

# *Projet Robotvis*

*Robotique et Vision par Ordinateur*

*Sophia Antipolis*

THÈME 3B



*R*apport  
*d'Activité*

2000



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Composition de l'équipe</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Présentation et objectifs généraux</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Fondements scientifiques</b>	<b>7</b>
3.1	Géométrie d'un ensemble de vues . . . . .	7
3.2	Équations aux dérivées partielles et vision précoce . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Logiciels</b>	<b>14</b>
4.1	Robotvis++ . . . . .	14
4.1.1	Librairies . . . . .	14
4.2	ps2html . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Résultats nouveaux</b>	<b>15</b>
5.1	Géométrie d'un système de caméras et applications . . . . .	15
5.1.1	Stéréo d'Images Couleurs . . . . .	15
5.1.2	Autocalibration . . . . .	16
5.1.3	Utilisation de formes particulières de matrices pour estimation plus efficace des matrices d'homographies et fondamentales. . . . .	16
5.1.4	Localisation et Calibration avec un Zoom. . . . .	16
5.1.5	Implémentation de méthodes multi-modèles d'estimation paramétrique. . . . .	17
5.1.6	Interaction Symbolique et Numérique ; Application à la Vision Artificielle . . . . .	17
5.1.7	Calcul de la Jacobienne de la Décomposition en Valeurs Singulières : Théorie et applications . . . . .	17
5.1.8	Estimation de la matrice fondamentale par corrélation dense . . . . .	18
5.1.9	Suivi de mouvements articulés avec plusieurs caméras . . . . .	18
5.1.10	Synthèse de films réalistes à partir de photographies. . . . .	19
5.1.11	Méthodes linéaires directes pour l'étalonnage de séquences d'images . . . . .	19
5.1.12	Localisation et Calibration avec un Zoom. . . . .	20
5.1.13	Géométrie des systèmes de plusieurs caméras . . . . .	20
5.2	Méthodes variationnelles, EDPs et applications . . . . .	20
5.2.1	EDP et ensembles de niveau pour la détection et le suivi d'objets en mouvement . . . . .	20
5.2.2	EDP et ensembles de niveau pour la segmentation d'images . . . . .	21
5.2.3	EDP et Stéréo . . . . .	21
5.2.4	EDP et Filtrage récursif . . . . .	21
5.2.5	Représentations implicites des variétés déformables de codimension supérieure à un . . . . .	22
5.2.6	EDP et Images Vectorielles . . . . .	22
5.2.7	Suivi d'objets en mouvement par groupement perceptuel . . . . .	23
5.3	Outils pour l'Imagerie cérébrale . . . . .	24
5.3.1	Utilisation de marqueurs pour compenser le déplacement dans une séquence d'images volumiques d'IRM. . . . .	24

5.3.2	Recalage 3D de données IRMa et EEG/MEG (headshape)	25
5.3.3	Mise en correspondance d'images multimodales	25
5.3.4	Segmentation du cortex cérébral à l'aide de surfaces couplées	25
5.3.5	Modèles de formes anatomiques pour l'analyse d'images médicales	27
5.3.6	Evolution de courbes pour la segmentation d'images médicales	27
5.3.7	Problèmes direct et inverse en EEG/MEG	28
<b>6</b>	<b>Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>28</b>
6.1	Actions régionales	28
6.1.1	Mise en œuvre d'un environnement de réalité augmentée pour l'immersion visuelle.	28
6.1.2	Analyse d'une application de télémédecine.	28
6.1.3	Utilisation d'outils de différenciation automatique.	28
6.2	Actions nationales	29
6.2.1	Action de Recherche Coopérative INRIA MEG-3D	29
6.2.2	Action de Recherche Coopérative INRIA Recalage non Rigide en IRM	29
6.2.3	Action de Recherche Coopérative INRIA MC2	29
6.2.4	Action Incitative Télémédecine	29
6.2.5	Projet Rotoscoto	29
6.3	Actions financées par la Commission Européenne	30
6.3.1	Projet Cumuli	30
6.3.2	Projet CarSense	30
6.3.3	Projet Improofs	30
6.3.4	ImaVis: Theory and Practice of Image Processing and Computer Vision	30
6.3.5	Projet Mapawamo	31
6.4	Réseaux et groupes de travail internationaux	31
6.4.1	Réseau TMR VIRGO	31
6.5	Relations bilatérales internationales	31
6.5.1	Europe	31
6.5.2	Divers	31
<b>7</b>	<b>Diffusion de résultats</b>	<b>32</b>
7.1	Animation de la communauté scientifique	32
7.2	Enseignement universitaire	32
7.2.1	D.E.A. SIC	32
7.2.2	D.E.A. MVA: Mathématiques/Vision/Apprentissage	32
7.2.3	DEA d'Informatique I3: Information, Interaction, Intelligence	32
7.2.4	D.E.A Algorithmique	32
7.2.5	Massachusetts Institute of Technology	33
7.3	Autres enseignements	33
7.3.1	Institut National des Télécommunications- Evry	33
7.3.2	École des Mines - ENSTA	33
7.3.3	ISIA	33
7.3.4	École des Mines	33

---

7.3.5	ESSI . . . . .	33
7.4	Thèses et Stages . . . . .	33
7.4.1	Thèses soutenues en 2000 . . . . .	33
7.4.2	Thèses en cours . . . . .	33
7.4.3	Stages . . . . .	34
7.5	Participation à des colloques, séminaires, invitations . . . . .	34
<b>8</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>35</b>

## 1 Composition de l'équipe

### Responsable scientifique

Olivier Faugeras [DR]

### Responsable permanent

Rachid Deriche [DR]

### Assistante de projet

Marie-Cécile Lafont [TR]

### Personnel Inria

Robert Fournier [IR, mi-temps Robotvis/Semir]

Pierre Kornprobst [CR, depuis avril 2000]

Théodore Papadopoulo [CR]

Thierry Viéville [CR]

### Ingénieur expert

Bernard Gai-Chéca, jusqu'au 31 mars 2000

### Chercheurs post-doctorants

Manolis Lourakis [Post-Doc TMR/VIRGO jusqu'au 23 février 2000]

Diane Lingrand [Post-Doc INRIA à partir du 1er septembre 2000]

### Chercheurs doctorants

Frédéric Abad [Bourse PACA/ADER avec entreprise « RealViz » ]

Stéphane Abello [Bourse M.E.S.R.]

Cédric Barthoux [Bourse INRIA (Centre/Robotvis) à partir du 1er septembre 2000]

Jacques Bride [Bourse CIFRE avec entreprise « Realviz » ]

Quentin Delamarre [Bourse INRIA jusqu'au 30 avril 2000, entreprise « XD Production » à partir du 1er mai 2000]

François Gaspard [Bourse cofinancée INRIA/RégionPACA jusqu'au 31 octobre 2000, Bourse INRIA à partir du 1er novembre 2000]

Cyrille Gauclin [Bourse INRIA jusqu'au 30 avril 2000, entreprise « XD Production » à partir du 1er mai 2000]

José Gomes [Bourse A.M.X. jusqu'au 30 septembre 2000, Bourse INRIA du 1er Octobre 2000 au 30 Novembre 2000]

Gerardo Hermosillo [Bourse SFERE/CONACYT]

Bertrand Thirion [Détachement de l'ENST sur poste d'accueil]

David Tshcumperlé [Bourse M.E.S.R, université de Nice-Sophia Antipolis]

Christophe Vestri [Bourse CIFRE avec l'entreprise ISTAR]

### **Collaborateurs extérieurs**

Michel Barlaud [UNSA]

Maureen Clerc [Cermics, ENPC, Marne-la-Vallée]

Renaud Keriven [Cermics, ENPC, Marne-la-Vallée]

### **Stagiaires**

Bertrand Delezoile [Stage de 2ème Année de l'ENS Cachan, 1,5 mois]

Gloria Haro [Stage du Mastère Image et systèmes de télévision de l'ENST Paris, 8 mois]

Laetitia Marin [Stage de Maîtrise d'informatique de l'université de Nice-Sophia Antipolis, 3 mois]

Agnès Paquet [Stage (Action CAVEA2) 1,5 mois]

Javier Sanchez Perez [Stage de formation doctorale de l'université de Las Palmas, 3 mois]

Jérémy Sanglier [Stage de DUT: IUT d'informatique de l'université de Nice-Sophia Antipolis 3 mois, puis du 1er juillet au 31 août 2000]

### **Visiteurs**

Christophe Chef d'hôtel [Coopération au M.I.T. de Boston, septembre et décembre 2000]

Chin Hwee Peh [université Nationale de Singapour, mai 2000]

Steve Maybank [Reading university, UK, septembre 2000]

## 2 Présentation et objectifs généraux

Les objectifs scientifiques et technologiques du Projet sont de trois types

- élaborer des théories de la perception visuelle par ordinateur et plus particulièrement de la perception tridimensionnelle dynamique,
- démontrer leur intérêt en les appliquant à des problèmes concrets,
- les confronter à celles de la perception humaine que permettent d'élaborer les nouvelles méthodes d'imagerie cérébrale et de mesure du fonctionnement du cerveau.

Nous accordons une importance centrale à la formalisation et tout particulièrement à la formalisation mathématique en ayant cependant toujours recours à l'expérimentation, seule façon, pensons-nous, de valider une théorie. De ce point de vue, il apparaît nettement deux grands axes méthodologiques qui guident notre approche.

Le premier est l'utilisation de méthodes algébriques et géométriques pour l'étude des systèmes multi-caméras. Ces méthodes nous ont permis de développer des algorithmes originaux d'étalonnage de caméras qui ne nécessitent pas l'utilisation de mires de calibration et qui ont trouvé des applications industrielles importantes (voir ci-dessous).

Le second axe est l'utilisation de méthodes d'analyse, principalement issues de la théorie des équations aux dérivées partielles, pour l'étude des problèmes plus spécifiques de traitement et d'analyse d'images (amélioration, restauration, contours, stéréo, mouvement).

Nous avons montré que bon nombre de ces méthodes variationnelles étaient applicables à des problèmes, apparemment très différents de ceux en traitement d'images, de mesure de l'activité cérébrale, comme les problèmes inverses en Magnétoencéphalographie et en Electroencéphalographie.

Nous avons un assez grand nombre de collaborations avec des industriels français et étrangers vers lesquels nous transférons beaucoup de notre savoir et de nos algorithmes. Nous avons contribué à la création d'une « jeune pousse », RealViZ, qui utilise largement nos travaux en géométrie.

Les principales collaborations actuelles au niveau européen et français sont les suivantes. La première est le projet européen Mapawamo dont le but est de faire progresser l'État de l'Art en traitement et en modélisation de données d'IRM pour comparer la perception visuelle chez l'homme et le singe. La deuxième est le projet européen CogViSys dont le but est de réaliser un système de vision générique dans lequel la connaissance est représentée de manière explicite. Ce système sera illustré avec trois types d'applications : traduction de la langue des signes en langage naturel, description en langage naturelle de séquences de films, et de scènes de rues (cf le projet Orion). La troisième est le projet européen Insight2++ dont le but est de mieux comprendre la vision humaine en combinant des approches neurophysiologiques, psychophysiques, informatiques et mathématiques. La quatrième est le projet français Rotoscoto, en collaboration avec la société RealViz, dont le but est de développer des méthodes de détournement d'objets dans des séquences d'images plus performantes pour des applications de réalité augmentée ou d'effets spéciaux.

Dans ce contexte, nos efforts ont porté plus spécialement sur les points suivants, détaillés en Sections 5.1, 5.2 et 5.3 :

- géométrie d'un système de caméras et applications,
- traitement des séquences spatiales et temporelles,
- imagerie cérébrale.

## 3 Fondements scientifiques

### 3.1 Géométrie d'un ensemble de vues

**Mots clés :** géométrie projective, géométrie affine, géométrie euclidienne, *talonnagedecamras, stroscopiemultivue, suividansdessquencesstroscopiques, synthsedevuespartirdimages.*

Une des questions centrales de la vision par ordinateur est celle du calcul, à partir d'un certain nombre de vues d'une même scène supposée statique dans un premier temps, d'une description géométrique tridimensionnelle de celle-ci. Lorsqu'on pense description géométrique, on pense en général description euclidienne, c'est-à-dire que l'on s'attend à pouvoir mesurer dans la scène des invariants du groupe des similitudes, voire des déplacements, c'est-à-dire des angles et des rapports de longueur, voire des longueurs.

Or ceci ne va pas de soi pour les raisons suivantes. Un appareil photographique, une caméra vidéo, une caméra, produisent des images qui, géométriquement, sont des projections sur une surface plane ou à peu près plane (que nous appelons dans la suite la rétine) telle qu'un film ou un ensemble de photodétecteurs et, photométriquement, sont le résultat d'une interaction complexe entre les sources de lumière, les objets observés, au travers de leur forme géométrique et de leurs propriétés de réflectance, et les capteurs eux-mêmes, au travers de leur sensibilité spectrale, temporelle, etc...

De tout ceci découle d'abord le fait bien connu que l'on perd une dimension d'espace (la distance à la caméra) en acquérant une image. Un regard plus attentif sur la géométrie de la formation des images montre dans un deuxième temps que le cadre naturel pour analyser l'opération de projection est plutôt celui de la géométrie projective que celui de la géométrie euclidienne : en l'absence d'information supplémentaire, la seule information géométrique à laquelle on puisse avoir accès à partir des images brutes est une information projective. De manière plus précise, on dit que l'on sait reconstruire la scène modulo une transformation projective tridimensionnelle quelconque et non pas, comme on l'espérait au départ, modulo une transformation euclidienne ou une similitude. Ce résultat a été obtenu en 1992 [2].

Cependant, même pour une reconstruction projective, il est nécessaire de disposer de plusieurs vues prises simultanément, on parle alors de stéréo ou de séquence spatiale, ou bien d'une séquence temporelle. Pour obtenir cette reconstruction, il est nécessaire de commencer par extraire des primitives images qui soient précises, robustes au bruit et qui se caractérisent par des attributs très discriminants afin de pouvoir établir des correspondances. Les approches décrites dans [1] touchent à la détection des singularités de contours de type points anguleux ou jonctions multiples, qui sont des primitives images très pertinentes et très discriminantes. De

manière complémentaire, les approches par modèles décrites dans [DB93] permettent la détection avec des précisions sous-pixelliques de primitives images de type contours, points anguleux ou jonctions multiples. D'une manière très générale, l'appariement entre les diverses primitives images s'obtient ainsi en calculant, à l'aide d'opérateurs locaux dans l'image et dans le temps, des attributs. Ces attributs doivent être, autant que faire se peut, *invariants* à des transformations sur les images qui ne changent pas leur contenu, par exemple à des transformations monotones sur les intensités ou bien encore à des transformations géométriques induites par le changement de point de vue. Nous reviendrons plus loin sur cet aspect (voir Section 3.2). Ces attributs, qui sont donc attachés à un élément d'image ou pixel, sont ensuite comparés entre eux. Par exemple, si l'on dispose de deux images (c'est le cas de la stéréoscopie classique), on compare les attributs calculés en deux pixels dans chaque image. Si les deux pixels en question peuvent se situer n'importe où dans les deux images, le nombre de possibilités *d'appariements* est égal au produit du nombre de pixels.

Une analyse élémentaire de la géométrie d'une paire de caméras montre qu'il n'en est rien et que deux pixels ne peuvent être appariés que si chacun se trouve sur une droite déterminée par l'autre. Cette droite s'appelle une droite *épipolaire*. La correspondance entre un pixel et sa droite épipolaire est une relation *projective*, c'est-à-dire un morphisme de rang 2 entre la rétine modélisée comme un plan projectif  $\mathcal{P}^2$  et son dual  $\mathcal{P}^{*2}$ , ensemble des droites de l'autre rétine. Dans la pratique, ce morphisme est représenté par une matrice  $3 \times 3$ , baptisée matrice fondamentale, de rang 2, et dont les propriétés ont été mises en évidence et étudiées par l'équipe [Luo92]. Le problème de l'estimation de cette matrice à partir de correspondances est un problème difficile que nous n'avons résolu de manière satisfaisante que récemment [10]. Algébriquement, ceci se traduit par l'existence d'une contrainte algébrique de degré deux entre les coordonnées de deux pixels appariables.

Plus généralement, lorsque l'on a à faire à plus de deux images, le problème de la complexité de l'obtention des appariements se pose de manière encore plus aiguë. Cependant, la géométrie projective permet encore, comme dans le cas de deux images, de simplifier considérablement le processus d'appariement. Si l'on considère le cas de trois images, on montre que les points appariables satisfont des contraintes algébriques de degré trois [Har97, Sha95]. Celles-ci sont issues d'une application bilinéaire de  $\mathcal{P}^{*2} \times \mathcal{P}^{*2}$  dans  $\mathcal{P}^{*2}$  qui donne, étant donné deux droites dans deux images, la droite dans la troisième vue qui est l'image de la même droite tridimensionnelle que celle qui a donné lieu aux deux premières. Cette application a été baptisée le tenseur trifocal. De même que les matrices fondamentales sont de rang inférieur ou égal à deux, c'est-à-dire constituent une sous-variété algébrique de l'espace projectif  $\mathcal{P}^8$ , les tenseurs trilineaires

- 
- [DB93] R. DERICHE, T. BLASZKA, « Recovering and Characterizing Image Features Using An Efficient Model Based Approach », *in: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, IEEE, p. 530–535, New-York, juin 1993.
- [Luo92] Q.-T. LUONG, *Matrice Fondamentale et Calibration Visuelle sur l'Environnement-Vers une plus grande autonomie des systèmes robotiques*, thèse de doctorat, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, décembre 1992.
- [Har97] R. I. HARTLEY, « Lines and points in three views and the trifocal tensor », *The International Journal of Computer Vision* 22, 2, mars 1997, p. 125–140.
- [Sha95] A. SHASHUA, « Algebraic functions for recognition », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 17, 8, 1995, p. 779–789.

constituent une variété algébrique de l'espace projectif  $\mathcal{P}^{26}$  dont les équations ont été établies [FP98b]. Comme dans le cas de la matrice fondamentale, l'estimation du tenseur trifocal à partir de correspondances dans trois images est un problème ardu à cause des contraintes algébriques qui existent entre ses coefficients et n'a été résolu dans sa généralité que récemment [FP98a].

Si l'on passe maintenant à quatre images et plus, il se passe un phénomène curieux. Tout d'abord pour quatre images, on a démontré que les contraintes algébriques de degré quatre qui existent entre les coordonnées de quadruplets de points appariables sont en fait algébriquement dépendantes des contraintes d'ordre deux et trois qui existent entre les paires et les triplets de points. Ensuite, l'introduction d'une cinquième, puis d'une sixième image, etc... n'apporte en fait rien de plus : les contraintes d'ordre trois sont suffisantes [FM95]. On a donc aujourd'hui une idée assez précise de la manière dont la géométrie de  $N$  vues d'une même scène peut être décrite et estimée dans un cadre projectif et comment les contraintes correspondantes peuvent être utilisées pour concevoir des algorithmes de stéréoscopie.

Nous mentionnions plus haut l'importance pratique d'obtenir une description d'une scène qui soit non pas projective mais affine ou euclidienne. Ceci nécessite de connaître non seulement les tenseurs trifocaux qui sont des êtres projectifs mais aussi le plan à l'infini pour le cas affine et les paramètres internes des caméras dans le cas euclidien. L'estimation de ces derniers a préoccupé et préoccupe encore la communauté de photogrammétrie [Zel52, Sla80] ainsi que celle de vision par ordinateur qui toutes deux ont utilisé l'idée que cette estimation passait par l'utilisation de points d'amer situés dans la scène observée et dont les coordonnées cartésiennes sont connues. En vision robotique ces points constituent ce qu'on appelle une mire d'étalonnage.

L'une des découvertes importantes de l'équipe est d'avoir démontré que ces points d'amer étaient en fait inutiles et que les paramètres internes des caméras pouvaient être obtenus en utilisant l'invariance de la conique absolue, ou ombilic, par le groupe des similitudes. L'analyse géométrique sous-jacente consiste à considérer l'espace euclidien habituel comme un sous-espace affine d'un espace projectif ambiant dans lequel on identifie un hyperplan particulier comme le plan à l'infini (en pratique les points situés très loin de la caméra) et, dans cet hyperplan, un cercle imaginaire de rayon  $i = \sqrt{-1}$ . À cette *stratification* de l'espace en projectif, affine et euclidien correspond une stratification du groupe de transformations géométriques opérant sur la scène en groupe projectif des homographies, groupe affine (le sous groupe du précédent qui laisse le plan à l'infini globalement invariant) et le sous groupe des similitudes (le sous groupe du groupe affine qui laisse l'ombilic globalement invariante) [Fau95, Zel96]. On

- 
- [FP98b] O. FAUGERAS, T. PAPADOPOULOU, « A nonlinear method for estimating the projective geometry of three views », *in: Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision*, IEEE Computer Society, IEEE Computer Society Press, p. 477–484, Bombay, Inde, janvier 1998.
- [FP98a] O. FAUGERAS, T. PAPADOPOULOU, « Grassmann-Cayley Algebra for Modeling Systems of Cameras and the Algebraic Equations of the Manifold of Trifocal Tensors », *Transaction of the Royal society A 356*, mai 1998, p. 1123–1152.
- [FM95] O. FAUGERAS, B. MOURRAIN, « About the correspondences of points between  $n$  images », *in: Proceedings of the Workshop on the representation of visual scenes*, Cambridge, Massachusetts, USA, juin 1995.
- [Zel52] M. ZELLER, *Textbook of Photogrammetry*, H.K. Lewis & Company: Londres, 1952.
- [Sla80] C. C. SLAMA (éditeur), *Manual of Photogrammetry*, édition Fourth, American Society of Photogrammetry, 1980.
- [Fau95] O. FAUGERAS, « Stratification of 3-D vision: projective, affine, and metric representations », *Journal*

remarque ensuite que, puisque la conique imaginaire image de l'ombilic dans une caméra doit être invariante aux mouvements de celle-ci, les coefficients de son équation doivent être des fonctions des paramètres internes de la caméra mais ne doivent pas dépendre de sa position et de son orientation dans l'espace [8]. Il ne reste plus alors qu'à développer les algorithmes qui, à partir de correspondances entre images, calculent les paramètres internes pour aboutir à des procédures de calibration qui ne nécessitent plus l'utilisation de points d'amer dans la scène d'où une beaucoup plus grande flexibilité d'application [6]<sup>[FLM92,Luo92]</sup>.

### 3.2 Équations aux dérivées partielles et vision précoce

**Mots clés :** équation aux dérivées partielles, méthode de niveaux, restauration et amélioration d'images, stéréoscopie, suivi dans des séquences d'images.

Dans la section précédente nous avons mentionné deux points sur lesquels nous ne nous sommes pas appesantis. Le premier est celui des attributs d'images qu'il est nécessaire de calculer afin d'établir des correspondances entre points d'images. Le second est celui de l'invariance de certains éléments attachés aux images, par exemple celle des attributs précédents à des transformations monotones de l'intensité de l'image ou encore à des changements de point de vue. Nous avons aussi mentionné l'invariance du plan à l'infini par le groupe des transformations affines et celle de l'ombilic par celui des similitudes.

Ces deux remarques ont constitué le point de départ d'un ensemble de travaux de l'équipe dans lesquels nous avons essayé de reprendre les problèmes d'extraction d'attributs d'images de deux points de vue différents. Nous nous sommes tout d'abord efforcés de nous placer soit dans un cadre variationnel pour analyser les phénomènes dits de vision précoce, dont l'extraction d'attributs est un exemple, soit directement dans un cadre différentiel. Nous nous sommes aussi efforcés de développer des représentations invariantes de ces phénomènes. Notons tout d'abord que cette approche n'est pas révolutionnaire. Pour se limiter à quelques exemples, l'approche invariante est au cœur de la Morphologie Mathématique proposée par Serra et Matheron [Mat75,Ser82] et l'approche invariante et l'approche variationnelle/différentielle sont l'une des principales sources d'inspiration des travaux dits du Cérémade [AGLM92] ou des travaux sur

- 
- of the Optical Society of America A 12*, 3, mars 1995, p. 465–484, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/faugeras:95.ps.gz>.
- [Zel96] C. ZELLER, *Calibration Projective Affine et Euclidienne en Vision par Ordinateur*, thèse de doctorat, École Polytechnique, février 1996, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Thesis/zeller:96.ps.gz>.
- [FLM92] O. FAUGERAS, T. LUONG, S. MAYBANK, «Camera self-calibration: theory and experiments», in : *Proceedings of the 2nd European Conference on Computer Vision*, G. Sandini (éditeur), Springer-Verlag, p. 321–334, Santa Margherita, Italie, mai 1992.
- [Luo92] Q.-T. LUONG, *Matrice Fondamentale et Calibration Visuelle sur l'Environnement-Vers une plus grande autonomie des systèmes robotiques*, thèse de doctorat, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, décembre 1992.
- [Mat75] G. MATHERON, *Random Sets and Integral Geometry*, John Wiley & Sons, 1975.
- [Ser82] J. SERRA, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, Londres, 1982.
- [AGLM92] L. ALVAREZ, F. GUICHARD, P.-L. LIONS, J.-M. MOREL, «Axiomatisation et nouveaux opérateurs de la morphologie mathématique», *C.R. Acad. Sci. Paris*, 1992, p. 265–268, t. 315, Série I.

l'évolution invariante des courbes [GH86,Gra87,ST93].

Nos apports ont été de plusieurs types. Après un état de l'art sur l'utilisation des méthodes à base d'EDP en Image et Vision par Ordinateur [DF96], qui nous a permis de présenter un formalisme unifié pour les méthodes de restauration d'images et de commencer à appliquer ces méthodes aux problèmes de l'estimation de solutions discontinues en stéréo et flot optique [RD96,DKA95] nous avons étudié le problème de l'évolution projectivement invariante des courbes planes [FK96]. Cette étude était motivée par le désir de généraliser les travaux de Sapiro et Tannenbaum [ST93] ainsi que ceux d'Alvarez, Guichard, Lions et Morel [AGLM92] au cas projectif, étant donné que c'est plutôt l'invariance projective que l'invariance affine qui est pertinente en vision, comme nous l'avons dit dans la section précédente. Ceci nous a permis au passage de développer une méthode originale de calcul de la courbure affine d'une courbe plane (un invariant différentiel d'ordre 4) [FK95] et de nous familiariser avec la méthode dite des lignes de niveau pour résoudre les équations aux dérivées partielles issues des problèmes d'évolution de fronts, des problèmes de conservation hyperbolique, et des équations de Hamilton-Jacobi [Set96].

Partant de là, nous avons exploré deux grands aspects de la vision par ordinateur précoce : la stéréoscopie et le suivi de mouvement dans des séquences d'images. En stéréoscopie, nous nous sommes attachés à formuler (formaliser?) le problème sous forme variationnelle. L'idée de base est de considérer la scène comme un volume occupé par des objets dont on cherche les surfaces, observées par des caméras. Partant d'une surface arbitraire, on cherche à la déformer de telle manière qu'elle vienne se coller à la surface des objets présents sous l'influence de forces

- 
- [GH86] M. GAGE, R. HAMILTON, « The heat equation shrinking convex plane curves », *J. of Differential Geometry* 23, 1986, p. 69–96.
- [Gra87] M. GRAYSON, « The heat equation shrinks embedded plane curves to round points », *J. of Differential Geometry* 26, 1987, p. 285–314.
- [ST93] G. SAPIRO, A. TANNENBAUM, « Affine Invariant Scale Space », *The International Journal of Computer Vision* 11, 1, août 1993, p. 25–44.
- [DF96] R. DERICHE, O. FAUGERAS, « Les EDP en Traitement des Images et Vision par Ordinateur », *Traitement du Signal* 13, 6, 1996, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/deriche-faugeras:96b.ps.gz>.
- [RD96] L. ROBERT, R. DERICHE, « Dense Depth Map Reconstruction: A Minimization and Regularization Approach which Preserves Discontinuities », in: *Proceedings of the 4th European Conference on Computer Vision*, B. Buxton (éditeur), Cambridge, UK, avril 1996, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/robert-deriche:96.ps.gz>.
- [DKA95] R. DERICHE, P. KORNPBST., G. AUBERT, « Optical Flow Estimation While Preserving its Discontinuities: A Variational Approach », in: *Proceedings of the 2nd Asian Conference on Computer Vision*, 2/3, Singapore, décembre 1995, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/deriche-kornprobst-et-al:95.ps.gz>.
- [FK96] O. FAUGERAS, R. KERIVEN, « On projective plane evolution », in: *ICAOS'96*, M.-O. Berger, R. Deriche, I. Herlin, J. Jaffré, J.-M. Morel (éditeurs), *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, 219, Springer-Verlag, p. 66–73, 1996, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/faugeras-keriven:96.ps.gz>.
- [FK95] O. FAUGERAS, R. KERIVEN, « Scale-spaces and affine curvature », in: *Proceedings of Europe-China Workshop on Geometrical Modeling and Invariants for Computer Vision*, R. Mohr, C. Wu (éditeurs), Xidian University Press, p. 17–24, Xi'an, China, avril 1995, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/faugeras-keriven:95b.ps.gz>.
- [Set96] J. A. SETHIAN, *Level Set Methods*, Cambridge University Press, 1996.

généralisées par les mesures issues des caméras. On est exactement dans un cas où les méthodes de niveau s'appliquent bien : la surface en question est le passage par 0 d'une fonction définie en chaque point du volume de la scène (en pratique, la distance algébrique du point à la surface) et son évolution est régie par une équation aux dérivées partielles (edp) déduite des équations d'Euler-Lagrange issues de la formulation variationnelle du problème.

Nous avons d'abord traité le cas particulier où l'on ne dispose que de deux caméras et où l'on intersecte la scène par un plan arbitraire : ce plan coupe les surfaces des objets selon un ensemble de courbes qu'il s'agit de calculer au moyen des images. On exploite alors un résultat qui veut qu'un plan de l'espace induise une transformation homographique entre deux images, c.à.d. que les images d'un point du plan se correspondent par une transformation du groupe projectif de  $\mathcal{P}^2$  qui ne dépend que des positions relatives du plan et des deux caméras. L'homographie étant connue, les courbes précédentes sont obtenues en minimisant une fonctionnelle prenant en compte cette homographie et les mesures images. La minimisation se fait à partir des équations d'Euler-Lagrange qui sont résolues par une méthode de lignes de niveaux 2D, c'est-à-dire correspondant à l'évolution d'une surface de  $R^3$  dont les passages par zéro sont les courbes recherchées [DBF98].

Nous avons ensuite traité le cas général où l'on dispose d'un nombre arbitraire de caméras et où l'on cherche à reconstruire les surfaces entièrement. Nous avons établi les équations d'Euler-Lagrange d'une vaste classe de fonctionnelles qui décrivent le problème de la stéréoscopie. Ces équations sont intéressantes car, d'une part, nous les avons formulées de manière intrinsèque, c'est-à-dire indépendamment de la façon dont on paramètre les surfaces des objets, et, d'autre part, elles font apparaître de manière très simple (mais que nous ne comprenons pas encore complètement) la première et deuxième forme fondamentale de ces surfaces c'est-à-dire, bien sûr, la géométrie intrinsèque de celles-ci [FK97][3].

Le second aspect mentionné plus haut est celui du suivi de mouvement dans des séquences d'images. L'idée de base de l'approche est, comme dans le cas de la stéréoscopie, de formuler le problème de la détection *et* du suivi des objets comme celui de la minimisation d'une certaine fonctionnelle qui prend en compte à la fois le champ des vitesses image et le gradient de l'intensité. Là encore, les équations d'Euler-Lagrange du critère conduisent à une edp qui est résolue par la méthode des lignes de niveau, dont le gros avantage pour cette application est la possibilité qu'elle offre de gérer de manière automatique les changements de topologie des objets suivis [PD98].

Une autre direction de recherche connexe à la précédente consiste à exprimer sous forme variationnelle des problèmes où l'on calcule une image à partir d'une autre image et à étudier

- 
- [DBF98] R. DERICHE, S. BOUVIN, O. FAUGERAS, «Front Propagation and Level-Set Approach for Geodesic Active Stereovision», *in: Third Asian Conference On Computer Vision*, Bombay, Inde, janvier 1998, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/deriche-bouvin-et-al:98.ps.gz>.
- [FK97] O. FAUGERAS, R. KERIVEN, «Level set methods and the Stereo Problem», *in: Proc. of First International Conference on Scale-Space Theory in Computer Vision*, B. ter Haar Romeny, L. Florack, J. Koenderink, M. Viergever (éditeurs), *Lecture Notes in Computer Science*, 1252, Springer, p. 272-283, 1997.
- [PD98] N. PARAGIOS, R. DERICHE, «A PDE-based Level Set Approach for Detection and TRacking of Moving Objects», *in: Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision*, IEEE Computer Society, IEEE Computer Society Press, Bombay, Inde, janvier 1998, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/paragios-deriche:98.ps.gz>.

et résoudre l'edp issue des équations d'Euler-Lagrange. La méthode des lignes de niveau qui s'appliquait bien dans les cas de la stéréoscopie et du suivi de contours s'impose moins ici mais la démarche générale demeure identique.

Nous avons traité deux problèmes de ce type. Le premier est celui de la restauration non-linéaire d'images bruitées et, éventuellement, floues. Le second, celui du calcul du champ des vitesses image. Dans le premier cas, on part d'une image bruitée et dégradée par un flou inconnu et on cherche à calculer une image débruitée et plus contrastée. L'approche variationnelle est très pertinente et, tout en nous ayant permis d'unifier un grand nombre de méthodes apparues de manière indépendantes dans la littérature récente, nous a aussi, et surtout, conduit à des résultats spectaculaires [KDA97,KDA98]. L'extension à des séquences d'images bruitées a été naturelle et a permis de coupler détection d'objets en mouvement et restauration [KDA99]. Une étude mathématique de l'existence et l'unicité des EDP considérées a été effectuée en collaboration étroite avec G. Aubert de l'université de Nice. Actuellement, une généralisation au cas des images vectorielles du modèle développé est en train d'être menée avec des applications à l'imagerie couleur, aux tenseurs de Diffusion, et de manière générales à des données vectorielles éventuellement contraintes.

Dans le second cas, le calcul du champ des vitesses, on part d'une séquence d'images et on cherche à calculer une nouvelle séquence d'images vectorielles où le vecteur calculé en chaque pixel représente sa vitesse. Le problème dans ce cas est que, d'une part, on ne peut mesurer en chaque pixel que la vitesse dans la direction du gradient, et que, d'autre part, on cherche à préserver au mieux les discontinuités du champ des vitesses car elles correspondent souvent à des changement d'objet dans la scène. L'approche variationnelle est ici encore très pertinente [DKA95,ADK99]

Plus récemment encore, dans une collaboration internationale avec L. Alvarez et J. Weickert, la méthodologie à base d'EDP a été appliquée au problème de l'estimation dense de cartes de profondeur à partir d'une paire d'images d'un système stéréo faiblement calibré [17, 27]. Ces travaux, qui complètent nos précédents travaux sur la résolution du problème de la stéréo dense avec préservation des discontinuités de profondeur, offrent surtout un cadre remarquable pour traiter le problème plus général de la régularisation de données sous contraintes, thème

- 
- [KDA97] P. KORNPBOST, R. DERICHE, G. AUBERT, « Nonlinear operators in image restoration », *in: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, p. 325–331, San Juan, Puerto Rico, juin 1997, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/kornprobst-deriche-et-al:97.ps.gz>.
- [KDA98] P. KORNPBOST, R. DERICHE, G. AUBERT, « EDP, Débruitage et Réhaussement en Traitement d'Image: Analyse et Contributions », *in: 11 ème Congres RFIA, AFCET*, janvier 1998, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/kornprobst-deriche-et-al:98.ps.gz>.
- [KDA99] P. KORNPBOST, R. DERICHE, G. AUBERT, « Image Sequence Analysis via Partial Differential Equations », *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 11, 1, octobre 1999, p. 5–26, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/kornprobst-deriche-et-al:99.ps.gz>.
- [DKA95] R. DERICHE, P. KORNPBOST., G. AUBERT, « Optical Flow Estimation While Preserving its Discontinuities: A Variational Approach », *in: Proceedings of the 2nd Asian Conference on Computer Vision, 2/3*, Singapore, décembre 1995, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/deriche-kornprobst-et-al:95.ps.gz>.
- [ADK99] G. AUBERT, R. DERICHE, P. KORNPBOST, « Computing Optical Flow via Variational Techniques », *SIAM Journal on Applied Mathematics* 60, 1, 1999, p. 156–182, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/aubert-deriche-et-al:99.ps.gz>.

sur lequel nous nous investissons de plus en plus.

Dans ce même axe, nous avons continué à contribuer au problème de la segmentation en analyse d'images, et proposé un formalisme nouveau, le modèle des *Régions Actives Géodésiques*, pour adapter et étendre la notion des contours actifs géodésiques à la prise en compte d'informations relatives aux régions délimitées par les contours actifs. Le formalisme de *Régions Actives Géodésiques* a été décliné et instancié sur trois types de problèmes importants en Vision par Ordinateur: la segmentation d'image, la segmentation supervisée d'images texturées, et la détection, le suivi et l'estimation du mouvement d'objets mobiles dans une séquence d'images. Dans toutes ces applications, l'approche adoptée a consisté à reformuler de manière très élégante le problème en une approche variationnelle qui fait usage des informations de frontière et de régions. Une mise en œuvre astucieuse à l'aide du formalisme des ensembles de niveaux permet une résolution très performante des applications considérées en permettant d'évoluer, avec possibilité de changement de topologie, une ou plusieurs courbes initiales vers la ou les frontières des objets d'intérêt. Cette possibilité de segmentation active combinant contours et régions par une approche variationnelle unificatrice combinant des concepts habituellement séparés comme les contours et les régions a fait avancer de manière notable l'État de l'Art du domaine du traitement numérique des images et de la Vision par Ordinateur et constitue depuis une référence incontournable du domaine [23, 24]<sup>[PD99b,PD99a]</sup>.

Les possibilités d'application et de valorisation des travaux développés dans cet axe sont multiples tant les approches développées se trouvent à la base de plusieurs applications d'importance : on notera en particulier les domaines du traitement des données bruitées et floues dans le cadre de l'aide à la police judiciaire (Projet Improofs et relations avec FSS&Scotland-Yard, NICC-Belgique), la restauration des films d'archives (collaboration avec DUST.S.A), le suivi d'objets en mouvements et détection de textures (RealViZ), la mise en correspondance de cartes bathymétriques (Ifremer)...

Toutes ces tentatives définissent donc à notre avis un domaine de recherche très riche en applications et qui reste en grande partie inexploré : établir, analyser et résoudre numériquement de manière efficace et précise les équations aux dérivées partielles qui régissent la vision précoce, voilà un beau défi à relever !

## 4 Logiciels

### 4.1 Robotvis++

#### 4.1.1 Librairies

**Participants** : Théodore Papadopoulo, José Gomes, Jacques Bride, Cyrille Gauclin,

---

[PD99b] N. PARAGIOS, R. DERICHE, « Geodesic Active Regions for Supervised Texture Segmentation », *in: Proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision*, IEEE Computer Society, IEEE Computer Society Press, Kerkyra, Greece, septembre 1999, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/paragios-deriche:99d.ps.gz>.

[PD99a] N. PARAGIOS, R. DERICHE, « Geodesic Active Regions for Motion Estimation and Tracking », *in: Proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision*, IEEE Computer Society, IEEE Computer Society Press, Kerkyra, Greece, septembre 1999, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/paragios-deriche:99d.ps.gz>.

Gerardo Hermosillo.

Un gros effort a été mené pour organiser le logiciel du projet sous forme de bibliothèques C++ utilisables par tous. Ces bibliothèques sont en cours d'évolution mais parmi les fonctionnalités d'ores et déjà présentes, on trouve :

- Utilitaires variés : primitives géométriques, opérations de base sur les images, entrées-sorties, méthodes d'optimisation, ...
- Évolution de surfaces par les méthodes d'ensembles de niveaux : cette implémentation est basée sur des tableaux creux permettant de limiter l'explosion mémoire relative à l'augmentation de la dimension.
- Calcul de la géométrie d'un système de caméras à partir de différents types de primitives.

## 4.2 ps2html

**Participants :** Théodore Papadopoulo, José Gomes, Gerardo Hermosillo, Jean-Luc Szpyrka.

**ps2html** est un petit logiciel destiné à générer des présentations html interactives à partir d'un fichier postscript contenant une suite de transparents pouvant être obtenu de quelque manière que ce soit ( $\text{\LaTeX}$ , framemaker, ...). Le postscript sert à générer un ensemble d'images. Du JavaScript (fonctionnant uniquement avec netscape 4.7x pour l'instant) est utilisé pour permettre la navigation entre les différentes images de la présentation. **ps2html** sait par ailleurs récupérer des marqueurs hypertextes éventuellement placés dans le postscript, pour créer des hyperliens html (testé uniquement avec des postscript créés avec  $\text{\LaTeX}$  et dvips). Cet outil a été utilisé pour générer la quasi-totalité des présentations de conférences et de cours du projet cette année et a déjà été diffusé à quelques exemplaires à l'extérieur du projet et de l'UR de Sophia.

» Présentation de ps2html

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/ps2html/index.html>

## 5 Résultats nouveaux

### 5.1 Géométrie d'un système de caméras et applications

**Mots clés :** géométrie projective, géométrie affine, géométrie euclidienne, étalonnage de caméras, stéréoscopie multivue, polynôme, variété algébrique, ensemble caractéristique, algèbre double et relations de Plücker.

#### 5.1.1 Stéréo d'Images Couleurs

**Participants :** Rachid Deriche, Philippe Montesinos, Valérie Gouet.

**Mots clés :** stéréovision, estimation dense de carte de profondeur, EDP, Existence et unicité de solution, multi-résolution.

Nous nous sommes intéressés au problème de l'appariement de points d'intérêts extraits à partir d'images en couleur. Pour cela, nous avons commencé par développer une technique d'extraction de points d'intérêts

couleurs. Nous basant sur la notion de gradient multi-spectral, nous avons proposé deux nouveaux détecteurs de points d'intérêts qui généralisent au cas de la couleur les travaux de Harris et Stephens et ceux de Kitchen et Rosenfeld. Une méthode d'évaluation basée sur des critères de répétabilité et de localisation a été mise en œuvre afin de tester et comparer la robustesse de ces deux techniques. Nous avons ensuite mis en œuvre une approche basée sur l'utilisation d'invariants différentiels couleur d'ordre 1 pour traiter le problème de l'appariement. Une méthode de normalisation face aux changements d'illumination y est aussi proposée ainsi qu'une méthode robuste pouvant s'appliquer sur de grands nombres de points. Un algorithme de relaxation basée sur des contraintes semi-locales et des contraintes géométriques est aussi proposé, et enfin un algorithme incrémental basé sur la géométrie épipolaire et une contrainte de semi-planarité locale utilisant la triangulation de Delaunay est développé afin de réduire la complexité et limiter les faux appariement. L'article [22] décrit l'approche complète alors que l'article [36] ne traite que la partie dédiée à l'extraction des points d'intérêts en images couleur.

### 5.1.2 Autocalibration

**Participants :** Rachid Deriche, Manolis Lourakis.

**Mots clés :** autocalibration, équations de Kruppa, SVD, propagation d'erreurs, reconstruction et mesures 3D, paramètres intrinsèques variables.

Nous avons poursuivi nos travaux sur l'auto-calibration d'une caméra à partir d'un ensemble de points appariés entre différentes images. Une première approche, qui se base sur la décomposition en valeurs singulières de la matrice fondamentale et sur l'hypothèse que les paramètres intrinsèques sont constants, est décrite dans l'article publié dans [43]. Une seconde approche qui généralise l'étude au cas d'une caméra à paramètres intrinsèques variables au cours du temps est décrite dans le rapport de recherche [52].

» Démonstration et présentation html

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/AutoCal/autocaldemo.html>

### 5.1.3 Utilisation de formes particulières de matrices pour estimation plus efficace des matrices d'homographies et fondamentales.

**Participant :** Diane Lingrand.

**Mots clés :** homographies, matrices fondamentales, formes particulières, cas particuliers.

Ces travaux font suite à une étude menée depuis 1995 concernant les cas particuliers de mouvements, de structure et de projection dans des séquences monoculaires non calibrées. Par l'utilisation de formes particulières de matrices, on s'est affranchi d'une trop grande complexité algorithmique [39, 40, 41].

### 5.1.4 Localisation et Calibration avec un Zoom.

**Participants :** François Gaspard, Thierry Viéville.

**Mots clés :** étude du zoom, homographies, localisation 3D, calibration, estimation paramétrique.

François Gaspard a finalisé les développements algorithmiques et les expérimentations sur l'analyse non calibrée du mouvement de points par rapport au mouvement de structures planes, dans le cas d'un objectif à focale variable. Dans ce cadre, il a développé une méthode originale de minimisation de critères d'estimation paramétrique [30], cette dernière approche ayant déjà été utilisée par ailleurs [56].

### 5.1.5 Implémentation de méthodes multi-modèles d'estimation paramétrique.

**Participants :** François Gaspard, Diane Lingrand, Thierry Viéville.

**Mots clés :** estimation non-linéaire, estimation robuste, estimation paramétrique, multi-modèles.

Nous avons revisité le problème de l'estimation paramétrique en vision par ordinateur, reconsidérant et implémentant ce qui pourrait s'appeler la méthode d'estimation de Kanatani, présentée ici comme un simple problème d'optimisation, donc (a) sans référence directe à un cadre probabiliste mais (b) en considérant (i) des équations de mesures et des contraintes non-linéaires, (ii) une stratégie d'estimation robuste en présence de mesures erronées, (iii) en mettant en concurrence plusieurs modèles au sein d'une hiérarchie [55].

Cela nous a permis de thésauriser les développements méthodologiques réalisés au cours de plusieurs études précédentes.

### 5.1.6 Interaction Symbolique et Numérique; Application à la Vision Artificielle

**Participants :** Didier Bondyfalat, Théodore Papadopoulo, Bernard Mourrain.

**Mots clés :** photomodélisation, contraintes géométrique, auto-calibration.

Les techniques de photomodélisation classiques ne prennent en compte que la géométrie du système de prise de vues. Dans de nombreuses situations, cependant, de nombreuses contraintes peuvent être exprimées sur la géométrie de la scène observée (orthogonalités, parallélismes, ...). Depuis plusieurs années maintenant, nous nous sommes intéressés à étudier comment la prise en compte de telles contraintes peut être intégrée dans le processus de photomodélisation. Deux pistes ont été suivies :

- La première piste, symbolique, consiste à obtenir un modèle articulé de la scène à reconstruire à partir des primitives et des contraintes qui décrivent cette scène. Ce modèle articulé est alors ajusté aux observations afin d'obtenir une reconstruction.
- Une seconde piste, plus numérique, considère le cas particulier où l'on dispose d'un plan de la scène à reconstruire. La connaissance de ce plan permet l'utilisation de certaines propriétés géométriques de la scène au plus tôt dans le processus de photomodélisation : on peut exprimer ces propriétés directement à partir des mesures image. On obtient ainsi un algorithme d'étalonnage essentiellement linéaire prenant en compte les propriétés de la scène.

L'ensemble de ces travaux a été réalisé dans le cadre du contrat CUMULI qui s'est fini cette année et a fait l'objet de deux parties de la thèse de Didier Bondyfalat [11] qui a été rédigée cette année.

» Présentation html

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/ATPVision/>

### 5.1.7 Calcul de la Jacobienne de la Décomposition en Valeurs Singulières: Théorie et applications

**Participants :** Manolis Lourakis, Théodore Papadopoulo.

**Mots clés :** décomposition en valeurs singulières, Jacobienne, incertitude, calibration, structure à partir du mouvement.

La technique de Décomposition en Valeurs Singulières (SVD) d'une matrice est un outil algébrique qui a trouvé de nombreuses applications en vision par ordinateur. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés au problème de l'estimation de la jacobienne de la SVD par rapport aux coefficients de la matrice initiale. Cette jacobienne est très utile pour toute une gamme d'applications faisant intervenir des estimations aux moindres carrés (pour lesquelles on utilise la SVD) ou bien des calculs d'incertitude pour des grandeurs estimées de cette manière. Une solution analytique simple existe à ce problème : la jacobienne s'exprime à partir de la SVD de la matrice à l'aide d'opérations très simples d'algèbre linéaire. L'utilité et la généralité de la technique est

démontrée en l'appliquant à trois problèmes de vision: l'auto-calibration, le calcul d'épipoles et l'estimation de mouvements rigides.

Pour plus de détails, voir l'article [44] ou le rapport de recherche [53].

» Présentation html

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/SVDJac/index.html>

### 5.1.8 Estimation de la matrice fondamentale par corrélation dense

**Participants** : Cyrille Gauclin, Théodore Papadopoulo.

**Mots clés** : matrice fondamentale, corrélation, stéréo dense, multi-échelle, rectification..

Généralement, les méthodes de stéréoscopie par corrélation à partir d'images non étalonnées procèdent en deux étapes. Tout d'abord, elles commencent par établir la géométrie épipolaire (matrice fondamentale) à partir de quelques correspondances de points entre les images. Ensuite, ces images sont rectifiées, puis, une carte de disparité est calculée à l'aide de mesures de corrélation (somme des différences au carré ou corrélation croisée par exemple). Dans ce travail, nous proposons de rendre le procédé itératif et de créer une boucle de rétro-action, c'est à dire d'utiliser les scores de corrélation comme information supplémentaire permettant l'estimation de la géométrie épipolaire. Cette boucle permet d'améliorer simultanément la géométrie épipolaire et la carte de disparité. La méthode n'est pas en soi limitée à une technique de corrélation particulière, mais une nouvelle méthode de corrélation basée sur l'utilisation de filtres récursifs est utilisée dans ce travail. Cette méthode possède l'avantage de permettre une corrélation pondérée et multi-résolution sans pour autant entraîner d'augmentation importante des temps de calcul. Les résultats présentés ont été obtenus à partir d'images de synthèse, de paires d'images réelles de visages ainsi que d'images prises au microscope électronique à balayage (MEB).

Pour plus de détails, voir l'article en anglais ou en français [32, 31].

» Présentation html

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/FDense/index.html>

### 5.1.9 Suivi de mouvements articulés avec plusieurs caméras

**Participants** : Quentin Delamarre, Olivier Faugeras.

**Mots clés** : suivi de mouvements, modèle 3D articulé du corps humain, reconstruction 3D, segmentation du mouvement, dynamique d'un système articulé, multi-caméra.

Nous sommes parvenus à estimer les variations des paramètres du mouvement d'une personne filmée par plusieurs caméras vidéo, sans l'aide d'aucun capteur. Pour ce faire, nous extrayons des images des informations dont le type dépend de la distance entre les caméras

- Caméras proches: un modèle 3D articulé de la main converge sur une reconstruction 3D calculée par stéréo-corrélation de la main de l'utilisateur.
- Caméras éloignées: les projections dans les images d'un modèle 3D articulé du corps humain convergent vers les contours de la silhouette de la personne filmée, calculés grâce à des contours actifs géodésiques.

La convergence est réalisée en minimisant une énergie potentielle créée par des forces entre le modèle 3D et les informations extraites des images.

Pour plus de détails, voir l'article [28].

### 5.1.10 Synthèse de films réalistes à partir de photographies.

**Participants** : Frédéric Abad, Olivier Faugeras, Imad Zoghlami.

**Mots clés** : rendu réaliste, couches, masques, segmentation, planar-key, graphcut.

Une méthode de rendu réaliste multicouche assurant une combinaison optimale des images de référence a été précédemment développée et validée. Elle nécessitait une étape de pré-traitement au cours de laquelle les masques associés aux différentes couches 3D de la scène étaient extraits des images de référence.

Une segmentation automatique de ces caches, faisant appel à la connaissance de la structure 3D de la scène (*planar-key*), a donc été étudiée, implémentée et validée. Le problème, posé sous la forme d'une minimisation d'énergie, est résolu par la recherche de la coupe minimale dans un graphe particulier (*graphcut*). La méthode proposée inclut également un post-traitement capable de corriger les erreurs d'étiquetage dues à des artefacts spécifiques au *planar-key*, les ombres d'occultation.

» Présentation html

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/RenduRealiste/>

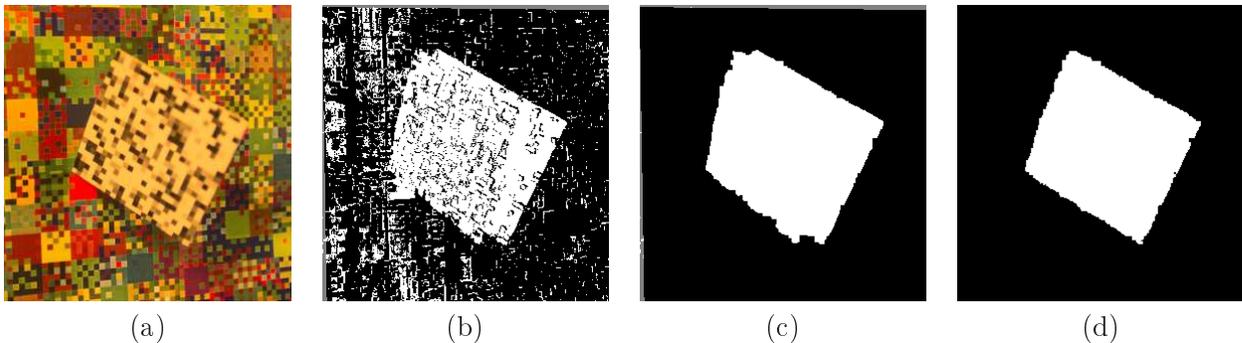


FIG. 1 – (a) image à segmenter (b) segmentation par une méthode classique (avec ombres d'occultation) (c) segmentation par la méthode graphcut développée (avec ombres d'occultation) (d) segmentation par graphcut (ombres d'occultation supprimées)

### 5.1.11 Méthodes linéaires directes pour l'étalonnage de séquences d'images

**Participants** : Jacques Bride, Peter Meer, Imad Zoghlami, Théodore Papadopoulos.

**Mots clés** : estimation linéaire de paramètres, hétéroscédasticité, étalonnage de caméra.

Ce travail a pour objectif l'étalonnage d'une séquence d'images vidéo de manière automatique et rapide, sans utiliser de correspondances explicites. Sous l'hypothèse de faible différence entre chaque image successive, et la contrainte qu'une majeure partie de la scène reste immobile dans le temps, nous estimons simplement la variation des paramètres de la caméra au cours du temps.

L'utilisation de la contrainte normale du flot optique, couplée à un modèle paramétrique minimal du mouvement de la caméra, nous donne un système d'équation linéaire en la variation des paramètres de projection à estimer. C'est une méthode directe dans le sens que seules les mesures des gradients spatiaux-temporels de la séquence sont utilisées pour estimer les paramètres globaux de transformation, sans étapes intermédiaires. Un processus itératif multi-échelle de type Newton-Raphson permet d'affiner l'estimation et de traiter des séquences avec de plus grands changements.

Néanmoins, toute utilisation d'un modèle autre qu'une simple translation introduit une amplification non homogène des propriétés statistiques du bruit des mesures (hétéroscédasticité), et donc une précaution parti-

culière est à prendre lors de la résolution de tels systèmes linéaires [21].

» Présentation html

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/LinDirectSeqCalib/index.html>

### 5.1.12 Localisation et Calibration avec un Zoom.

**Participants** : Chin-Hwee Peh, Thierry Viéville.

**Mots clés** : perception du mouvement, psychométrie, calibration.

On a cherché à mettre en évidence la façon dont le système visuel gère les paramètres de calibration intrinsèques de l'œil au niveau de la perception du mouvement.

En vision par ordinateur, cette approche était déjà bien développée, tant du point de vue géométrique qu'algébrique. L'hypothèse de ce travail est que la perfection visuelle biologique doit elle aussi être basée sur de tels mécanismes. Son but a été de mettre en place des protocoles qui puissent le mettre en évidence [54].

Ce travail a été le fruit d'une collaboration avec Jacques Droulez, du LPPA au Collège de France et Chin-Hwee Peh de l'université Nationale de Singapour, invité trois mois dans notre laboratoire.

### 5.1.13 Géométrie des systèmes de plusieurs caméras

**Participants** : Olivier Faugeras, Quang-Tuan Luong, Théodore Papadopoulo.

Les résultats de dix ans de recherche du projet et de certains de ses proches collaborateurs dans le domaine de l'application de la géométrie à la vision par ordinateur ont été synthétisés et rédigés. L'ouvrage qui en résulte est sur le point d'être publié sous la forme d'une monographie de recherche chez MIT-Press [4].

## 5.2 Méthodes variationnelles, EDPs et applications

### 5.2.1 EDP et ensembles de niveau pour la détection et le suivi d'objets en mouvement

**Participants** : Rachid Deriche, Nikos Paragios.

**Mots clés** : détection et suivi d'objets en mouvement, estimation de mouvement, EDP, méthodes d'ensembles de niveaux.

Nos travaux de détection et de suivi d'objets en mouvement dans une séquence monoculaire d'images ont été poursuivis par la prise en compte de l'estimation du mouvement des objets détectés et suivis. Ces travaux ont été publiés et présentés dans plusieurs revues et conférences nationales et internationales. L'article paru dans IEEE PAMI [23] traite du problème de la détection et du suivi en faisant appel aux contours actifs géodésiques, alors que l'article [24] traite du problème de la détection, du suivi et de l'estimation du mouvement à l'aide du modèle de *régions actives géodésiques*. En relation avec ces travaux, on notera en particulier la thèse [14] soutenue cette année par N. Paragios ainsi que l'article accepté dans IJVCIP [24] qui traite du développement et de l'application du modèle de *régions actives géodésiques* à plusieurs applications en vision dont celles liées à l'analyse et l'estimation du mouvement.

Les approches développées ont été validées sur plusieurs séquences d'images réelles.

» Démonstration

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/SuiviLS/index.html>

### 5.2.2 EDP et ensembles de niveau pour la segmentation d'images

**Participants :** Rachid Deriche, Nikos Paragios.

**Mots clés :** segmentation, textures, EDP, méthodes d'ensembles de niveaux, mixtures de Gaussiennes.

Nous avons poursuivi nos travaux sur le problème de la segmentation non supervisée d'images et sur celui de la segmentation supervisée d'images texturées. Ces travaux ont été publiés et présentés lors de conférences nationales et internationales. L'article [46] traite du problème de l'application du modèle des *Régions actives géodésiques* pour la segmentation supervisée d'images texturées, alors que l'article [45] traite du problème de la segmentation non supervisée d'images. En relation avec ces travaux, on notera aussi la thèse [14] soutenue cette année par N. Paragios ainsi que l'article accepté dans IJVCIP [24] qui traite aussi du développement et de l'application du modèle de *régions actives géodésiques* au problème de la segmentation supervisée et non supervisée. Les approches développées ont été validées sur plusieurs images réelles.

» Démonstration sur la segmentation d'image  
» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/SegImageLS>

» Démonstration sur la segmentation de texture  
» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/SegImageLS>

### 5.2.3 EDP et Stéréo

**Participants :** Rachid Deriche, Luis Alvarez, Xavier Sanchez, Joachim Weickert.

**Mots clés :** stéréovision, estimation dense de carte de profondeur, EDP, existence et unicité de solution, multi-résolution.

Nous nous sommes intéressés au problème de l'estimation dense de cartes de profondeur à partir d'une paire d'images obtenues à l'aide d'un système stéréoscopique faiblement calibré. L'accent de la méthode développée est mis principalement sur une estimation en accord avec les discontinuités en niveaux de gris présentes dans les images et sur l'analyse mathématique de l'EDP associée à la résolution de ce problème. On suppose connue la géométrie épipolaire, et on intègre cette information dans un cadre variationnel, avec une contrainte sur la disparité à estimer afin que ses discontinuités correspondent au mieux à ceux observés sur les images. L'équation d'Euler-Lagrange associée est dérivée; l'existence et l'unicité de la solution de l'EDP parabolique associée est prouvée et sa solution approchée par une technique de descente de gradient. Une approche multi-échelle linéaire est enfin mise en œuvre afin d'augmenter les performances en convergence de la méthode proposée. Plusieurs résultats expérimentaux, obtenus sur des images synthétiques et réelles, illustrent les différentes potentialités de cette nouvelle approche qui permet d'intégrer dans un même formalisme le problème de l'estimation de cartes de profondeur et celui de la prise en compte des discontinuités en niveau de gris dans les images. L'article accepté dans IJVCIP [17] est une version améliorée du rapport de recherche et de l'article publié dans MVA'2000 [27].

» Démonstration  
» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/Stereo>

### 5.2.4 EDP et Filtrage récursif

**Participants :** Rachid Deriche, Luis Alvarez, Francisco Santana.

**Mots clés :** équation de la chaleur, filtrage récursif, conditions aux limites, EDP linéaires et non-linéaire, filtrage isotrope et non-isotrope.

Nous avons étudié les liens qui existent entre la mise en œuvre récursive d'une certaine classe d'opérateurs en traitement d'image et la résolution numérique de l'EDP parabolique associée à l'équation de la chaleur. Nous nous sommes intéressés en particulier à l'opérateur de lissage du second ordre associé au filtre optimal de détection de contour, issu de nos premiers travaux dans le domaine et nous avons pu mettre en lumière son

lien direct avec une implantation particulière de l'équation de la chaleur sous certaines conditions aux bords. Ceci a ensuite été utilisé pour introduire une classe de filtres récurrents non-linéaires qui permettent de mettre en œuvre des régularisations anisotropes. L'article [26] décrit en détail ce travail effectué dans le cadre d'une action intégrée PAI Picasso.

### 5.2.5 Représentations implicites des variétés déformables de codimension supérieure à un

**Participants :** José Gomes, Olivier Faugeras.

**Mots clés :** codimension supérieure à un, représentations implicites, méthode des surfaces de niveaux, fonctions distance vectorielles.

Les travaux initiés l'an passé sur la représentation implicite des hypersurfaces déformables ont été publiés cette année dans un journal international, une conférence internationale et deux conférences nationales [18] [33] [34] [35].

Nous avons ensuite commencé la généralisation de cette théorie à des objets comme celui présenté dans la Figure 2, la principale difficulté étant de représenter des variétés de codimension supérieure à un. Une première approche [51] a consisté à étudier l'intersection de plusieurs hypersurfaces. Cette approche n'étant pas assez générale, nous avons inventé une représentation plus intrinsèque, appelée la méthode des «Fonctions Distance Vectorielles» (VDF) [50], qui permet de représenter de manière homogène des variétés de codimension arbitraire. Des résultats théoriques ont été publiés dans une conférence internationale [29] et l'expérimentation a débuté.

» Démonstration

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/CurvesAndSurfaces/images/cortex.html>

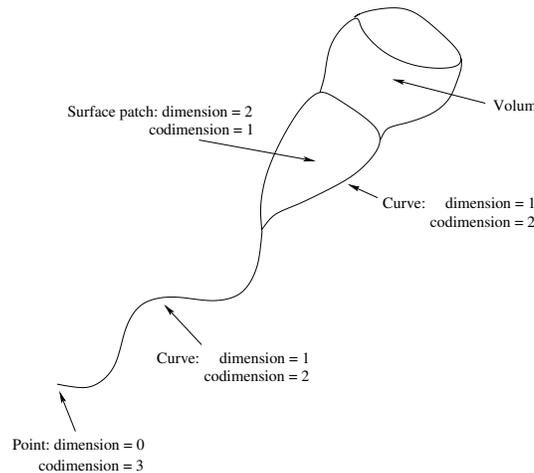


FIG. 2 – Exemple d'objet réunion de sous-variétés de différentes dimension

### 5.2.6 EDP et Images Vectorielles

**Participants :** Rachid Deriche, David Tschumperlé.

**Mots clés :** régularisation avec préservation des discontinuités, équations aux dérivées partielles, images

vectérielles, images couleurs, champs de direction, données du tenseur de diffusion, contraintes.

Suite à nos précédents travaux qui nous avaient permis de traiter et d'unifier le problème de la restauration avec préservation des discontinuités d'images scalaires bruitées et floues au sein d'un même formalisme à base d'EDP, nos efforts actuels portent sur la généralisation de cette approche au cas du traitement des images vectorielles, dont les composantes peuvent être contraintes. Les objectifs visés touchent à la régularisation avec préservation des discontinuités de données bruitées telles que :

- images vectorielles représentées dans un espace non contraint (image couleur RVB, etc),
- images vectorielles représentées dans un espace contraint (image couleur chromaticité et intensité, image de champs de direction, image de flot optique normalisé etc..),
- données tensorielles de diffusion obtenues par imagerie IRMd.

Quelques exemples de résultats obtenus sur des images vectorielles avec et sans contraintes sont illustrées par la Figure 3

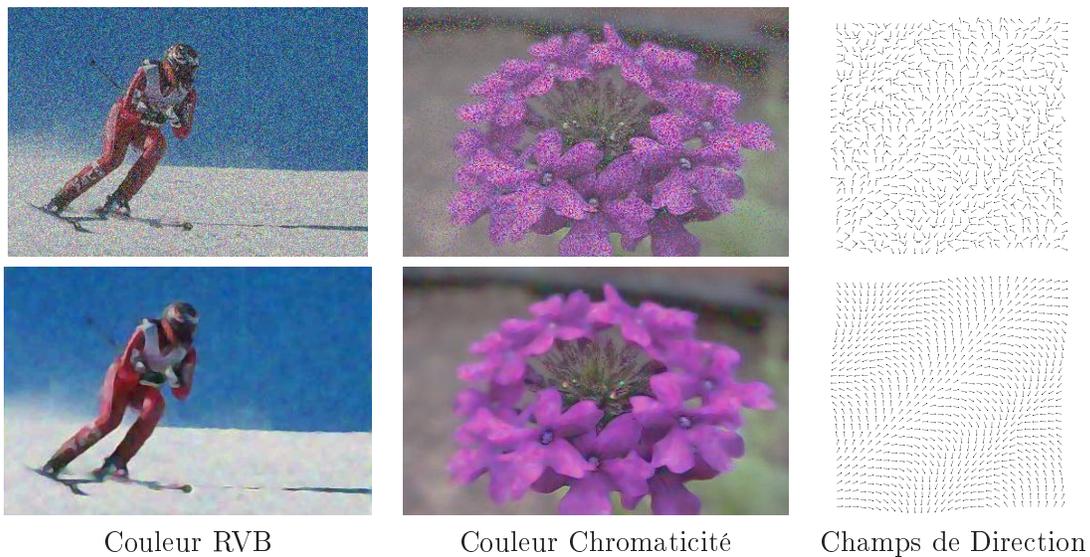


FIG. 3 – Quelques exemples d'applications. Ligne supérieure: données bruitées. Ligne inférieure: données restaurées

Pour plus de détails, voir l'article paru à RFIA'2000 [47].

» Démonstration

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/VectorRestoration>

### 5.2.7 Suivi d'objets en mouvement par groupement perceptuel

**Participants :** Pierre Kornprobst, Gérard Médioni.

**Mots clés :** analyse de séquence, segmentation, suivi, vote tensoriel, groupement perceptuel.

Ce travail fait suite à la méthode de segmentation de séquence par approche variationnelle [?]. Pour une séquence à caméra fixe (fond statique), cette méthode nous permettait d'obtenir une labélisation des pixels appartenant soit au fond, soit à un objet en mouvement.

Notre objectif a été de réaliser un suivi des objets à partir de cette donnée. En particulier, nous nous sommes intéressés aux problèmes d'occlusion, regroupement, défauts de détection qui rendent le problème du suivi difficile (voir la Figure 4).

L'approche est basée sur une représentation spatio-temporelle des régions en mouvement et utilise une technique de groupement perceptuel (vote tensoriel ou *Tensor Voting*) pour imposer des contraintes de régularité sur les régions suivies, en terme de taille et de localisation. Comme le montre la Figure 4, le résultat obtenu est une correction de la détection des objets avec leur trajectoire.

Pour plus de détails, voir [20][19].

» Démonstration

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/SuiviTV/track.html>



FIG. 4 – Illustration de cas difficiles pour le problème du suivi. Ligne supérieure: la boîte englobante des régions détectées en mouvement est représentée. Ligne inférieure: résultat du suivi (les boîtes englobantes sont corrigées et les trajectoires sont calculées)

### 5.3 Outils pour l'Imagerie cérébrale

#### 5.3.1 Utilisation de marqueurs pour compenser le déplacement dans une séquence d'images volumiques d'IRM.

**Participant :** Thierry Viéville.

**Mots clés :** imagerie IRM, compensation de mouvement, estimation paramétrique.

Dans cette étude, on a proposé de compenser les déplacements et les distorsions observées au sein de séquences d'images IRM à l'aide de marqueurs fixés sur le crâne du sujet.

On a développé une méthode multi-modèles, basée sur une interpolation sous-voxélique de la géométrie, connue, du marqueur utilisé. On analyse les performances, limites et perspectives de la méthode [56].

Ce travail s'est fait dans le cadre des ARC sur ce sujet et en préliminaire au projet Mapawamo (section 6.3.5).

### 5.3.2 Recalage 3D de données IRMa et EEG/MEG (headshape)

**Participants :** Gloria Haro Ortega, Théodore Papadopoulo.

**Mots clés :** recalage, IMRa, MEG/EEG, headshape.

Un étude a été menée concernant le recalage d'images du cerveau qui proviennent de deux modalités différentes: IRMa (IRM anatomique) et le head-shape associé à l'acquisition MEG/EEG. La méthode utilisée est basée sur la segmentation de la peau à partir de l'image IRM pour obtenir une surface, et sur la recherche d'une transformation rigide (translation et rotation) entre l'ensemble de points qui représentent le headshape et cette surface. Par rapport à la recherche de la transformation rigide optimale, deux méthodes ont été étudiées et comparées sur des données synthétiques et réelles.

### 5.3.3 Mise en correspondance d'images multimodales

**Participants :** Gerardo Hermosillo, Olivier Faugeras.

**Mots clés :** recalage, équations fonctionnelles, calcul variationnel, information mutuelle, rapport de corrélation, corrélation croisée.

Le problème qu'on cherche à résoudre est celui de trouver des correspondances entre deux images lorsque celles-ci sont prises par des capteurs à réponses très différentes, par exemple lorsqu'on veut fusionner les données d'une caméra infra-rouge avec celles d'une caméra standard. C'est un problème auquel on est souvent confronté en imagerie par résonance magnétique, par exemple lorsqu'on veut fusionner des données anatomiques avec des données fonctionnelles du cerveau.

Dans ce but, on s'intéresse aux équations qui résultent de la minimisation de critères typiquement non locaux, tels que la corrélation croisée, l'information mutuelle ou le rapport de corrélation, lorsqu'on les introduit dans une modélisation variationnelle du problème. Ceci nous donne un cadre général pour résoudre des problèmes variationnels qui s'écrivent non plus uniquement en fonction de la valeur locale de la fonction cherchée et de ses dérivées, mais d'une combinaison arbitraire de fonctions dans le «voisinage» de chaque point (Figure 5).

### 5.3.4 Segmentation du cortex cérébral à l'aide de surfaces couplées

**Participants :** José Gomes, Olivier Faugeras.

**Mots clés :** contours actifs géodésiques, méthode des surfaces de niveaux, préservation de la fonction distance, segmentation du cortex à partir d'IRM.

Nous avons mis en œuvre la segmentation de la substance grise (qui a une épaisseur régulière mais variable d'environ  $\approx 3\text{mm}$ ) à partir de données volumiques IRM en utilisant deux surfaces couplées, comme proposé dans <sup>[ZSSD98]</sup> par Zeng *et al.*

L'idée qui est mise en avant dans ce papier est de guider simultanément deux surfaces. Une surface interne  $S_{in}$  segmente l'interface entre la substance blanche et la substance grise tandis qu'une surface externe  $S_{out}$  segmente la frontière externe du cortex. De plus, les deux surfaces sont soumises à une contrainte souple d'équidistance ( $\approx 3\text{mm}$ ) et il est donc primordial d'estimer avec précision la fonction distance des deux surfaces. Nous avons montré que l'utilisation d'une EDP dont les solutions étaient des fonctions distances améliorerait sensiblement la qualité des résultats. Un exemple est présenté dans la Figure 6.

Ces travaux ont été publiés cette année dans un journal international, une conférence internationale et deux conférences nationales [18] [33] [34] [35].

---

[ZSSD98] X. ZENG, L. H. STAIB, R. T. SCHULTZ, J. S. DUNCAN, « Volumetric Layer Segmentation Using Coupled Surfaces Propagation », *in: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, Santa Barbara, California, juin 1998.

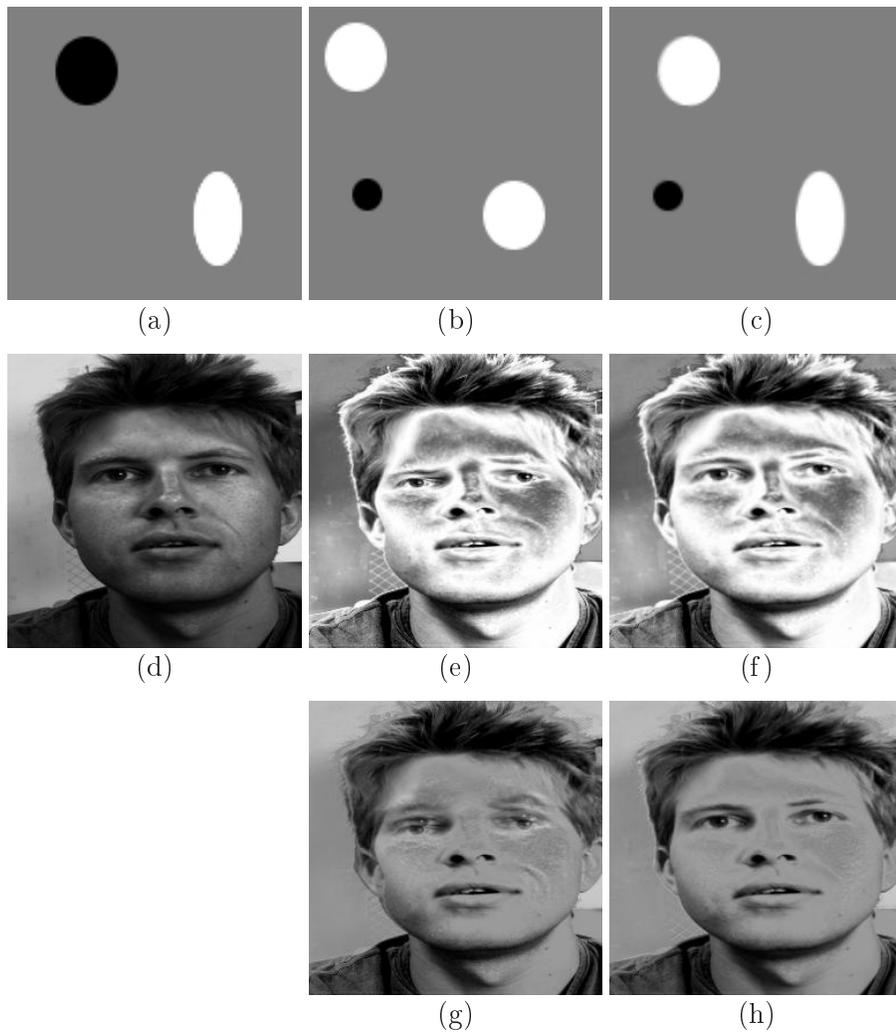


FIG. 5 – Deux exemples synthétiques de mise en correspondance multi-modale: (a) et (d): images de référence, (b) et (e): images à recaler, (c) et (f): images (b) et (e) recalées sur (a) et (d) respectivement. (g): superposition de (d) et (e). (h): superposition de (d) et (f).

» Démonstration

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/CurvesAndSurfaces/cortex.html>

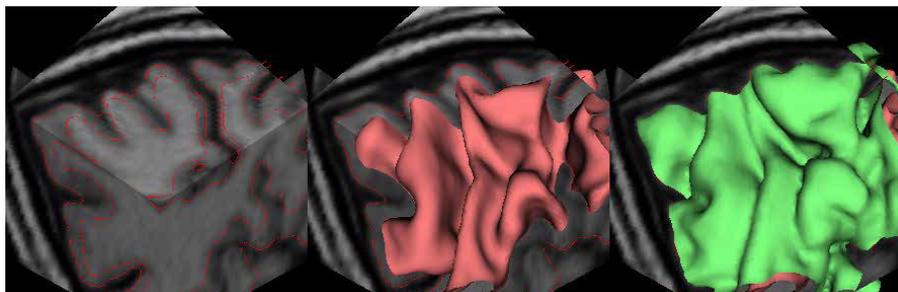


FIG. 6 – Exemple de segmentation de substance grise par deux surfaces couplées

### 5.3.5 Modèles de formes anatomiques pour l'analyse d'images médicales

**Participants :** Michael Leventon, Olivier Faugeras, Eric Grimson.

**Mots clés :** représentations statistiques de formes, segmentation d'images, snakes géodésiques, ensembles de niveaux.

Notre travail a été consacré à l'étude d'un aspect important de l'analyse d'images, celui de la prise en compte d'information *a priori* dans les processus de segmentation. Nous avons étudié deux aspects de ce problème :

- La relation entre les variations d'intensité dans une image contenant une certaine forme et les invariants différentiels de celle-ci comme la courbure. Ce travail a été publié en [37].
- L'influence que peut avoir un modèle statistique de formes sur le processus de segmentation par contours géodésiques. Ce travail a été publié en [38] correspondant.

» Présentation html de la thèse [12] soutenue au MIT en juin 2000

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/TheseLeventon>

### 5.3.6 Evolution de courbes pour la segmentation d'images médicales

**Participants :** Liana Lorigo, Olivier Faugeras, Eric Grimson, Renaud Keriven, Karl Westin.

**Mots clés :** evolution de courbes, snakes géodésiques, segmentation d'images, variétés de codimension 2, ensembles de niveaux.

Notre travail a été consacré à l'étude de la segmentation de structures longilignes, des vaisseaux sanguins, dans des images d'Angiographie par Résonance Magnétique. Nous avons adapté à ce problème une méthode due aux mathématiciens Ambrosio et Soner <sup>[AS96]</sup>. Cette méthode généralise au cas d'une variété de codimension quelconque la méthode des ensembles de niveau développée notamment par Osher et Sethian <sup>[OS88]</sup> pour des variétés de codimension 1. Les vaisseaux sanguins sont modélisés comme des structures tubulaires dont les squelettes sont des courbes, variétés de codimension 2 dans l'espace à trois dimensions. Les résultats ont été publiés en [42] [48]. Une thèse a été soutenue, voir [13].

---

[AS96] L. AMBROSIO, H. M. SONER, « Level set approach to mean curvature flow in arbitrary codimension », *J. of Diff. Geom.* 43, 1996, p. 693–737.

[OS88] S. OSHER, J. SETHIAN, « Fronts propagating with curvature dependent speed : algorithms based on the Hamilton-Jacobi formulation », *Journal of Computational Physics* 79, 1988, p. 12–49.

### 5.3.7 Problèmes direct et inverse en EEG/MEG

**Participants** : David Bouvier, Maureen Clerc, Renaud Keriven.

**Mots clés** : problèmes inverses, magnétoencéphalographie, électroencéphalographie, équations de Maxwell.

Dans le cadre de l'action coopérative 3D-MEG (voir section 6.2.1, la collaboration avec le CERMICS<sup>1</sup> s'est prolongée sur le problème de la reconstruction tridimensionnelle de l'activité encéphalique à partir de signaux MEG ou EEG. David Bouvier a débuté sa thèse par l'étude et l'implémentation de différentes méthodes numériques de résolution du *problème direct* consistant à modéliser et à prévoir le potentiel électrique (EEG) et le champ magnétique (MEG) générés par une activité cérébrale donnée [49]. Renaud Keriven et Maureen Clerc ont commencé l'étude du *problème inverse* qui vise à retrouver l'activité cérébrale à mesures EEG/MEG données. Sous l'hypothèse que cette activité n'est plus modélisée comme elle l'est habituellement par des dipôles équivalents, mais par une densité de dipôles de courant portée par le cortex, les méthodes de minimisation à base d'Équations aux Dérivées Partielles classiques en traitement d'image sont adaptables au problème inverse.

## 6 Actions régionales, nationales et internationales

### 6.1 Actions régionales

#### 6.1.1 Mise en œuvre d'un environnement de réalité augmentée pour l'immersion visuelle.

**Participants** : Sylvain Bougnoux, Robert Fournier, Agnès Paquet, Thierry Viéville.

**Mots clés** : réalité virtuelle, visualisation 3D.

Notre équipe a aidé cette année la direction de l'institut à initier et mettre en place une collaboration entre le CSTB et l'INRIA pour la mise en œuvre d'un environnement de réalité augmentée pour l'immersion visuelle.

Une application de visualisation sur station de travail a été réalisée et l'intégration logicielle des outils INRIA discutée, plus particulièrement les travaux de photogrammétrie de Sylvain Bougnoux en Post-Doc industriel à l'INRIA.

Cette action s'est faite en partenariat avec George Drettakis et sera reprise par l'équipe iMAGIS de Sophia en 2001.

#### 6.1.2 Analyse d'une application de télémédecine.

**Participants** : Olivier Faugeras, Thierry Viéville.

**Mots clés** : intégration logicielle, réalité augmentée.

Notre équipe a participé, comme l'an passé, au travail de mise en place de l'intégration de modules de vision 3D (recalage visuel, calibration) pour l'application de télémédecine, développée au sein de l'équipe CHIR.

Nous avons en particulier travaillé sur les méthodes de mesure du volume du patient et le recalage de son imagerie pré/per-opératoire.

#### 6.1.3 Utilisation d'outils de différenciation automatique.

**Participant** : Thierry Viéville.

**Mots clés** : estimation paramétrique, minimisation non-linéaire.

Il nous est nécessaire d'effectuer de gros calculs numériques liés à la minimisation de critères qui expriment

---

1. Laboratoire mixte commun à l'INRIA et à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

l'objectif de la tâche perceptive à effectuer et minimiser ces critères impose, bien entendu, de calculer leur gradient. Le besoin automatique de dérivation automatique se fait immédiatement sentir. De plus, ces gros calculs imposent pour obtenir des performances proches de l'optimalité, de pouvoir s'implémenter avec une évaluation partielle d'un sous-ensemble de leurs composants.

Un petit travail préliminaire a permis d'évaluer l'intérêt d'une collaboration avec le projet TROPICS sur ce sujet, par exemple l'étude de la dérivabilité des fonctions récursives, éventuellement définies de manière fonctionnelle, ouvrirait un axe de recherche qui n'était pas à négliger.

## 6.2 Actions nationales

### 6.2.1 Action de Recherche Coopérative INRIA MEG-3D

Cette action s'est poursuivie cette année.

- » Site web
- » <http://binky.enpc.fr/keriven/3dmeg/>

### 6.2.2 Action de Recherche Coopérative INRIA Recalage non Rigide en IRM

Nous avons obtenu un financement de la Direction scientifique de l'INRIA au travers d'une action de recherche coordonnée portant sur l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle et anatomique. Le but est de développer de nouvelles méthodes de recalage pour la compensation du mouvement et pour la fusion d'images inter-sujets.

- » Programme de travail
- » <ftp://ftp-sop.inria.fr/robotvis/html/Contracts/recalage.ps.gz>

### 6.2.3 Action de Recherche Coopérative INRIA MC2

Nous avons obtenu un financement de la Direction scientifique de l'INRIA au travers d'une action de recherche coordonnée portant sur une intégration plus étroite des techniques d'imagerie par résonance magnétique nucléaire avec celles d'électro-encéphalographie et de magnéto-encéphalographie.

- » Programme de travail
- » <ftp://ftp-sop.inria.fr/robotvis/html/Contracts/meg.ps.gz>

### 6.2.4 Action Incitative Télémédecine

**Participants :** Jean-Michel Badier, François Clément, Olivier Faugeras, Paul-Louis George, Véronique Hedou, Jacques Henry, Renaud Keriven, Théodore Papadopoulo.

Nous avons obtenu un financement de 550KF pour trois ans du ministère de la recherche pour étudier les problèmes directs et inverses en Électroencéphalographie et en Magnétoencéphalographie. Le projet est coordonné par l'INRIA. Les participants en sont, à l'INRIA, les projets Estime, Gamma, Ondes et Robotvis, le Cermics à Marne-la-Vallée, l'Hôpital de la Timone à Marseille et l'université Technologique de Compiègne.

### 6.2.5 Projet Rotoscoto

**Participants :** Rachid Deriche, Olivier Faugeras, Théo Papadopoulo.

Période: 2000-2002 (18 mois)

Rotoscoto est un projet Priamm, en collaboration avec les sociétés de haute technologie Realviz et Duboi. Il porte sur la rotoscopie et est financé pour une durée de 18 mois. Ce projet vise à l'amélioration de l'opération de rotoscopie qui est l'opération qui consiste à détourner un élément d'une image pour pouvoir ensuite composer

cet élément avec une autre image. Ce procédé, qui est à la base de nombreux effets spéciaux numériques est très utilisé en post-production audiovisuelle et cinématographique. Notre participation scientifique porte sur l'aide à la création d'un outil performant de rotoscopie en se basant sur le développement et l'application de méthodes variationnelles à base d'EDP ainsi que sur le développement d'approches de segmentation intégrant diverses formes de contraintes issues de la géométrie du système, d'un opérateur extérieur, ou d'informations *a priori*.

## 6.3 Actions financées par la Commission Européenne

### 6.3.1 Projet Cumuli

**Participants** : Didier Bondyfalat, Olivier Faugeras, François Gaspard, Diane Lingrand, Théodore Papadopoulo, Thierry Viéville.

Période : 1996-2000 (terminé)

Le projet Esprit LTR CUMULI qui avait débuté en 1996 s'est achevé cette année. Nos partenaires dans ce projet étaient le projet MOVI de l'INRIA Grenoble (coordinateur) (F), l'université de LUND (S) et le Fraunhofer-IGD (D), les sociétés Innovativ Vision (S) et Imetric (CH). L'objet du contrat était la compréhension de calculs pour Images multiples.

### 6.3.2 Projet CarSense

Nous avons pu participer, dans le cadre du projet CarSense, à la mise en place du cahier des charges d'une application de vision impliquant des modules de vision-3D et avons aidé aux transferts de technologie vers le consortium pour ce qui est des fonctionnalités de vision géométrique développées dans le projet.

Nous n'avons en revanche pas de participation formelle dans ce projet.

### 6.3.3 Projet Improofs

**Participants** : Quentin Delamarre, Rachid Deriche, Olivier Faugeras, Bernard Gai-Chéca, Théodore Papadopoulo, Nikos Paragios.

Période : 1997-2000 (terminé)

Dans le cadre du projet IMPROOFS (IMage PROcessing Operations for Forensic Support), nos partenaires sont la Katholieke universiteit Leuven, ESAT-MI2 (B), l'university of Oxford, Robotics Research Group (UK), Royal Institute of Technology, KTH, NADA (S), le Nationaal Instituut voor Criminalistiek & Criminologie (B) et le Forensic Science Services Metropolitan Laboratory (UK). Ce projet concerne le développement et l'application de techniques de traitement et d'analyse des images à des fins d'aide au monde judiciaire (problèmes de criminalité, etc.)

### 6.3.4 ImaVis: Theory and Practice of Image Processing and Computer Vision

**Participants** : Rachid Deriche, Olivier Faugeras.

Période : 2000-2003 (4 ans)

ImaVis: Theory and Practice of Image Processing and Computer Vision est un projet européen Marie Curie Training Sites Fellowships, coordonné par Robotvis et monté en collaboration avec Epidaure et Ariana. Ce projet permet l'accueil au total de 108 H/M de thésards Européens sur une durée de 4 ans à partir de novembre 2000, dont 54 H/M pour le projet Robotvis. Les thésards européens seront accueillis pour un séjour d'une durée comprise entre 3 et 12 mois dans le cadre des recherches menées par chacune des équipes d'accueil.

### 6.3.5 Projet Mapawamo

**Participants :** Rachid Deriche, Olivier Faugeras, Pierre Kornprobst, Théodore Papadopoulo, Thierry Viéville, Bertrand Thirion, Gerardo Hermosillo, Jose Gomes.

Période: 2000-2003

Nos partenaires dans ce projet sont le Departement Neurowetenschappen en Psychiatrie et le MR-Research Centre du département de radiologie de la Katholieke universiteit Leuven (Coordonnateur), le Thor center for neuroinformatics et le projet Epidaure de l'INRIA. Mapawamo représente un total de 430 h/m. Les recherches portent sur quatre domaines principaux :

1. Techniques de prétraitement des signaux de Résonance Magnétique (compensation de mouvement, amélioration de la résolution), et de mise en correspondance de données intra et inter sujets.
2. Développement de techniques nouvelles de génération de cartes d'activité cérébrale par des techniques de coalescence (clustering) et de segmentation d'images basées sur des équations aux dérivées partielles.
3. Étude de la connectivité fonctionnelle entre sites cérébraux actifs.
4. Comparaison de la perception visuelle chez l'homme et les primates non humains.

## 6.4 Réseaux et groupes de travail internationaux

### 6.4.1 Réseau TMR VIRGO

**Participants :** Rachid Deriche, Manolis Lourakis, Théodore Papadopoulo, Nikos Paragios.

Période: 1996-1999 (prolongé en 2000)

Dans le cadre du projet VIRGO (Vision-Based Robot Navigation Research Network), nos partenaires sont ICS-Forth (coordinateur)(Gr), l'université d'Aalborg (DK), l'université de Gênes (It), l'université de Graz (A), le Kungliga Tekniska Hogskolan (KTH)(S), G.M.D. (D), l'université de Zürich (SCH), l'université de Copenhague (DK), et l'université de Bonn (D). l'objet de ce projet est la coordination de la recherche européenne dans le domaine du développement de systèmes robotiques intelligents capables de naviguer dans des environnements partiellement inconnus et éventuellement variables. Ce projet a été prolongé jusqu'en 2000.

» Site web

» <http://www.ics.forth.gr/virgo/> .

## 6.5 Relations bilatérales internationales

### 6.5.1 Europe

Un projet d'action intégrée PICASSO existe avec l'équipe de Luis Alvarez de l'université de Las-Palmas (Dept. Inform. & Syst.) depuis 3 ans. Ce projet porte sur l'application des méthodes mathématiques à base d'EDP en Image et Vision par Ordinateur. Voir les parties EDP et stéréo et EDP et Filtrage Récuratif ainsi que les articles [26] [17] [27] ou le rapport de recherche [17].

» Démonstration

» <http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/Stereo>

### 6.5.2 Divers

R. Deriche est en charge des Relations Internationales pour l'UR de Sophia depuis avril 1996.

» Site web des Relations Internationales

» <http://www-direction.inria.fr/international/>

## 7 Diffusion de résultats

### 7.1 Animation de la communauté scientifique

R. Deriche est membre du comité de rédaction des revues scientifiques TS depuis 1994, Traitement du Signal et TSI depuis 1997, Technique et Science Informatiques

R. Deriche est le représentant de l'INRIA-Sophia au comité des projets d'I3S et membre de la Commission de Spécialiste CS 61 *Génie informatique, automatique et traitement du signal* à l'université de Nice-Sophia Antipolis. Il est membre du conseil scientifique de la société Realviz.

R. Deriche a été Président de jury, Rapporteur et membre du jury de plusieurs thèses de 3ème cycle dont celles de V. Gouet (Univ. Montpellier, octobre 2000), C. Boucher (Univ. littoral, octobre 2000), Ch. Vestri (UNSA, septembre 2000), K. Krissan (UNSA, janvier 2000), I. Zoghلامي (février 2000), R. Lengagne (décembre 2000)

Olivier Faugeras est membre de l'Académie des Sciences de l'Institut de France. Il est chargé de mission INRIA pour la Prospective. Il est co-éditeur en chef de l'« International Journal of Computer Vision » (IJCV), membre du comité éditorial de l'« AI Journal ». Il est membre suppléant de la Commission de Spécialiste CS 61 *Génie informatique, automatique et traitement du signal* à l'université de Nice-Sophia Antipolis. Il est membre du comité scientifique du BRGM, représentant d'INRIA-Transfert au Comité Consultatif de C-Source et membre du comité scientifique de l'*École de Calcul* (School of Computing) de l'université d'Utah (USA). Il a créé, avec l'association PERSAN (Pôle Enseignement Recherche Sophia Antipolis Nice), un colloquium intitulé Sciences et Société dont le but est de faire connaître à un large public les travaux de scientifiques français et les perspectives qu'ils offrent sur l'évolution de nos sociétés. Ce colloquium a lieu trois ou quatre fois par an.

Théo Papadopoulos est membre de la Commission de Spécialiste CS 27 à l'université de Nice-Sophia Antipolis.

### 7.2 Enseignement universitaire

#### 7.2.1 D.E.A. SIC

université de Nice-Sophia Antipolis - Filière Image et Vision : Rachid Deriche est responsable du module « *Techniques avancées pour l'imagerie et la vision* », Théodore Papadopoulos est responsable du module de « *Vision 3D* », Thierry Viéville est responsable du module de « *Vision dynamique* ». Chaque module est d'une durée de 15 heures. Rachid Deriche et Olivier Faugeras sont membres du comité scientifique de ce DEA. Rachid Deriche y est responsable des stages proposés aux élèves.

#### 7.2.2 D.E.A. MVA: Mathématiques/Vision/Apprentissage

ENS Cachan - ENS Ulm - ENST - École Polytechnique - université Paris-Nord - université Paris-Dauphine - université Paris 5. Théo Papadopoulos est responsable du cours intitulé Géométrie et Vision.

#### 7.2.3 DEA d'Informatique I3: Information, Interaction, Intelligence

université Paris Sud - Centre Scientifique d'Orsay - université Paris I - Panthéon Sorbonne en partenariat avec l'INRIA : Rachid Deriche est co-responsable du module *Modélisation Géométrique et Physique à partir d'images pour la réalité augmentée et virtuelle* qu'il enseigne en commun avec Nicholas Ayache (projet Epidaure). Module de 21 heures.

#### 7.2.4 D.E.A Algorithmique

En cohabilitation avec l'ENS Paris, l'ENS Cachan, les universités de Paris VI, Paris VII, Paris XI, l'E.N.S.T. et l'École Polytechnique et en convention avec l'INRIA et L'ENSTA. Rachid Deriche enseigne un module sur les approches géométriques en Traitement d'Image et Vision 3D. Ce module fait partie de la filière Géométrie algorithmique, formes et images. Module de 20 Heures.

### 7.2.5 Massachusetts Institute of Technology

Olivier Faugeras y est professeur à temps partiel dans le département d'« Electrical Engineering » et de « Computer Science ». Il est rattaché au Laboratoire d'Intelligence Artificielle.

## 7.3 Autres enseignements

### 7.3.1 Institut National des Télécommunications- Evry

École d'Ingénieurs - 3ème année - Option: Traitement et Applications de l'Image. Rachid Deriche enseigne au sein des modules de « Vision par Ordinateur » et « Imagerie Dynamique » (18h).

### 7.3.2 École des Mines - ENSTA

Rachid Deriche enseigne aussi la Vision par Ordinateur à l'École des Mines de Paris (6H) et à l'ENSTA (3H).

### 7.3.3 ISIA

Thierry Viéville y est responsable du cours de Calcul Symbolique: 6 heures.

### 7.3.4 École des Mines

Thierry Viéville y est responsable du cours de Vision Robotique (30 heures dont 6 enseignées par lui, 6 par Rachid Deriche).

### 7.3.5 ESSI

Thierry Viéville y est responsable des cours de Vision 3D et de Vision Temps-Réel: 60 heures.

## 7.4 Thèses et Stages

### 7.4.1 Thèses soutenues en 2000

- Nikos Paragios, « *Régions actives géodésiques et méthodes de courbes de niveau: Contributions et applications en vision artificielle* », université de Nice-Sophia Antipolis, soutenue le 31 janvier 2000. Le Jury était composé de: P. Bouthémy, R. Deriche, G. Sapiro, M. Barlaud, L. Alvarez, G. Sandini et présidé par O. Faugeras.
- Imad Zoghliami, « *Analyse et traitement de séquences d'images couleur* », université de Nice-Sophia Antipolis, soutenue le 4 février 2000. Le jury était composé de: R. Horaud, Z. Zhang, L. Robert, P. Sander, O. Faugeras et présidé par R. Deriche.
- Christophe Vestri, « *Outils pour la reconstruction automatique de bâtiment à partir d'imagerie aérienne* », soutenue le 15 septembre 2000. Le jury était composé de: H. Le Men, P. Fua, P. Monin, O. Faugeras, F. Devernay et présidé par R. Deriche.

### 7.4.2 Thèses en cours

- Frédéric Abad, « *Morphing 3D: synthèses de films réalistes à partir de photographies* », université de Nice-Sophia Antipolis.
- Stéphane Abello, « *Morphing de courbes* », université de Paris VI.
- Cédric Barthoux, « *Reconstruction de l'activité cérébrale par électro- et magnéto-encéphalographie* », université de Nice-Sophia Antipolis.

- Jacques Bride, « *Suivi de caméra en temps réel* », université de Nice-Sophia Antipolis.
- Quentin Delamarre, « *Localisation et suivi d'objets articulés dans des séquences d'images* », université de Nice-Sophia Antipolis.
- François Gaspard, « *Exploration visuelle par focalisation d'attention à l'aide d'un zoom* », université de Nice-Sophia Antipolis.
- Cyrille Gauclin, « *Construction et maintenance d'une base de données géométriques tridimensionnelles à partir d'une série d'images* », université de Nice-Sophia Antipolis.
- José Gomes, Bourse A.M.X. « *Stéréoscopie multicaméra et applications* », université de Nice-Sophia Antipolis.
- Gerardo Hermosillo, « *Analyse et interprétation d'images MRI* », université de Nice-Sophia Antipolis.
- Robert Stahr, « *Estimation de la géométrie de l'environnement à partir d'une séquence d'images* », université de Nice-Sophia Antipolis.
- Bertrand Thirion, « *Modélisation de la perception visuelle à l'aide de l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf)* », université de Nice-Sophia Antipolis.
- David Tshcumperlé, « *EDP et images vectorielles* », université de Nice-Sophia Antipolis.

### 7.4.3 Stages

- Bertrand Delezoide, « *Segmentation d'Image: Etat de l'art et applications* », stage de 2ème année de l'ENS Cachan, du 20 juin 2000 au 5 août 2000.
- Gloria Haro, « *Recalage de données visuelles et 3D en vue de combiner des données d'IRM et de MEG* », Stage du Mastère Image et systèmes de télévision de l'ENST Paris, du 1<sup>er</sup> avril 2000 au 30 novembre 2000.
- Laetitia Marin, « *Création d'une API C++ permettant la visualisation de volumes complexes* » stage de Maîtrise d'informatique de l'université de Nice-Sophia Antipolis, du 3 juillet 2000 au 3 octobre 2000.
- Agnès Paquet, « *Mise en place de logiciel de visualisation 3D* », du 1er août 2000 au 15 septembre 2000.
- Javier Sanchez Perez, « *Mise en correspondance d'images à tragers le formalisme à base d'EDP* », stage de formation doctorale de l'université de Las Palmas, du 19 juin 2000 au 3 août 2000 et du 43 septembre au 11 octobre 2000.
- Jérémy Sanglier, « *Remise à jour complète des pages Robotvis sur le Web* », stage de DUT: IUT d'informatique de l'université de Nice-Sophia Antipolis, du 4 avril 2000 au 18 juin 2000, puis du 1er juillet au 31 août 2000

## 7.5 Participation à des colloques, séminaires, invitations

R. Deriche a été Co-Président du comité de programme pour RFIA'2000 (la plus importante conférence nationale dans les domaines de la Reconnaissance des Formes et de l'Intelligence Artificielle) qui s'est tenue à Paris du 1 au 3 Février 2000.

R. Deriche est *Area Chair* de l' « International Conference on Computer Vision » ICCV'2001. Il est membre de plusieurs comités de programme de conférences internationales comme l' « European Conference on Computer Vision » ECCV'2000, l' « IEEE International Conference on Pattern Recognition » ICPR'2000, l' « IEEE Workshop on Scale-Space and Morphology in Computer Vision » (Scale Space'01), l' « IEEE Workshop in Variational and Level Set Methods Variational and Level Set Methods in Computer Vision » (VLSM'01).

R. Deriche a donné plusieurs conférences invitées, dont voici une sélection :

- « Workshop On Mathematics in Image Processing » au Département de Mathematics de Hong-Kong university en décembre 2000 sur les récents développements en EDP et leurs applications en Image et Vision par Ordinateur.
- « Colloque LTS de l'EPFL » au Signal Processing Laboratory en sept.2000 sur les EDP en Imagerie Vectorielle et leur application à l'Imagerie en Couleur et la régularisation de champs de direction et de tenseur.

- «MCSEAI'2000» 6ème Conférence Maghrébine en Sciences Informatiques à Fes (Maroc) en Nov. 2000 sur les approches géométriques et leur application en Image et Vision par Ordinateur.
- «ENST-Bretagne» Journée scientifique sur le thème de la Vision, organisée par le Bureau des Thésards et la Direction Scientifique de l'ENST Bretagne en Mars 2000.

Olivier Faugeras est «Area Chair» de la «International Conference on Computer Vision» (ICCV'01) et de l'«Computer Vision and Pattern Recognition Conference» (CVPR'01). Il est membre du comité des sages de l'«European Conference on Computer Vision» (ECCV). Il est aussi président du comité de programme du «IEEE Workshop on Variational and Level Set Methods in Computer Vision» (VLSM'01) et membre du comité de programme du «IEEE Workshop on Scale-Space and Morphology in Computer Vision» (Scale Space'01). Voici une sélection des conférences invitées qu'il a présentées :

- À l'université de tous les Savoirs, le 9/09, une conférence sur le traitement numérique des images. Un article, reprenant les grandes idées de celle-ci est à paraître aux Éditions Odile Jacob. La présentation est disponible à l'adresse :  
[http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/UTS/uts\\_web/index.html](http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/UTS/uts_web/index.html)
- «Evans & Sutherland Distinguished Lecture» à l'université d'Utah, le 17/10, sur les applications de la géométrie en vision par ordinateur.
- «Capstone Speaker» à l'«IEEE Visualization 2000» à l'université d'Utah le 13/10 sur les applications des méthodes variationnelles en vision par ordinateur.
- Conférence à l'Institut de Mathématiques et de ses Applications (IMA) à Minneapolis le 12/10 dans le cadre d'un atelier de travail sur les méthodes d'imagerie du cerveau. Le thème de la conférence était les problèmes inverses en MEG et EEG. La présentation est disponible à l'adresse :  
[http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/MEGEEG/meg\\_eeg\\_web/index.html](http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/MEGEEG/meg_eeg_web/index.html)
- Conférence à l'Institut de Mathématiques et de ses Applications (IMA) à Minneapolis le 18/10 dans le cadre d'un atelier de travail sur le traitement des images et la vision préattentive. Le thème de la conférence était une nouvelle méthode de représentation et d'extraction de formes. La présentation est disponible à l'adresse :  
[http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/VDF/vdf\\_web/index.html](http://www-sop.inria.fr/robotvis/const/ra/00/VDF/vdf_web/index.html)

Théo Papadopoulos est membre du comité de programme de l'«International Conference on Computer Vision» (ICCV'01).

## 8 Bibliographie

### Ouvrages et articles de référence de l'équipe

- [1] R. DERICHE, G. GIRAUDON, «A Computational Approach For Corner And Vertex Detection», *The International Journal of Computer Vision* 10, 2, 1993, p. 101–124, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/deriche-giraudon:93.ps.gz>.
- [2] O. FAUGERAS, «What can be seen in three dimensions with an uncalibrated stereo rig?», in : *Proceedings of the 2nd European Conference on Computer Vision, Lecture Notes in Computer Science*, G. Sandini, p. 563–578, Santa Margherita Ligure, Italy.
- [3] O. FAUGERAS, R. KERIVEN, «Variational principles, Surface Evolution, PDE's, level set methods and the Stereo Problem», *IEEE Trans. on Image Processing* 7, 3, mars 1998, p. 336–344.
- [4] O. FAUGERAS, Q.-T. LUONG, T. PAPADOPOULOU, *The Geometry of Multiple Images*, MIT Press, 2000, à paraître.
- [5] O. FAUGERAS, *Three-Dimensional Computer Vision: a Geometric Viewpoint*, MIT Press, 1993.
- [6] Q.-T. LUONG, O. FAUGERAS, «Self-Calibration of a Moving Camera from Point Correspondences and Fundamental Matrices», *The International Journal of Computer Vision* 22, 3, 1997, p. 261–289.

- [7] Q.-T. LUONG, T. VIÉVILLE, «Canonical representations for the geometries of multiple projective views», *CVGIP: Image Understanding* 64, 2, 1996, p. 193–229.
- [8] S. J. MAYBANK, O. D. FAUGERAS, «A Theory of Self-Calibration of a Moving Camera», *The International Journal of Computer Vision* 8, 2, août 1992, p. 123–152.
- [9] N. PARAGIOS, R. DERICHE, «Geodesic Active Contours and Level Sets for the Detection and Tracking of Moving Objects», *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 22, mars 2000, p. 266–280, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/paragios-deriche:00c.ps.gz>.
- [10] Z. ZHANG, R. DERICHE, O. FAUGERAS, Q.-T. LUONG, «A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry», *Artificial Intelligence Journal* 78, octobre 1995, p. 87–119.

### Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [11] D. BONDYFALAT, *Interaction Symbolique et Numérique; Application a la Vision Artificielle*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, 2000.
- [12] M. LEVENTON, *Anatomical Shape Models for Medical Image Analysis*, thèse de doctorat, MIT, 2000, <http://www.ai.mit.edu/people/leventon/Shape/>.
- [13] L. LORIGO, *Curve Evolution for Medical Image Segmentation*, thèse de doctorat, MIT, juin 2000.
- [14] N. PARAGIOS, *Geodesic Active Regions and Level Set Methods: Contributions and Applications on Artificial Vision*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, janvier 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/robotvis/html/Thesis/paragios:00.ps.gz>.
- [15] C. VESTRI, *Outils pour la reconstruction automatique de bâtiments à partir d'imagerie aérienne*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, septembre 2000.
- [16] I. ZOGHLAMI, *Analyse et traitement de séquences d'images couleur*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, 2000.

### Articles et chapitres de livre

- [17] L. ALVAREZ, R. DERICHE, J. WEICKERT, J. SANCHEZ, «Dense Disparity Map Estimation Respecting Image Discontinuities: A PDE and Scale-Space Based Approach», *International Journal of Visual Communication and Image Representation, Special Issue on Partial Differential Equations in Image Processing, Computer Vision and Computer Graphics*, 2000, à paraître, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/alvarez-deriche-et-al:00c.ps.gz>.
- [18] J. GOMES, O. FAUGERAS, «Reconciling Distance Functions and Level Sets», *Journal of Visual Communication and Image Representation* 11, 2000, p. 209–223, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3666.html>.
- [19] P. KORNPBST, G. MÉDIONI, «A 2D+t Tensor Voting based approach for Tracking», *ICPR* 3, 2000, p. 1104–1107.
- [20] P. KORNPBST, G. MÉDIONI, «Tracking segmented objects using tensor voting», *CVPR II*, 2000, p. 118–125.
- [21] Y. LEEDAN, P. MEER, «Heteroscedastic regression in computer vision: problems with bilinear constraint», *The International Journal of Computer Vision* 37, juin 2000, p. 1–24, <http://www.caip.rutgers.edu/riul/research/papers/ps/heteroscedastic.ps.gz>.
- [22] P. MONTESINOS, V. GOUET, R. DERICHE, D. PELÉ, «Matching color uncalibrated images using differential invariants», *Image and Vision Computing* 18, 9, juin 2000, p. 659–672, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/montesinos-gouet-et-al:00.ps.gz>.

- [23] N. PARAGIOS, R. DERICHE, «Geodesic Active Contours and Level Sets for the Detection and Tracking of Moving Objects», *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 22, mars 2000, p. 266–280, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/paragios-deriche:00c.ps.gz>.
- [24] N. PARAGIOS, R. DERICHE, «Geodesic Active Regions: A new Paradigm to Deal with Frame Partition Problems in Computer Vision», *International Journal of Visual Communication and Image Representation, Special Issue on Partial Differential Equations in Image Processing, Computer Vision and Computer Graphics*, 2000, à paraître, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/paragios-deriche:00d.ps.gz>.
- [25] C. VESTRI, F. DEVERNAY, «Improving correlation-based DEMs by image warping and facade correlation», *CVPR I*, 2000, p. 438–443.

### Communications à des congrès, colloques, etc.

- [26] L. ALVAREZ, R. DERICHE, F. SANTANA, «Recursivity and PDE's in Image Processing .», *in: Proceedings 15th International Conference on Pattern Recognition, I*, p. 242–248, septembre 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/alvarez-deriche:00.ps.gz>.
- [27] L. ALVAREZ, R. DERICHE, J. WEICKERT, J. SANCHEZ, «Dense Disparity Map Estimation Respecting Image Discontinuities: A PDE and Scale-Space Based Approach», *in: IAPR International Workshop on Machine Vision Applications*, The University of Tokyo, Tokyo, Japon, novembre 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/alvarez-deriche-et-al:00b.ps.gz>.
- [28] Q. DELAMARRE, O. FAUGERAS, «Suivi Multi-caméras de Personnes et Modèles 3D Articulés», *in: 12ème Congrès RFIA'00, 1*, p. 37–46, février 2000, <ftp://ftp-sop.inria.fr/robotvis/html/Papers/delamarre-faugeras:00.ps.gz>.
- [29] O. FAUGERAS, J. GOMES, «Dynamic shapes of arbitrary dimension: the Vector Distance Functions», *in: Proceedings of the Ninth IMA Conference on Mathematics of Surfaces*, R. Cipolla, R. Martin (éditeurs), *The Mathematics of Surfaces IX*, Springer, 2000, <ftp://ftp-sop.inria.fr/robotvis/personnel/Jose.Gomes/papers/ima.ps.gz>.
- [30] F. GASPARD, T. VIÉVILLE, «Non Linear Minimization and Visual Localization of a Plane», *in: The 6th International Conference on Information Systems, Analysis and Synthesis, VIII*, p. 366–371, 2000.
- [31] C. GAUCLIN, T. PAPADOPOULOU, «Estimation de la matrice fondamentale par corrélation dense», *in: 12ème Congrès RFIA'00*, 2000.
- [32] C. GAUCLIN, T. PAPADOPOULOU, «Fundamental Matrix estimation driven by Stereo-Correlation», *in: Proceedings of the 4th Asian Conference on Computer Vision*, Taipei, Taiwan, janvier 2000.
- [33] J. GOMES, O. FAUGERAS, «Level Sets and Distance Functions», *in: Proceedings 6th European Conference in Computer Vision, Lecture Notes in Computer Science, 1842*, p. 588–602, Dublin, Irlande, juin 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/gomes-faugeras:00d.ps.gz>.
- [34] J. GOMES, O. FAUGERAS, «Surfaces de niveaux et fonctions distance», *in: Proceedings of the 32ème Congrès National d'Analyse Numérique*, 2000.
- [35] J. GOMES, O. FAUGERAS, «Surfaces de Niveaux et Fonctions Distance», *in: 12ème Congrès RFIA'00*, 2000.
- [36] V. GOUET, P. MONTESINOS, R. DERICHE, D. PELÉ, «Evaluation de détecteurs de points d'intérêt pour la couleur», *in: 12ème Congrès RFIA'00, II*, p. 257–266, février 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/gouet-montesinos-et-al:00.ps.gz>.

- [37] M. LEVENTON, O. FAUGERAS, E. GRIMSON, W. WELLS, «Level Set Based Segmentation with Intensity and Curvature Priors», *in: Mathematical Method in Biomedical Image Analysis*, 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/leventon-faugeras-et-al:00.ps.gz>.
- [38] M. LEVENTON, E. GRIMSON, O. FAUGERAS, «Statistical Shape Influence in Geodesic Active Contours», *in: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, p. 316–323, Hilton Head Island, Caroline du Sud, juin 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/leventon-grimson-et-al:00.ps.gz>.
- [39] D. LINGRAND, «Etude des singularités des homographies dans des séquences monoculaires non calibrées.», *in: 12ème Congrès RFIA'00, 3*, p. 99–108, février 2000, <ftp://ftp-sop.inria.fr/robotvis/html/Papers/lingrand:00.ps.gz>.
- [40] D. LINGRAND, «Particular Forms of Homography Matrices», *in: Proceedings of the 11th Conference BMVC, 2*, British Machine Vision Association, BMVA Press, p. 596–605, The University of Bristol, septembre 2000, <ftp://ftp-sop.inria.fr/robotvis/html/Papers/lingrand:00b.ps.gz>.
- [41] D. LINGRAND, «Using Particular Forms of Fundamental Matrices», *in: Proceedings of the 8th Conference SIRS*, J. M. Ferryman, A. D. Worrall (éditeurs), 1, p. 209–215, The University of Reading, juillet 2000, <ftp://ftp-sop.inria.fr/robotvis/html/Papers/lingrand:00c.ps.gz>.
- [42] L. LORIGO, O. FAUGERAS, W. GRIMSON, R. KERIVEN, R. KIKINIS, A. NABAVI, C.-F. WESTIN, «Codimension-Two Geodesic Active Contours for the Segmentation of Tubular Structures», *in: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, p. 444–451, Hilton Head Island, Caroline du Sud, juin 2000.
- [43] M. I. LOURAKIS, R. DERICHE, «Camera Self-Calibration Using the Singular Value Decomposition of the Fundamental Matrix», *in: Proc. of the 4th Asian Conference on Computer Vision, I*, p. 403–408, janvier 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/lourakis-deriche:00.ps.gz>.
- [44] T. PAPADOPOULOU, M. LOURAKIS, «Estimating the Jacobian of the Singular Value Decomposition: Theory and Applications», *in: Proc. of the 6th European Conference on Computer Vision*, juin 2000.
- [45] N. PARAGIOS, R. DERICHE, «Coupled Geodesic Active Regions for Image Segmentation: a level set approach», *in: Proceedings 6th European Conference in Computer Vision, II*, p. 224–240, Dublin, Irlande, juin 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/robotvis/html/Papers/paragios-deriche:00e.ps.gz>.
- [46] N. PARAGIOS, R. DERICHE, «Régions Actives Géodésiques et Courbes de Niveau pour la Segmentation Supervisée d'Images Texturées», *in: 12ème Congrès RFIA'00, I*, p. 245–254, février 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/paragios-deriche:00b.ps.gz>.
- [47] D. TSCHUMPERLE, R. DERICHE, «Restauration d'images Vectorielles par EDP», *in: 12ème Congrès RFIA'00, II*, p. 247–256, 2000, <ftp://ftp-robotvis.inria.fr/pub/html/Papers/tschumperle-deriche:00.ps.gz>.
- [48] C.-F. WESTIN, L. M. LORIGO, O. FAUGERAS, W. E. L. GRIMSON, S. DAWSON, A. NORBASH, R. KIKINIS, «Segmentation by Adaptive Geodesic Active Contours», *in: Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI 2000, Lecture Notes in Computer Science, 1935*, Springer, p. 266–275, 2000.

## Rapports de recherche et publications internes

- [49] D. BOUVIER, R. KERIVEN, «Méthodes intégrales pour le problème direct de la magnéto-électroencéphalographie tridimensionnelle», *rapport de recherche n° 2000-195*, ENPC-CERMICS, octobre 2000.

- 
- [50] J. GOMES, O. FAUGERAS, «Representing and evolving smooth manifolds of arbitrary dimension embedded in  $R^n$  as the intersection of  $n$  hypersurfaces: The Vector Distance Functions», *rapport de recherche n° 4012*, INRIA, 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4012.html>.
- [51] J. GOMES, O. FAUGERAS, «Shape representation as the intersection of  $n - k$  hypersurfaces», *rapport de recherche n° 4011*, INRIA, 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4011.html>.
- [52] M. I. LOURAKIS, R. DERICHE, «Camera Self-Calibration Using the Kruppa Equations and the SVD of the Fundamental Matrix: The Case of Varying Intrinsic Parameters», *rapport de recherche n° 3911*, INRIA Sophia Antipolis, 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3911.html>.
- [53] T. PAPADOPOULOU, M. LOURAKIS, «Estimating the Jacobian of the Singular Value Decomposition: Theory and Applications», *rapport de recherche n° 3961*, INRIA Sophia Antipolis, juin 2000.
- [54] T. VIÉVILLE, J. DROULEZ, C.-H. PEN, A. NEGRI, «How do we perceive the Eye Intrinsic Parameters?», *rapport de recherche n° 4030*, INRIA Sophia Antipolis, octobre 2000.
- [55] T. VIEVILLE, D. LINGRAND, F. GASPARD, «Implementing a variant of the Kanatani's estimation method», *rapport de recherche n° 4050*, INRIA Sophia Antipolis, 2000.
- [56] T. VIEVILLE, «Using markers to compensate displacements in MRI volume sequences.», *rapport de recherche n° 4054*, INRIA Sophia Antipolis, 2000.