthèse déformables animés interagissent avec l'objet réel, notamment la nappe rouge qui vient s'appuyer sur l'objet réel qui la masque partiellement.

Parmi les travaux futurs on peut citer : l'amélioration du temps de calcul des images, la détermination automatique de la position des sources lumineuses par une analyse photométrique des images et la prise en compte des textures des objets réels.

3.3.2 Synthèse d'Images Réalistes: Vers une Collaboration Analyse/Synthèse

Participants : Laroussi Doghman, André Gagalowicz

L'objectif poursuivi tout au long de ce travail a été de simuler le plus fidèlement possible l'éclairage de scène d'intérieur (modèle géométrique provenant de l'analyse d'image). L'utilisation de la physique et de la photométrie ont permis d'établir un modèle d'illumination global, décrivant les mécanismes d'interaction de la lumière avec les surfaces d'un environnement. L'approche proposée est fondée sur un certain nombre de concepts importants pour leur robustesse et leur simplicité :

- Le lancer de faisceaux remplace le concept du rayon infinitésimal, utilisé en "ray-tracing", par un rayon volumique.
- Le concept de la radiosité progressive permet de réduire le temps de calcul par rapport à la radiosité classique, ainsi que d'adapter ce temps à la précision souhaitée.
- Nous utilisons une subdivision adaptative concentrant les calculs de l'illumination aux endroits de forte complexité.
- Nous proposons également une méthode d'antialiasage combinant les techniques dite "des fragments" et de l'intégration stochastique par importance.
- Nous avons utilisé plusieurs formes de cohérence de données : *la cohérence de l'espace objet* (partition de l'espace objet en arbre BSP) et *la cohérence de l'espace image* (algorithmes projectif incrémentaux).

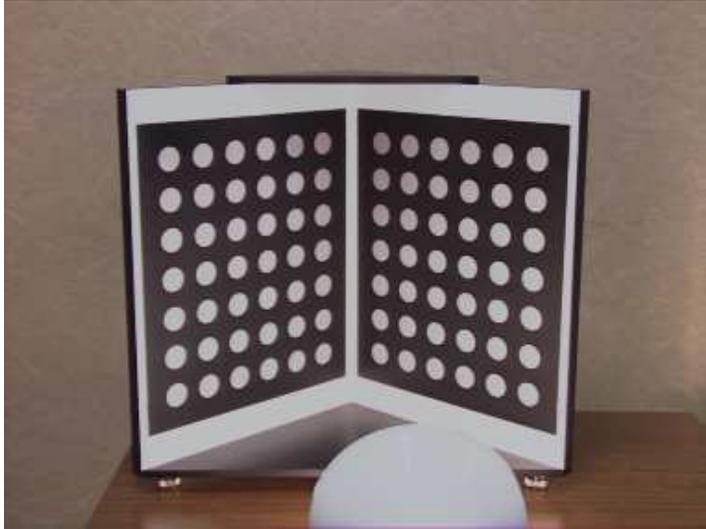


Image réelle

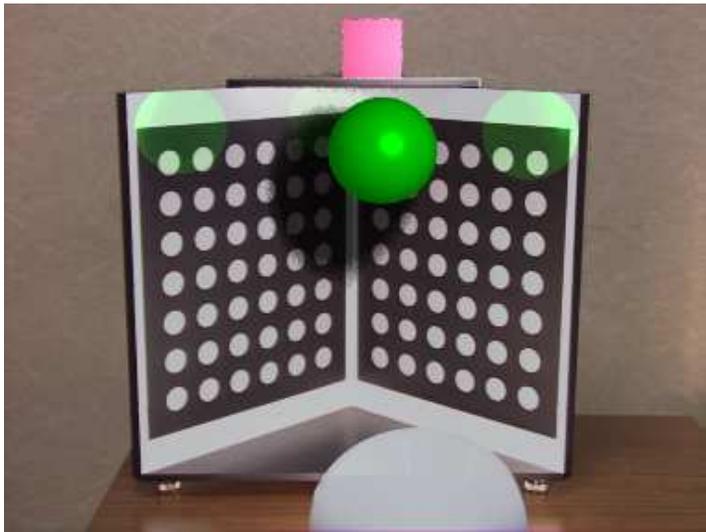


Image enrichie

Figure 12 : Réalité enrichie par synthèse : ombres portées, réflexions

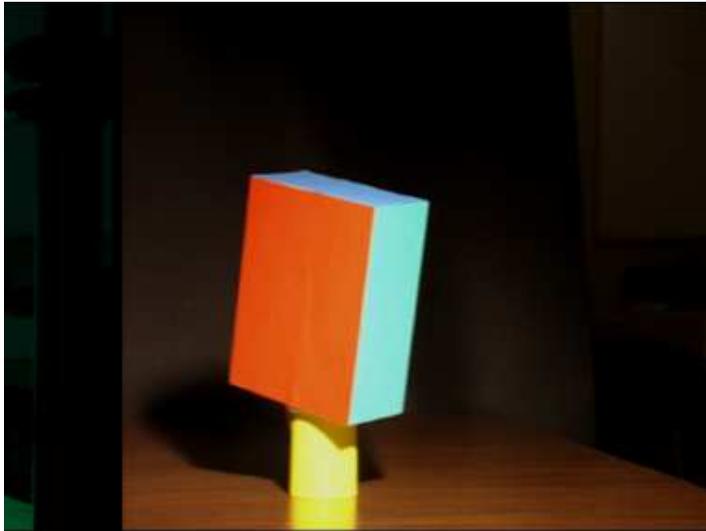


Image réelle

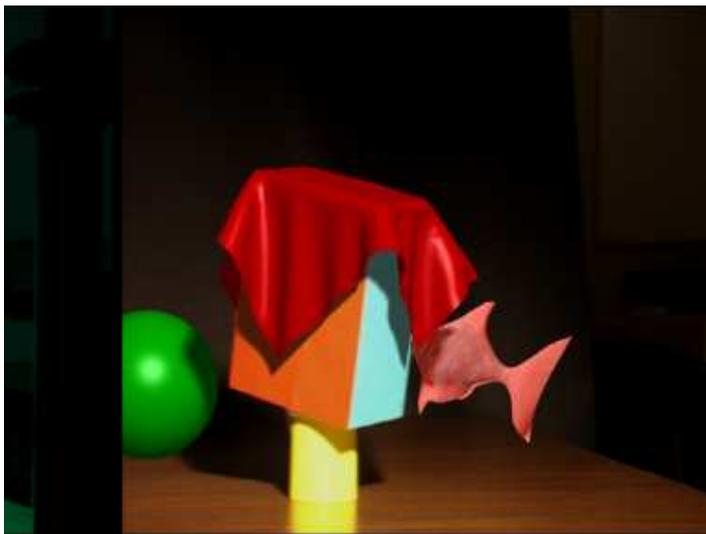


Image enrichie

Figure 13 : Réalité enrichie par synthèse : collisions, occultations

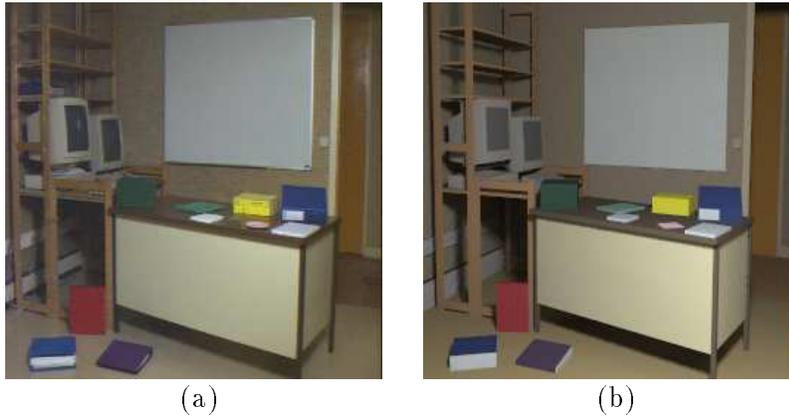


Figure 14 : Résultat de la collaboration Analyse/Synthèse sur une scène complexe : image originale (a) et image synthèse (b).

En outre, nous proposons une approche de collaboration entre les modèles d'analyse et de synthèse, en abordant plus particulièrement, le problème inverse du rendu réaliste. C'est-à-dire, l'inversion du processus de synthèse : à partir d'une paire stéréo naturelle, estimer les paramètres photométriques des objets présents dans l'environnement tel que l'émittance des sources de lumière, leurs positions, ainsi que leurs réflectances, en utilisant les propres heuristiques du modèle de synthèse (notre approche de la simulation d'éclairage). Des premiers résultats ont été obtenus pour des scènes composées de surfaces diffuses (figure 14).

3.3.3 Analyse/synthèse dynamique de séquences d'images

Participant : Jean Louchet

Cette recherche concerne en fait les procédures analyse d'images et synthèse d'images du schéma de la figure 1 La coopération vision-synthèse a été jusqu'ici principalement abordée sous les aspects géométrique et photométrique. Nous abordons ici le problème du mouvement et de la déformation dans les séquences d'images, sous le double point de vue de la vision et de la synthèse d'images. Du point de vue de la synthèse d'images, le réalisme du mouvement est souvent une condition importante de la qualité globale de la scène synthétisée. De même qu'en photométrie, ce réalisme visuel s'appuie sur la prise en compte de lois physiques. L'un des objectifs à long terme est de munir l'animateur

d'outils de modélisation physique du mouvement, de manière à l'assister dans la construction de séquences d'images physiquement réalisables, et à ne plus confier au seul sens visuel l'appréciation de cette réalisabilité. D'autre part, toujours en quête de réalisme, il importe de pouvoir identifier de tels modèles à partir de séquences d'images naturelles. Ceci revient à aborder le problème, bien connu en vision, de l'analyse du mouvement, non plus en termes cinématiques mais en termes physiques : le résultat d'une telle analyse du mouvement ne doit plus être un champ de vitesses ou une famille de trajectoires, mais un modèle mécanique (masses, interactions...) des objets présents dans la scène.

Les contraintes symétriques de la synthèse (simulation mécanique) et de la vision (identification de modèle mécanique) nous a conduit à choisir un modèle physique d'animation à base de particules munies de masses, et d'interactions représentées par un modèle énergétique.

Les travaux ont porté cette année essentiellement sur l'identification automatique d'un système de ressorts linéaires et torsionnels à partir des données cinématiques 3D de synthèse, les masses étant supposées connues. Le problème se ramène à la minimisation d'une fonction de coût.

La fonction de coût associée à un modèle physique est calculée à partir des différences entre trajectoires réelles des particules et trajectoires prédites par le modèle. Cette fonction de coût ne se prêtant ni à une résolution analytique ni aux méthodes classiques d'optimisation numérique, nous avons développé une stratégie évolutive dans laquelle la population de modèles évolue par des processus de mutation, croisements et sélection. L'originalité de l'algorithme développé est l'utilisation de fonctions de coût multiples (une particule) dans les processus de croisement et de sélection, la fonction de coût globale étant la somme des fonctions de coût locales. Cela permet, en exploitant la topologie de la structure de particules, d'obtenir la convergence du processus évolutif en un nombre de générations indépendant de la complexité de l'objet à modéliser.

3.4 En modélisation (supervisées par Sabine Coquillart, Pierre Jancène et Anne Verroust)

Cette recherche correspond à la procédure de même nom sur le schéma de la figure 1 et a pour objectif de produire de manière simple et précise des modèles surtout géométriques et d'animation (composantes de modèles synthétisables).

3.4.1 Composition d'objets tridimensionnels

Participant : Philippe Decaudin

L'objectif de l'étude menée ici est de créer des formes tridimensionnelles complexes en *composant* des objets tridimensionnels simples ou en les *déformant*. Nous proposons une nouvelle technique de composition qui permet de *fusionner* plusieurs objets tridimensionnels qui s'intersectent (la figure 15 montre un bras obtenu en composant plusieurs ellipsoïdes). Cette composition est basée sur la conservation du volume [11] et peut s'appliquer à des objets décrits par une approximation polyédrique de leurs surfaces. Elle permet de créer, de déformer et d'animer des objets tridimensionnels complexes de façon particulièrement intuitive. De plus, elle permet de métamorphoser un objet en un autre.

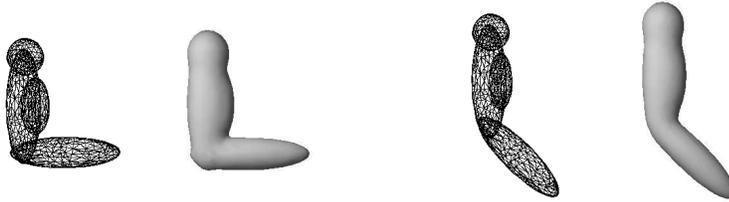


Figure 15 : Bras créé en composant plusieurs ellipsoïdes

La technique de composition peut être appliquée à des objets de forme quelconque. La création d'un modèle polyédrique peut nécessiter quelques secondes de calcul. Nous proposons une extension de la méthode qui permet d'obtenir le résultat en temps interactif. Si on souhaite utiliser la composition comme outil de modélisation, il est important de pouvoir visualiser le résultat instantanément. L'utilisateur sélectionne un outil constitué d'un objet de forme simple (au plus étoilé) et déforme un modèle en le composant avec l'outil (figure 16). La déformation peut être animée facilement en modifiant la position, la taille, l'orientation et la forme de l'outil [30].

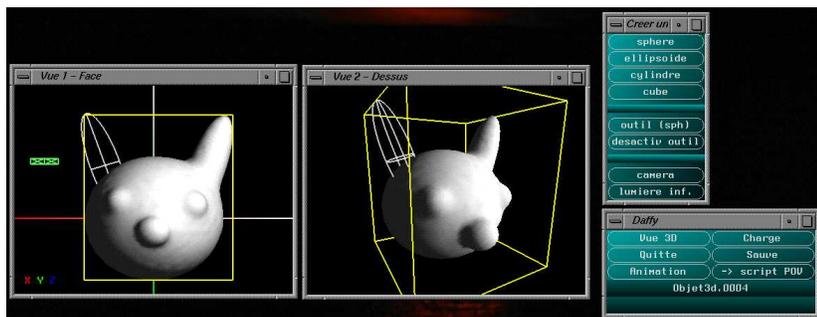


Figure 16 : La composition vue comme outil de déformation

3.4.2 Déformation interactive d'objets

Participants : Sabine Coquillart, Pierre Jancène

La recherche de techniques de modélisation et d'animation 3D interactives et générales constitue l'objectif des études actuelles. En effet, les phases de modélisation et de contrôle de l'animation sont souvent laborieuses pour l'utilisateur faute d'outils bien adaptés à ses besoins. La puissance d'un système de modélisation et d'animation, provient de la diversité des outils offerts à l'utilisateur.

Une première phase de cette étude nous a conduits à étudier une méthode de déformation très interactive et intuitive appelée FFD pour Free-Form Deformations et à développer deux extensions à cette technique. La méthode des EFFD (Extended Free-Form Deformations) permettant la modélisation de formes complexes et la méthode des AFFD (Animated Free-Form Deformations) permettant le contrôle de l'animation d'objets déformables.

Plus récemment, a débuté l'étude d'une nouvelle classe de techniques de déformations, les déformations axiales. L'objectif de cette étude est de fournir à l'utilisateur des outils lui permettant un contrôle simple et intuitif des déformations pouvant être décrites par un axe.

Dans ce cadre, la méthode de déformation axiale AxDf (Axial Deformation) a été développée. Cette technique est basée sur le même principe que la technique des FFDs, le volume spline utilisé pour définir la déformation étant remplacé par un axe 3D. Cette technique permet de déformer un objet quelconque à l'aide d'un axe défini et positionné par l'utilisateur.

Cette année a vu une poursuite de l'étude des Déformations Multi-Axiales pour lesquelles, contrairement aux AxDf, l'utilisateur dispose de plusieurs axes pour déformer une surface ainsi que l'intégration de ces techniques de déformation dans une nouvelle version du modelleur Action3D.

L'étude d'une nouvelle classe de déformations animées regroupant les avantages de la méthode des AFFD, de celle des AxDf et celle des polymorphes a aussi été initiée cette année. Cette technique devrait être d'une utilisation plus simple et plus générale que les AFFD tout en exploitant les résultats obtenus avec les Déformations Axiales.

3.4.3 Métamorphose d'objets tridimensionnels

Participants : Francis Lazarus, Anne Verroust

Nous étudions une méthode qui, à partir de deux objets tridimensionnels, calcule une déformation continue du premier objet vers le second. Ce type de transformation est appelé "morphing" dans la littérature : en fait, le terme "morphing" a d'abord été utilisé pour dénommer des transformations d'images (2D). Nous utiliserons le mot "métamorphose" pour le désigner dans la suite.

L'existence d'un outil de construction d'une métamorphose applicable à une grande classe d'objets serait d'une grande aide pour les animateurs. En effet, de telles séquences d'animation sont très souvent utilisées dans les films de synthèse et dans les "effets spéciaux" de films.

Nous avons développé un outil de métamorphose interactif et intuitif sur le modelleur ACTION3D. La méthode proposée l'an passé s'applique à des objets polyédriques et utilise un rééchantillonnage des objets de départ afin de faciliter la mise en correspondance nécessaire à la transformation.

Cette année, nous avons ajouté une étape d'ajustement des modèles échantillonnés sur les éléments saillants des objets de départ. Ces éléments saillants sont constitués d'arêtes et de sommets sélectionnés à l'aide d'un critère angulaire.

Cette étape s'est avérée primordiale comme le montre la figure 17.

L'objectif est ici de modifier le moins possible la topologie du maillage échantillonné tout en l'adaptant aux éléments saillants. Nous proposons une méthode qui déforme géométriquement le maillage et ne modifie sa topologie que par l'adjonction éventuelle d'arêtes (et non de sommets).

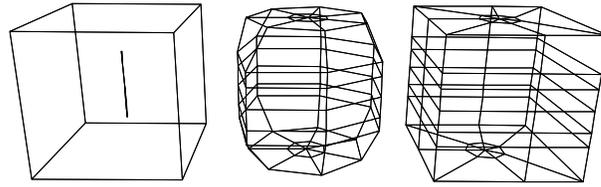


Figure 17 : Échantillonnage d'un cube (gauche) avant (centre) et après ajustement (droite).

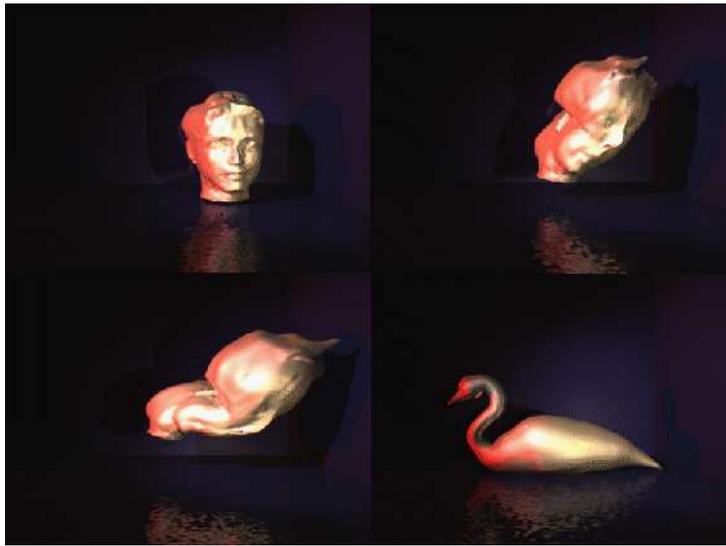


Figure 18 : Quatre étapes d'une métamorphoses extraites de [33]

3.4.4 Modèle physique de comportement dynamique des textiles

Participant : Xavier Provot

L'objectif de notre étude est de construire un modèle décrivant la forme et le mouvement des tissus textiles. Ce travail consiste à décrire de la façon la plus réaliste possible la physique et la mécanique (dynamique) d'une classe d'objets bien particuliers : les tissus.

Inspirée d'un modèle proposé à l'origine par Terzopoulos, l'idée consiste à représenter un tissu par une surface déformable, constituée ici par un réseau, ou maillage, bidimensionnel de masses et de ressorts. Ce réseau

est alors soumis à des forces semblables à celles que subit un tissu dans un environnement réel : poids, forces d'interaction avec l'air... Après le calcul, en chaque noeud du maillage, de la résultante des forces extérieures et des forces intérieures (tension des ressorts), les positions successives de la surface sont évaluées par intégration numérique de l'équation fondamentale de la dynamique. Certaines contraintes particulières peuvent être ajoutées (points d'accroche par exemple) : elles sont traitées par une méthode de dynamique inverse.

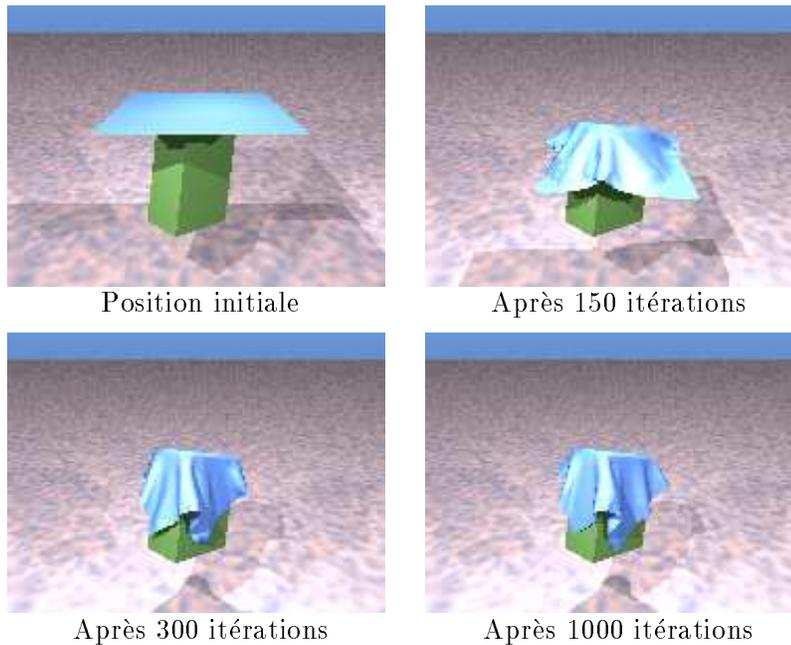


Figure 19 : Trois étapes du mouvement d'une nappe tombant sur un cube incliné.

L'étude porte aussi sur les interactions entre le modèle et des objets solides éventuellement disposés dans la scène où il évolue. Il s'agit de détecter les collisions entre la surface déformable et les objets de la scène, puis d'appliquer une procédure de dynamique inverse pour éviter toute pénétration entre la surface et les objets. Plus particulièrement se pose le problème des inter-pénétrations de la surface avec elle-même. Il s'agit pour les éviter de détecter toutes les auto-collisions, ce qui peut nécessiter des temps de calcul importants pour des maillages fins. Une méthode

de division hiérarchique de la surface en zones a été implémentée pour réduire fortement ce coût.

Les résultats sont jusqu'ici encourageants puisqu'il a été possible de déterminer des paramètres (masses, raideurs des ressorts, etc.) qui permettent de donner une représentation convaincante du mouvement d'un tissu, avec la formation et l'ondulation de ses "plis" notamment. Il est envisagé d'étudier plus précisément l'influence des paramètres sur le comportement du modèle, afin de pouvoir établir une correspondance entre leurs valeurs et les comportements différenciés (mais fins) des diverses sortes de tissus (coton, soie, laine, . . . —toile, serge, satin, . . .). Il sera aussi intéressant de trouver des correspondances de comportement entre des maillages d'échelle différente. Ceci permettrait de ne raffiner le maillage d'un tissu particulier qu'aux endroits où c'est nécessaire, et donc d'accélérer les calculs dans de nombreux cas.

3.4.5 Textures volumiques (texels)

Participant : Fabrice Neyret

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre du photoréalisme en image de synthèse, et s'intéresse à une classe d'objets complexes difficilement modélisables avec les techniques classiques.

Il s'agit de mettre au point une représentation pseudo-géométrique minimale, apparentée à de la texture, permettant d'obtenir de manière économique des images de synthèse réalistes d'objets recouverts de micro-géométries (feuillage, pré, arbres vu du ciel, fourrure, tissus, cheveux...).

L'idée, inspirée du modèle proposé par Kajiya, consiste à séparer le comportement photométrique (illumination) du comportement purement géométrique (occultation) des micros-objets. En effet aux petites échelles, l'influence d'une forme sur l'image se fait beaucoup plus par sa luminosité, liée à sa façon de réfléchir la lumière, que par sa silhouette. On gagne donc à coder ces deux aspects selon des méthodes spécifiques : répartition directionnelle des normales (modélisée par un éllipsoïde) pour le premier, densité de présence pour le second.

Le modèle géométrique est échantillonné, puis compacté en octree. Cela apporte une représentation multiéchelle qui permet de n'utiliser que des informations de résolution utile : le temps de calcul est alors fonction de la taille apparente de l'objet, et non plus de la finesse de ses détails.

Pour modéliser un objet complexe, on construit donc un volume de référence le *texel* contenant un échantillon de texture volumique, et ce volume (vu comme le motif d'une "texture épaisse") est formellement répété et déformé afin de former la "peau" de l'objet, posée à sa surface (ex : le sol, pour un pré). Le calcul de l'image s'obtient par tracé de rayons : de manière habituelle, les rayons vont balayer les objets de la scène, et notamment intersecter des surfaces munies de texture volumique. On se ramène alors au volume de référence non déformé, où un rendu volumique adapté se charge de traverser cette "texture épaisse". Comme les données utilisées ne constituent pas un échantillonnage mais une "moyenne" de la géométrie sous-jacente, on évite au passage l'aliasing ("l'aliasing") : la méthode constitue donc une 'moralisation' du coût de calcul, n'utilisant que la quantité de données nécessaire tout en offrant un résultat plus "conservatif" des luminances que ne le permet le tracé de rayons classique.

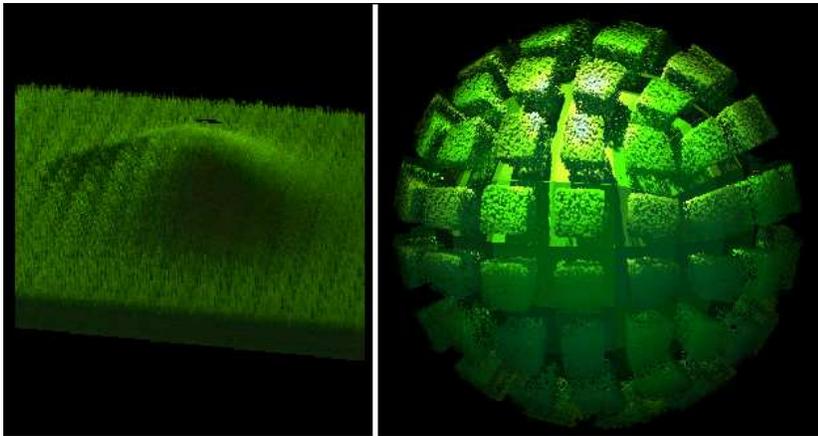


Figure 20 : *A gauche*: pré (on distingue l'ombre de la colline sur l'herbe, ainsi que la tâche anisotropique là où le regard atteint le sol. *A droite*: le texel contient un buisson complet, qui se comporte comme une vraie géométrie (ombres portées et reçues, illumination,...), aliasing en moins.

4 Actions industrielles

- Contrat avec l'ETCA sur l'analyse photométrique de scènes d'intérieur (voir paragraphe 3.1.5).

- Contrat avec le CNES sur la détection d'autoroutes sur les grandes images SPOT (voir le paragraphe 3.1.7).
- Préparation d'une réponse à l'appel d'offre ACTS en collaboration avec THOMSON LER (P. Tourtier) et THOMSON LCR (M. Schmitt) sur la téléprésence.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

Nozha Boujemaa a organisé, le 31 mars 94 à l'INRIA, une journée nationale sur la psychologie de la vision, en collaboration avec J.Ninio (Ecole Normale Supérieure) et K. O'Regan (CNRS).

Sabine Coquillart est membre du conseil d'administration de l'Association Française d'Informatique Graphique (AFIG).

André Gagalowicz est membre du comité d'organisation d'IMAGE'COM 96.

André Gagalowicz a été président du comité scientifique de la conférence AFCET sur la Reconnaissance des Formes et l'Intelligence Artificielle, Paris, 11-14 janvier 1994.

André Gagalowicz a été l'organisateur du séminaire Analyse/Synthèse d'Images du 17 janvier 1994.

André Gagalowicz est membre du conseil scientifique de l'INSA à Lyon.

André Gagalowicz est membre du conseil scientifique du service de la recherche de l'IGN.

André Gagalowicz est membre du conseil scientifique de SEH à l'ETCA.

Olivier Monga est conseiller scientifique à l'EERIE-Nîmes.

5.2 Actions internationales

Sabine Coquillart a fait partie du comité de programme de la conférence Graphics Interface, Alberta, Canada, 16-20 mai 1994.

Sabine Coquillart a fait partie du comité de programme d' Eurographic's 94, Oslo, Norvège, 12-16 septembre 1994.

Sabine Coquillart a fait partie du comité de programme du “Fourth Eurographics Workshop on Animation and Simulation”, Oslo, Norvège, 17-18 septembre 1994.

Sabine Coquillart a été membre du comité d’organisation, Tutorial co-chair, d’Eurographics’ 94 Oslo, Norvège, 12-16 septembre 1994.

Sabine Coquillart a organisé deux séminaires “ERCIM HCM Computer Graphics Network Task 3”, à Grenoble et Barcelone en mars et novembre 1994.

Sabine Coquillart est membre du “Steering Committee” de “ERCIM HCM Computer Graphics Network”.

Sabine Coquillart est responsable du “Workshops, Working Groups Board” d’Eurographics.

Sabine Coquillart est membre du comité de lecture de la revue Computer Graphics Forum.

Sabine Coquillart est membre du “Executive Committee” et du “Executive Board” d’Eurographics.

Sabine Coquillart et Pierre Janène ont contribué à l’animation de la communauté graphique internationale à travers *info-graph* et *inria-graphlib* (voir rapports d’activité 1992 et 1993).

André Gagalowicz est membre du comité de lecture du journal “Machines, Graphics and Vision”

A. Gagalowicz est membre du comité de lecture du journal “Computer Graphics” (en russe) édité par l’Académie des Sciences Russe.

A. Gagalowicz a été invité à présenter une conférence aux Journées Européennes JETAI sur l’infographie, Toulouse 24-26 mars 1994.

Olivier Monga a fait des interventions dans l’Ecole d’Eté en “Image Processing” organisé en juin 1994 à l’université de Szeged (Hongrie).

Cours en Vision par Ordinateur à CARI’94 - Ouagadougou (Burkina Faso), O. Monga.

Le projet Syntim fait partie du réseau d’excellence ERCIM COMPUTER GRAPHICS NETWORK.

6 Diffusion des résultats

6.1 Conférences

- Conférence de A. Gagalowicz au séminaire de l'imagerie de l'ENS, Cachan.
- Conférence de A. Gagalowicz sur la vision par ordinateur à l'Académie des Sciences de Biélorussie, Minsk.
- Conférence de A. Gagalowicz sur la collaboration analyse/synthèse au séminaire d'analyse/synthèse d'images, Paris, 17 janvier 1994.
- Conférence invitée de A. Gagalowicz sur l'analyse/synthèse de scènes d'intérieur au "Workshop on Common Methodologies for Image Synthesis and Analysis", Rome, Italie, 5-7 décembre 1994.
- Participation de A. Gagalowicz, G. Stamon, N. Boujemaa, J.P. Tarel, V. Meas-Yedid, D. Geman, B. Jedynek à la conférence AF-CET sur la Reconnaissance des Formes et l'Intelligence Artificielle (RFIA), Paris, janvier 1994.
- Participation de J.M. Vézien au 2ème CAD-Based Vision Workshop, Champion, Pennsylvania, février 1994.
- Participation de J. Louchet aux Journées Infographie Interactive et Intelligence Artificielle, Limoges, Avril 1994.
- Participation de J. Louchet à British Machine Vision Conference, York, septembre 1994.
- Participation de J. Louchet aux Premières Journées Evolution Artificielle, Toulouse, septembre 1994.
- Participation de Ph. Decaudin et F. Lazarus à Fifth Eurographics Workshop on Animation and Simulation, Oslo, 17-18 septembre 1994.

6.2 Actions d'enseignement

- Cours de Mathématiques du Signal au C.N.A.M, centre régional de Versailles, par A. Ackah-Miezan.
- Cours de Visualisation à l'ENSTA par S. Coquillart.

- Cours d'Infographie, DEA d'Information Scientifique et Technique, Université Paris 7 et INSTN Saclay, par S. Coquillart, P. Jancène et L. Doghman.
- Cours de Vision par Ordinateur à l'ESIEA par A. Gagalowicz.
- Cours d'Infographie à l'ENSTA par A. Gagalowicz.
- Cours de Vision par Ordinateur au DEA de Paris VI, Ponts et Chaussées, par G. Stamon et A. Gagalowicz.
- Cours au Centre d'Imagerie Médicale Avancée de Compiègne, DEA d'Imagerie Biomédicale en collaboration avec l'UTC, par O. Monga.
- Cours au Mastère d'Imagerie Médicale de Compiègne, par O. Monga, responsable du module de Vision par Ordinateur depuis 1993.
- Cours à l'EERIE par O. Monga, 3ème année, option Imagerie, depuis 1991.
- Cours à l'INSTN Option Génie Robotique et Productique par O. Monga, depuis 1991 et co-responsable de l'enseignement en Vision par Ordinateur, depuis 1993.
- Cours à l'université de Paris XI en DEA Informatique par O. Monga option Vision par Ordinateur et Robotique, depuis 1989.
- Cours de Vision par Ordinateur à l'université de Yaoundé par O. Monga dans le cadre d'une collaboration avec l'université des Nations Unis.
- Olivier Monga est conseiller scientifique de l'EERIE (Nîmes).
- Coordination de l'option d'enseignement ENSTA "Perception et Robotique", par Jean Louchet.
- Cours de Vision au cycle ingénieur de l'ENSTA, par Jean Louchet.
- Cours de Traitement d'Images et Vision au cycle ingénieur de l'IMAC (Institut Image et Communication, Université Paris 2), par Jean Louchet.
- Cours de Vision au cycle ingénieur de l'EFREI (Ecole Française d'Electronique et d'Informatique), par Jean Louchet.
- Animation du stage de formation continue ENSTA-SupAéro "synthèse d'images 3D", par Jean Louchet.

7 Publications

Thèses

- [1] S. COQUILLART, *Modélisation Interactive*, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Paris-XI Centre d'Orsay, mars 1994.
- [2] J.-M. VEZIEN, *Techniques de Reconstruction Globale par Analyse de Paires d'Images Stereoscopiques*, thèse de doctorat, Université de Paris-VII Jussieu, décembre 1994.

Articles et chapitres de livre

- [3] S. COQUILLART, P. JANCÈNE, F. LAZARUS, «Axial Deformations: an Intuitive Deformation Technique», *Computer-Aided Design Vol. 26*, N.8, août 1994.
- [4] S. COQUILLART, W. STASSER, P. STUCKI, *From Object Modelling to Advanced Visual Communication*, Springer Verlag, mars 1994.
- [5] A. GAGALOWICZ, «Modeling Complex Indoor Scenes Using an Analyse/Synthesis Framework», *Scientific Visualization Advances and Challenges*, Springer Verlag, 1994.
- [6] A. GAGALOWICZ, «Perception visuelle par modélisation géométrique et synthèse», *Courrier du CNRS*, N. 80, 1994.
- [7] A. GAGALOWICZ, «Tools for Advanced Telepresence Systems», *Computer and Graphics Vol. 10*, N. 1, 1995.
- [8] O. MONGA, S. BENAYOUN, «Using Partial Derivatives of 3D Images to Extract Typical Surface Features», *A paraître dans CVGIP : Image Understanding*, 1994.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [9] N. BOUJEMAA, G. STAMON, A. GAGALOWICZ, «Modélisation floue pour la segmentation d'images», *in : 9ème congrès AFCET, Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle*, janvier, Paris 1994.
- [10] I. BRICAULT, O. MONGA, «From Volume Medical Images to Quadratic Surface Patches», *in : Soumis à International Conference on Computer Vision*, Boston, june 1995.
- [11] P. DECAUDIN, A. GAGALOWICZ, «Fusion of 3D Shapes», *in : Fifth Eurographics Workshop on Animation and Simulation*, Oslo, 17-18 septembre 1994.

- [12] A. GAGALOWICZ, «Towards a Vision System for a Domestic Robot», *in : Actes du Workshop Analyse/Synthèse d'Images*, p. 63-82, Télécom Paris, Janvier 1994.
- [13] V. KOIVUNEN, J. VEZIEN, «Multiple Representation Approach to Geometric Model Construction from Range Image», *in : Proceedings of 2nd CAD-Based Vision Workshop*, Champion, Pennsylvania, USA, février 1994.
- [14] F. LAZARUS, A. VERROUST, «Feature-Based Shape Transformation for Polyhedral Objects», *in : Fifth Eurographics Workshop on Animation and Simulation*, Oslo, Norvège, 17-18 septembre 1994.
- [15] J. LOUCHET, «An Evolutionary Algorithm for Physical Motion Analysis», *in : British Machine Vision Conference*, York, 13-16 septembre 1994.
- [16] J. LOUCHET, «Identification de modèles physiques d'animation», *in : Journées Infographie Interactive et Intelligence Artificielle*, Limoges, 6-7 avril 1994.
- [17] J. LOUCHET, «Identification évolutive de modèles physiques d'animation à base de masses-liaisons», *in : Séminaire Animation-Simulation*, Lille, octobre 1994.
- [18] J. LOUCHET, «Identification évolutive de modèles physiques pour la synthèse d'images animées», *in : Premières Journées Evolution Artificielle*, Toulouse, 20-23 septembre 1994.
- [19] V. MEAS-YEDID, J.-P. TAREL, A. GAGALOWICZ, «Calibration métrique faible et construction interactive de modèles 3D de scènes», *in : Congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle*, AFCET, Paris, janvier 1994.
- [20] O. MONGA, N. ARMANDE, P. MONTESINOS, «Using Crest Lines to Extract thin Networks in Images : Application to Roads and Blood Vessel», *in : Soumis à International Conference on Computer Vision*, Boston, juin 1995.
- [21] O. MONGA, R. LENGAGNE, R. DERICHE, «Crest Lines Extraction in Volumic 3D Medical Images : a Multi-Scale Approach.», *in : International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Jérusalem, octobre 1994.
- [22] O. MONGA, R. LENGAGNE, R. DERICHE, «Extraction of the Zero-Crossing of the Curvature Derivative in Volumic 3D Medical Images : a Multi-Scale Approach», *in : IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Seattle, june 1994. Une version longue est publiée en rapport de recherche INRIA RR-2338.

- [23] J.-P. TAREL, A. GAGALOWICZ, «Calibration de caméra à base d'ellipses», *in: Congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle*, AFCET, Paris, janvier 1994.

Rapports de recherche et publications internes

- [24] D. GEMAN, B. JEDYNAK, «Shape Recognition and Twenty Questions», *Rapport de Recherche n° 2155*, INRIA, novembre 1993.
- [25] D. GEMAN, B. JEDYNAK, «Tracking Roads in Satellites Images by Playing Twenty Questions», *rapport de recherche*, INRIA, 1994.
- [26] I. KELLER, «Recherche d'un meilleur modèle a priori pour une méthode d'extraction des routes dans une image satellite», *Rapport de stage de DEA de modélisation stochastique*, INRIA, Université de Paris 11, 1994.
- [27] F. LAZARUS, A. VERROUST, «Feature-Based Shape Transformation for Polyhedral Objects», *Rapport de Recherche n° 2264*, INRIA, France, mai 1994.
- [28] B. MIGEON, V. SERFATY, «Filtrage adaptatif par diffusion anisotropique multiéchelle basé sur le principe du maximum d'entropie», *Rapport de Recherche n° 2174*, INRIA, France, janvier 1994.
- [29] B. MIGEON, V. SERFATY, «Filtrage EPSF pour l'amélioration d'images», *Rapport de Recherche n° 2175*, INRIA, France, janvier 1994.

Œuvres audiovisuelles

- [30] P. DECAUDIN, A. PAOURI, C. BLONZ, *Caverna Magica*, 2 min Videotape, INRIA, UCIS audiovisuel France, 1994.
- [31] D. GEMAN, B. JEDYNAK, J. ROZÉ, A. PAOURI, C. BLONZ, *Tracking Roads by Playing 20 Questions*, 1 min 50 Videotape, INRIA, UCIS audiovisuel France, 1994.
- [32] P. JANCÈNE, F. NEYRET, A. PAOURI, X. PROVOT, J.-P. TAREL, *Réalité Enrichie par Synthèse*, 45 sec Videotape, INRIA, UCIS audiovisuel France, 1994.
- [33] A. PAOURI, F. LAZARUS, A. VERROUST, C. BLONZ, *METADATA*, 1 min Videotape, INRIA, UCIS audiovisuel France, 1994.

8 Abstract

SYNTIM Image Analysis and Synthesis

The scope of the project research is to study image analysis and synthesis cooperative schemes.

All activities of the project are related to the creation and manipulation of synthesizable models (or parts of them).

Research is developed in four directions :

- interactive modelling of scene geometry, photometry, animation, or deformations (parts of synthesizable models).
- use of model-based image analysis techniques in order to obtain automatically synthesizable models from a priori given stereo images of natural scenes.
- the development of realistic image synthesis algorithms using synthesizable models as input.
- use of the difference between natural and synthesis images in order to drive a model modification procedure which will allow to obtain a well-tuned synthesizable model from the image analysis. Our target is to synthesize images which are almost not discriminable from natural ones.

These four research axes are strongly connected. We wish to apply these techniques for telepresence.

Table des matières

1	Composition de l'équipe	1
2	Présentation du projet	3
3	Actions de recherche	7
3.1	En Analyse d'images (supervisées par André Gagalowicz, Olivier Monga, Donald Geman, Georges Stamon, Nozha Boujemaa)	7
3.1.1	Calibration de caméras par approche radiométrique	7
3.1.2	Segmentation floue dans l'espace des couleurs . . .	8
3.1.3	Reconstruction de facettes 3D par approche régionale	10
3.1.4	Recalage d'objets 3D	12
3.1.5	Localisation de Sources Lumineuses et Analyse Photométrique	14
3.1.6	Caractérisation de surfaces gauches à partir d'images	15
3.1.7	Extraction des réseaux autoroutiers à partir des images du satellite SPOT d'observation de la terre	19
3.2	En modification de modèles	22
3.2.1	Recalage 3D/2D	22
3.3	En Synthèse d'images	23
3.3.1	Réalité Enrichie par Synthèse	23
3.3.2	Synthèse d'Images Réalistes: Vers une Collaboration Analyse/Synthèse	24
3.3.3	Analyse/synthèse dynamique de séquences d'images	27
3.4	En modélisation (supervisées par Sabine Coquillart, Pierre Jancène et Anne Verroust)	28
3.4.1	Composition d'objets tridimensionnels	29
3.4.2	Déformation interactive d'objets	30
3.4.3	Métamorphose d'objets tridimensionnels	31

3.4.4	Modèle physique de comportement dynamique des textiles	32
3.4.5	Textures volumiques (texels)	34
4	Actions industrielles	35
5	Actions nationales et internationales	36
5.1	Actions nationales	36
5.2	Actions internationales	36
6	Diffusion des résultats	38
6.1	Conférences	38
6.2	Actions d'enseignement	38
7	Publications	40
8	Abstract	42