

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR

en

INFORMATIQUE

présentée et soutenue publiquement par

David SARRUT

le 25 JANVIER 2000

**Recalage multimodal et
plate-forme d'imagerie médicale à
accès distant**

préparée au sein du laboratoire ERIC

sous la direction de

Serge Miguet

COMPOSITION DU JURY

Mme.	Jocelyne Troccaz	Rapporteur	(Directeur de Recherche CNRS)
M.	Christian Roux	Rapporteur	(Professeur)
Mme.	Isabelle Magnin	Examineur	(Directeur de Recherche INSERM)
M.	Ehoud Ahronovitz	Examineur	(Maître de conférences)
M.	Bernard Tourancheau	Examineur	(Professeur)
M.	Serge Miguet	Directeur de thèse	(Professeur)

Table des matières

Introduction	1
I Recalage d'images. Application au positionnement de patient	5
1 Recalage d'images	7
1.1 Domaines d'application	8
1.2 Classification des techniques de recalage	10
1.3 Les méthodes iconiques	20
1.4 Conclusion	22
2 Mesures de similarité	23
2.1 Principes de base	24
2.2 Classification des mesures	28
2.3 Expérimentations	42
2.4 Conclusion	57
3 Interpolations	61
3.1 Introduction	62
3.2 Étude de procédures d'interpolation	64
3.3 Autres procédures d'interpolation	69
3.4 Expérimentations	72
3.5 Conclusion	82
4 Transformations géométriques d'images	83
4.1 Transformations d'images	84
4.2 Principe de la nouvelle méthode	86
4.3 Modèle d'exécution de l'algorithme	90
4.4 Expérimentations	93
4.5 Discussion et conclusion	96
5 Positionnement de patients	97
5.1 Description de la problématique	98
5.2 Travaux préalables	99
5.3 Principe	101
5.4 Justification géométrique	105
5.5 Évaluations expérimentales	109

5.6 Conclusion	120
II Santé et calculs haute-performance	121
6 ARAMIS : une plate-forme d'imagerie médicale à accès distant	123
6.1 Contexte	124
6.2 Principes généraux	127
6.3 Coeur du système	134
6.4 Conclusion	136
7 Approche surface	137
7.1 Extraction de surface triangulée	138
7.2 Détermination de la relation d'adjacence	140
7.3 Complexité et tests expérimentaux	145
7.4 Conclusion	149
Conclusion générale	151
III Annexes	167
A Transformations affines et modèle sténopé	169
A.1 Matrices des transformations affines	169
A.2 Modèle sténopé	170
B Modalités d'acquisition d'images médicales	173
B.1 Modalités d'acquisition	173
B.2 Nomenclature des données	175
C Index des auteurs cités	177

Bibliographie

- [ABKC90] N.M. ALPERT, J.F. BRADSHAW, D. KENNEDY, et J.A. CORREIA. « The Principal Axes Transformation – A Method for Image Registration ». *Journal of Nuclear Medicine*, 31:1717–1722, 1990.
- [Agr90] A. AGRESTI. *Categorical Data Analysis*. WILEY, 1990.
- [AKN89] A. APICELLA, J.S. KIPPENHAN, et J. H. NAGEL. « Fast Multi-Modality Image Matching ». Dans *Medical Imaging III: Image Processing*, volume 1092 de *SPIE Proceedings*, pages 252–263, 1989.
- [AWSH95] R. ACHARYA, R. WASSERMAN, J. STEVENS, et C. HINOJOSA. « Biomedical Imaging Modalities: A Tutorial ». *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 19(1):3–25, janvier 1995.
- [Aya98] N. AYACHE. « L’Analyse Automatique des Images Médicales – État de l’Art et Perspectives ». Rapport Technique 3364, INRIA, février 1998.
- [Bas89] M. BASSEVILLE. « Distance Measures for Signal Processing and Pattern Recognition ». *Signal Processing*, 18(4):349–369, décembre 1989.
- [Bas96] M. BASSEVILLE. « Information: Entropies, Divergences et Moyennes ». Rapport Technique 1020, IRISA – 35042 Rennes Cedex France, mai 1996.
- [BCD96] S. BROWNE, H. CASANOVA, et J. DONGARRA. « Providing Access to High Performance Computing Technologies ». Dans J. WASNIEWSKI, J. DONGARRA, K. MADSEN, et D. OLESEN, éditeurs, *Applied Parallel Computing: Industrial Computation and Optimization: Third International Workshop, PARA’96*, volume 1184 de *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, pages 123–133, 1996.
- [BD97] M. BERGER et G. DANUSER. « Deformable Multi Template Matching with Application to Portal Images ». Dans *Proceedings Computer Vision and Pattern Recognition ’97*. IEEE Computer Society Press, 1997.
- [BN96a] D. BHAT et S. NAYAR. « Ordinal Measures for Visual Correspondence ». Dans *International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, juin 1996.
- [BN96b] M. BRO-NIELSEN. « *Medical Image Registration and Surgery Simulation* ». PhD thesis, Technical University of Denmark, août 1996.
- [BN97] M. BRO-NIELSEN. « Rigid Registration of CT, MR and Cryosection Images using a GLCM Framework ». *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, 1205:171–180, 1997.
- [BNG96] M. BRO-NIELSEN et C. GRAMKOW. « Fast Fluid Registration of Medical Images ». *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, 1131:267–276, 1996.
- [BRF98] M. BOYLES, R. RAJE, et S. FANG. « CEV: Collaborative Environment for Visualization Using Java-RMI ». Dans *ACM 1998 Workshop on Java for High-Performance Network Computing*, février 1998.
- [Bro92] L.G. BROWN. « A Survey of Image Registration Techniques ». *ACM Computing Surveys*, 24(4):325–376, décembre 1992.

- [Bru92] L. BRUNIE. « *Fusion d'images médicales multimodales* ». PhD thesis, Université Joseph Fourier – Grenoble I, décembre 1992.
- [BS97] G. BAREQUET et M. SHARIR. « Partial Surface and Volume Matching in 3D ». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(9):929–947, septembre 1997.
- [BTU99] T. BLU, P. THÉVENAZ, et M. UNSER. « Generalized Interpolation: Higher Quality at no Additional Cost ». Dans *IEEE International Conference on Image Processing*, octobre 1999.
- [CBF⁺92] H.P. CHARLES, O. BABY, A. FOUILLOUX, S. MIGUET, L. PERROTON, Y. ROBERT, et S. UBÉDA. « PPCM: A portable Parallel Communication Module ». Rapport Technique 92-04, LIP-IMAG, ENS-Lyon, 1992.
- [CD97] H. CASANOVA et J. DONGARRA. « NetSolve: A Network-Enabled Server for Solving Computational Science Problems ». *The International Journal of Supercomputer Applications and High Performance Computing*, 11(3):212–223, 1997.
- [CFKK98] K. CZAJKOWSKI, I. FOSTER, N. KARONIS, et C. KESSELMAN. « A Resource Management Architecture for Metacomputing Systems ». *Lecture Notes in Computer Science*, 1459:62–81, 1998.
- [CGG96] J. CONFAIS, Y. GRELET, et M. Le GUEN. « SAS[©] : Tests d'indépendance et mesures d'association dans un tableau de contingence ». INSEE, 1996.
- [CKRP97] M. CHEN, T. KANADE, H. ROWLEY, et D. POMERLEAU. « Anomaly Detection through Registration ». Rapport Technique CMU-RI-TR-97-41, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, novembre 1997.
- [CKW92] A.D. CALWAY, H. KNUTSSON, et R. WILSON. « A multiresolution frequency domain algorithm for fast image registration ». Dans *3th International Conference on Visual Search*, pages 1–2, avril 1992.
- [CLM95] H.P. CHARLES, L. LEFEVRE, et S. MIGUET. « An optimized and load-balanced portable parallel ZBuffer ». Dans *SPIE Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology*, 1995.
- [CLR90] T. CORMEN, C. LEISERSON, et R. RIVEST. *Introduction to Algorithms*. MIT Press, 1990.
- [CM87] E. De CASTRO et C. MORANDI. « Registration of Translated and Rotated Images Using Finite Fourier Transforms ». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 9(5):700–703, septembre 1987.
- [CMD⁺95] A. COLLIGNON, F. MAES, D. DELAERE, D. VANDERMEULEN, P. SUETENS, et G. MARCHAL. « Automated Multi-modality Image Registration based on Information Theory ». *Information Processing in Medical Imaging*, pages 263–274, 1995.
- [Col97] A. COLIN. « *Étude de méthodes de recalage et de fusion d'images 3D du cerveau. Application au suivi d'une pathologie cérébrale* ». PhD thesis, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, octobre 1997.
- [CP98] J.P. COCQUEREZ et S. PHILIPP, éditeurs. *Analyse d'Images : Filtrage et Segmentation*. Masson, 1998.
- [CST99] D. COEURJOLLY, D. SARRUT, et L. TOUGNE. « Décimation en Imagerie Médicale 3D ». Dans *Courbes Surfaces et Algorithmes*, Grenoble,

- France, septembre 1999. Journées du Groupe de Travail "Modélisation Géométrique".
- [CV98] S. CONTASSOT-VIVIER. « *Calculs Parallèles pour le Traitement des Images Satellites* ». PhD thesis, Ecole Normale Supérieure de Lyon, février 1998.
- [CVSM95] A. COLLIGNON, D. VANDERMEULEN, P. SUETENS, et G. MARCHAL. « 3D Multi-Modality Medical Image Registration Using Feature Space Clustering ». *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, 905:195–204, 1995.
- [Dav96a] C. DAVATZIKOS. « Nonlinear Registration of Brain Images Using Deformable Models ». Dans *IEEE Workshop on Mathematical Methods in Biomedical Image Analysis*, pages 94–103, San Francisco, juin 1996.
- [Dav96b] C. DAVATZIKOS. « Spatial Normalization of 3D Brain Images Using Deformable Models ». *Journal of Computer Assisted Tomography*, 20(4):656–665, février 1996.
- [Dav97] C. DAVATZIKOS. « Spatial Transformation and Registration of Brain Images Using Elastically Deformable Models ». *Computer Vision and Image Understanding: CVIU 98*, 66(2), 1997.
- [DKFH97] M.H. DAVIS, A. KHOTANZAD, D.P. FLAMING, et S.E. HARMS. « A Physics-Based Coordinate Transformation for 3D Image Matching ». *IEEE Transaction On Medical Imaging*, 16(3):317–328, juin 1997.
- [EMPV93] P.A. Van Den ELSEN, J.B.A. MAINTZ, E.J.D. POL, et M.A. VIERGEVER. « Medical Image Matching – A Review with Classification ». *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, pages 26–39, mars 1993.
- [EMV93] P.A. Van Den ELSEN, J.B.A. MAINTZ, et M.A. VIERGEVER. « Automated CT and MR Brain Image Matching using Correlation of Geometrical 'ridgeness' Features ». Dans M.A. VIERGEVER, éditeur, *VIP'93 - International Conference on Volume Image Processing*, pages 31–34, Utrecht, 1993. SCVR.
- [EMV95] P.A. Van Den ELSEN, J.B.A. MAINTZ, et M.A. VIERGEVER. « Automated CT and MR Brain Image Matching using Correlation of Geometrical Features ». *IEEE Transaction on Medical Imaging*, 14(2):384–396, juin 1995.
- [Fes99] F. FESCHET. « *Techniques d'Imagerie pour l'aide au Positionnement en Dosimétrie Conformationnelle* ». PhD thesis, INSA de Lyon, février 1999.
- [FK98] I. FOSTER et C. KESSELMAN. « The Globus Project: A Status Report ». Dans *IPPS/SPDP '98 Heterogeneous Computing Workshop*, pages 4–18, 1998.
- [FMP98] F. FESCHET, S. MIGUET, et L. PERROTON. « ParList: a Parallel Data Structure for Dynamic Load Balancing ». *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 51:114–135, 1998.
- [FPC⁺94] D.S. FRITSCH, S.M. PIZER, E.L. CHANEY, A. LIU, S. RAGHAVAN, et T. SHAH. « Cores for Image Registration ». Dans *Medical Imaging '94: Image Processing*, volume 2167, pages 128–142. SPIE, 1994.
- [FSM99] F. FESCHET, D. SARRUT, et S. MIGUET. « Automated Position Control in Conformal Radiotherapy ». Rapport Technique, Laboratoire ERIC, février 1999.

- [FT94] M. FIDRICH et J.P. THIRION. « Multiscale Extraction and Representation of Features from Medical Images ». Rapport Technique 2365, INRIA, octobre 1994.
- [FTT97] I. FOSTER, G.K. THIRUVATHUKAL, et S. TUECKE. « Technologies for Ubiquitous Supercomputing: a Java interface to the Nexus communication system ». Dans G.C. FOX, éditeur, *Java for Computational Science and Engineering — Simulation and Modeling: Workshop — Syracuse, KS*, volume 9:6, pages 465–476. John Wiley and Sons, décembre 1997.
- [FvFH90] J. FOLEY, A. VAN DAM, S. FEINER, et J. HUGHES. *Computer graphics – Principles and Practice–*. Addison-Wesley, 2nd édition, 1990.
- [FWM98] J.M. FITZPATRICK, J. WEST, et C.R. MAURER. « Predicting Error in Rigid-Body, Point-Based Registration ». *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 17(5):694–702, octobre 1998.
- [GCB92] P. GERLOT-CHIRON et Y. BIZAIS. « Registration of Multimodality Medical Images Using a Region Overlap Criterion ». *Computer Vision, Graphics, and Image Processing. Graphical Models and Image Processing*, 54(5):396–406, septembre 1992.
- [Gér98] T. GÉRAUD. « *Segmentation des Structures Internes du Cerveau en Imagerie par Résonance Magnétique Tridimensionnelle* ». PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, juin 1998.
- [GGM97] J. M. GEIB, C. GRANSART, et P. MERLE. *CORBA: Des concepts à la pratique*. Masson Editeur, 1997.
- [GJM99] M. GARZA-JINICH et V. MEDINA. « Automatic Correction of Bias Field in Magnetic Resonance Images ». Dans *10th International Conference on Image Analysis and Processing*, pages 752–756, Venice, Italy, septembre 1999. IEEE Computer Society.
- [GLPW⁺94] W.E.L. GRIMSON, T. LOZANO-PÉREZ, W.M. WELLS, G.J. ETTINGER, S.J. WHITE, et R. KIKINIS. « An Automatic Registration Method for Frameless Stereotaxy, Image Guided Surgery, and Enhanced Reality Visualization ». Dans *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 430–436, Los Alamitos, CA, USA, juin 1994. IEEE Computer Society Press.
- [GTDK97] S. GRAVES, J. TULLIO, J.H. DOWNS, et N. KASSELL. « Telepresence in Neurosurgery: The Integrated Remote Neurosurgical System ». Dans *Medicine Meets Virtual Reality 5*, 1997.
- [HFGE97] P. HASTREITER, J. FREUND, G. GREINER, et T. ERTL. « Fast Mutual Information Based Registration and Fusion of Registered Tomographic Image Data ». Dans B. ARNOLDS, H. MÜLLER, D. SAUPE, et Th. TOLXDORFF, éditeurs, *5. Workshop: Digitale Bildverarbeitung in der Medizin*, pages 146–151. GI, Deutsche Gesellschaft fuer medizinische Informatik (GMDS), 1997.
- [HHS⁺94] D.L.G. HILL, D.J. HAWKES, C. STUDHOLME, P.E. SUMMERS, et M.G. TAYLOR. « Accurate Registration and Transformation of Temporal Image Sequences ». Dans *Society of Magnetic Resonance (2nd annual meeting)*, page 820, San Fransisco, août 1994.
- [Hil93] D.L.G. HILL. « *Combinaison of 3D Medical Images from Multiple Modalities* ». PhD thesis, University of London, Image Processing Group, Radiological Sciences, UMDS, Guy’s Campus, St Thomas’s Street, London SE1 9RT U.K., décembre 1993.

- [Hil94] D.L.G. HILL. « Accurate Frameless Registration of MR and CT Images of the Head: Application in Surgery and Radiotherapy Planning ». *Radiology*, 191:447–454, 1994.
- [HSH92] D.L.G. HILL, C. STUDHOLME, et D.J. HAWKES. « Voxel Similarity Measures for Automated Image Registration ». *Visualisation in Biomedical Computing, Proc. Soc. Photo-Opt Instrum Eng.*, pages 205–216, 1992.
- [HSS⁺95] J.V. HAJNAL, N. SAEED, E.J. SOAR, A. OATRIDGE, I.R. YOUNG, et G.M. BYDDER. « A Registration and Interpolation Procedure for Subvoxel Matching of Serially Acquired MR Images ». *Journal of Computer Assisted Tomography*, 19(2):289–296, mars 1995.
- [HWHN96] N. HATA, W.M. WELLS, M. HALLE, et S. NAKAJIMA. « Image Guided Microscopic Surgery System Using Mutual-Information Based Registration ». *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, 1131:317–326, 1996.
- [Jol98] J.M. JOLION. « Indexation d’images : nouvelle problématique ou vieux débat ? ». Rapport Technique 9805, Laboratoire Reconnaissance de Formes et de Vision, Insa de Lyon, France, 1998.
- [JR94] J.M. JOLION et A. ROSENFELD. *A Pyramid Framework for Early Vision*. KLUWER Pub. Comp., 1994.
- [JR95] J. J. JACQ et C. ROUX. « Registration of non-Segmented Images using a Genetic Algorithm ». Dans Nicholas AYACHE, éditeur, *Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine*, Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science, avril 1995. ISBN 3-540-59120-6.
- [Kau91] A. KAUFMAN. « *Volume Visualization* », Chapitre 1 : Introduction to Volume Visualization, pages 1–18. IEEE Computer Society Press, 1991.
- [KC98] S. KRUGER et A.D. CALWAY. « Image Registration Using Multiresolution Frequency Domain Correlation ». Dans *British Machine Vision Conference*, pages 316–325. British Machine Vision Association, septembre 1998.
- [Lac96] J.O. LACHAUD. « Topologically Defined Isosurfaces ». Dans S. MIGUET, A. MONTANVERT, et S. UBÉDA, éditeurs, *Discrete Geometry for Computer Imagery*, volume 1176 de *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, pages 245–256, novembre 1996.
- [LAJ98] H. LESTER, S.R. ARRIDGE, et K.M. JANSON. « Local Deformation Metrics and nonlinear Registration using a Fluid Model with variable Viscosity ». Dans *Medical Image Understanding and Analysis*, juillet 1998.
- [Lav95] S. LAVALLÉE. « Registration for Computer Integrated Surgery: Methodology, State of the Art ». *Computer Integrated Surgery*, pages 77–97, 1995. MIT Press.
- [LC87] W.E. LORENSEN et H. E. CLINE. « Marching cubes : a High Resolution 3D Surface Construction Algorithm ». *Computer Graphics*, 21(4):163–169, juillet 1987.
- [LM92] J. J. LI et S. MIGUET. « Parallel volume rendering of medical images ». Dans Q. STOUT, éditeur, *EWPC’92: From Theory to sound Practice*, pages 332–343, Barcelone, 1992.
- [LPE⁺94] A. LIU, S.M. PIZER, D. EBERLY, B. MORSE, J. ROSENMAN, E.L. CHANEY, E. BULLITT, et V. CARRASCO. « Volume Registration using the 3D Core ». Dans *Visualization in Biomedical Computing 94*, volume 2659, pages 217–226. SPIE, 1994.

- [LS95] S. LAVALLÉE et R. SZELISKI. « Recovering the Position and Orientation of Free-Form Objects from Image Contours Using 3D Distance Maps ». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17(4):378–390, avril 1995.
- [Mai96] J.B.A. MAINTZ. « *Retrospective Registration of Tomographic Brain Images* ». PhD thesis, Utrecht University, décembre 1996.
- [Mal92] G. MALANDAIN. « *Filtrage, Topologie et Mise en Correspondance d’Images Médicales Multidimensionnelles* ». PhD thesis, Ecole Centrale Paris, septembre 1992.
- [MBM99] B. MOGHADDAM, H. BIERMANN, et D. MARGARITIS. « Region-of-Interest and Spatial Layout for Content-based Image Retrieval ». Dans *European Workshop on Content-Based Multimedia Indexing*, pages 243–248, Toulouse, France, octobre 1999. IHMPT–IRIT.
- [MCV⁺97] F. MAES, A. COLLIGNON, D. VANDERMEULEN, G. MARCHAL, et P. SUETENS. « Multimodality Image Registration by Maximization of Mutual Information ». *IEEE Transaction On Medical Imaging*, 16(2):187–198, avril 1997.
- [MDW⁺99] U. MOCK, K. DIECKMANN, U. WOLF, T.H. KNOCKE, et R. PÖTTER. « Portal Imaging based Definition of the Planning Target Volume during Pelvic Irradiation for Gynecologicql Malignancies ». *International Journal Radiation Oncology Biol. Phys.*, 45(1):227–232, 1999. Elsevier Science.
- [MEV96] J.B.A. MAINTZ, P.A. Van Den ELSEN, et M.A. VIERGEVER. « Registration of SPECT and MR brain images using a fuzzy surface ». Dans M.H. LOEW et K.M. HANSON, éditeurs, *Medical Imaging '96 – Image processing*, volume 2710, pages 821–829, Bellingham, WA, USA, 1996. SPIE.
- [MEV97] J.B.A. MAINTZ, P.A. Van Den ELSEN, et M.A. VIERGEVER. « Registration of 3D Medical Images using Simple Morphological Tools ». *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, 1230:204–217, 1997.
- [MF93] C.R. MAURER et J.M. FITZPATRICK. « A Review of Medical Image Registration ». Dans R.J. MACIUNAS, éditeur, *Interactive Image-Guided Neurosurgery*, pages 17–44. American Association of Neurological Surgeons, 1993.
- [MFVR95] G. MALANDAIN, S. FERNÁNDEZ-VIDAL, et J.M. ROCCHISANI. « Physically Based Rigid Registration of 3D Free-Form Objects: Application to Medical Imaging ». Rapport Technique 2453, INRIA, janvier 1995.
- [MH97] S. MOSS et E. R. HANCOCK. « Image Registration with Shape Mixtures ». *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, 1311:172–179, 1997.
- [Mig92] S. MIGUET. « Voxcube: a 3D Imaging Package ». Rapport Technique 92-05, Ecole Normale Supérieure de Lyon, 1992.
- [Mig95] S. MIGUET. « Un Environnement Parallèle pour l’Imagerie 3D ». Mémoire d’habilitation à diriger des recherches, Laboratoire de l’Informatique du Parallélisme, École Normale Supérieure de Lyon, décembre 1995.
- [MLB⁺95] C.R. MEYER, G.S. LEICHTMAN, J.A. BRUNBERG, R.L. WAHL, et L.E. QUINT. « Simultaneous Usage of Homologous Points, Lines, and Planes for Optimal, 3D, Linear Registration of Multimodality Imaging Data ». *IEEE Transaction on Medical Imaging*, 14(1):1–11, mars 1995.

- [MMM99] S. MARCHAND-MAILLET et B. MÉRIALDO. « Stochastic Models for Face Image Analysis ». Dans *European Workshop on Content-Based Multimedia Indexing*, pages 249–254, Toulouse, France, octobre 1999. IHMPT-IRIT.
- [MN95] S. MIGUET et J.M. NICOD. « An optimal parallel iso-surface extraction algorithm ». Dans *Fourth International Workshop on Parallel Image Analysis (IWPIA '95)*, pages 65–78. LIP-ENS Lyon (France), décembre 1995.
- [MNS97] S. MIGUET, J.M. NICOD, et D. SARRUT. « A Linear Algorithm for constructing the Polygon Adjacency Relation in a Iso-Surface of 3D Images ». Dans Ehoud AHRONOVITZ et Christophe FIORIO, éditeurs, *International Conference on Discrete Geometry for Computer Imagery 1997*, volume 1347 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 125–136, Montpellier, France, décembre 1997. Springer-Verlag.
- [MP95] S. MIGUET et J.M. PIERSON. « Dynamic Load Balancing in a Parallel Particle Simulation ». Dans *HPCS'95*, pages 420–431, juillet 1995.
- [MP96] S. MIGUET et J.M. PIERSON. « Heuristic for 1D Rectilinear Partitioning ». Dans *European School on Parallel Programming Environments*, Alpes d'Huez - France, avril 1996.
- [MR91] S. MIGUET et Y. ROBERT. « Elastic Load Balancing For Image Processing Algorithms ». Dans H.P. ZIMA, éditeur, *Parallel Computation*, pages 438–451. 1st international ACPC Conference, 1991.
- [MR93] G. MALANDAIN et J.M. ROCCHISANI. « Matching of 3D Medical Images with a Potential Based Method ». Rapport Technique 1890, INRIA, mars 1993.
- [Mun94] P. MUNGER. « Accuracy Considerations in MR Image-Guided Neurosurgery ». Master's thesis, McGill University, Montréal, novembre 1994.
- [MZV99] E.H.W. MEIJERING, K.J. ZUIDERVELD, et M.A. VIERGEVER. « Image Reconstruction by Convolution with Symmetrical Picewise n-order Polynomial Kernels ». *IEEE Transaction on Image Processing*, 8(2):192–201, février 1999.
- [NHA98] C. NIKOU, F. HEITZ, et J.P. ARMSPACH. « Robust registration of dissimilar single and multimodal images ». *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, 1407, 1998.
- [NHAN98] C. NIKOU, F. HEITZ, J.P. ARMSPACH, et I.J. NAMER. « Single and Multimodal Subvoxel Registration of Dissimilar Medical Images using Robust Similarity Measures ». Dans K.M. HANSON, éditeur, *Medical Imaging 1998: Image Processing*, volume 3338 de *SPIE Proceedings*, pages 167–178, Los Alamos National Lab., NM, USA, février 1998.
- [Nic97] J.M. NICOD. « *Extraction de Surfaces en Imagerie Médicale : Approches Parallèles* ». PhD thesis, Ecole Normale Supérieure de Lyon, 1997.
- [Nik99] C. NIKOU. « *Contribution au recalage d'images médicales multimodales : approches par fonctions de similarité robustes et modèles déformables sous contraintes statistiques* ». PhD thesis, Université Louis Pasteur-Strasbourg I, mai 1999.
- [NP97] P. NIEMEYER et J. PECK. *Exploring Java*. O'Reilly & Associates, Inc., 981 Chestnut Street, Newton, MA 02164, USA, second édition, 1997.
- [Ols95] M. OLSZAK. « *Modélisation des Relations de Causalité entre Variables Qualitatives* ». PhD thesis, University of Genève, 1995.

- [OM96] C. B. OWEN et F. MAKEDON. « High Quality Alias Free Image Rotation ». Rapport Technique PCS-TR96-301, Dartmouth College, Computer Science, Hanover, NH, November, 1996.
- [OO98] C. ORDONEZ et E. OMIECINSKI. « Image Mining: A New Approach for Data Mining ». Technical Report GIT-CC-98-12, Georgia Institute of Technology. College of Computing, 1998.
- [OR95] M. OLSZAK et G. RITSCHARD. « The Behaviour of Nominal and Ordinal Partial Association Measures ». *The Statistician*, 44(2):195–212, 1995.
- [ORS⁺99] S. OURSELIN, A. ROCHE, G. SUBSOL, X. PENNEC, et C. SATTONNET. « Automatic Alignment of Histological Sections for 3D Reconstruction and Analysis ». Rapport Technique 3595, INRIA, 1999.
- [PA96] X. PENNEC et N. AYACHE. « Randomness and Geometric Features in Computer Vision ». Rapport Technique 2820, INRIA, mars 1996.
- [Pen96] X. PENNEC. « *L'incertitude dans les problèmes de reconnaissance et de recalage. Application en imagerie médicale et biologie moléculaire* ». PhD thesis, École Polytechnique, 1996.
- [Pen98] X. PENNEC. « Computing the Man of Geometric Features, Application to the Mean Rotation ». Rapport Technique 3371, INRIA, mars 1998.
- [PFTV92] W.H. PRESS, B.P. FLANNERY, S.A. TEUKOLSKY, et W.T. VETTERLING. *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, second édition, 1992.
- [PMV98] J.P.W. PLUIM, J.B.A. MAINTZ, et M.A. VIERGEVER. « A multiscale approach to mutual information matching ». Dans K.M. HANSON, éditeur, *Medical Imaging: Image Processing*, volume 3338 de *SPIE*, pages 1334–1344. SPIE Press, Bellingham, WA, 1998.
- [PMV99] J.P.W. PLUIM, J.B.A. MAINTZ, et M.A. VIERGEVER. « Mutual Information Matching and Interpolation Artefacts ». Dans K.M. HANSON, éditeur, *Medical Imaging: Image Processing*, volume 3661 de *SPIE*. SPIE Press, Bellingham, WA, 1999.
- [Pok96] P. POKRANDT. « Fast Non-Supervised Matching: A Probabilistic Approach ». *Computer Assisted Radiology*, pages 306–310, 1996.
- [PT95a] X. PENNEC et J.P. THIRION. « Validation of 3-D Registration Methods based on Points and Frames ». Dans *the 5th International Conference on Computer Vision*, Cambridge, MA, USA, juin 1995.
- [PT95b] X. PENNEC et J.P. THIRION. « Validation of 3-D Registration Methods based on Points and Frames ». Rapport Technique 2470, INRIA, janvier 1995.
- [PT97] L. PRYLLI et B. TOURANCHEAU. « Protocol design for high performance networking: a Myrinet experience ». Rapport Technique 97-22, Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme, École Normale Supérieure de Lyon, Jul 1997.
- [RMAP99] A. ROCHE, G. MALANDAIN, N. AYACHE, et S. PRIMA. « Towards a Better Comprehension of Similarity Measures used in Medical Image Registration ». Dans *MICCAI'99*, volume 1679 de *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, pages 555–566, Cambridge (UK), octobre 1999.
- [RMPA98a] A. ROCHE, G. MALANDAIN, X. PENNEC, et N. AYACHE. « Multimodal Image Registration by Maximization of the Correlation Ratio ». Rapport Technique 3378, INRIA, août 1998.

- [RMPA98b] A. ROCHE, G. MALANDAIN, X. PENNEC, et N. AYACHE. « The Correlation Ratio as a New Similarity Measure for Multimodal Image Registration ». Dans *MICCAI'98*, pages 1115–1124, Cambridge Massachusetts (USA), octobre 1998.
- [ROC⁺99a] N. RITTER, R. OWENS, J. COOPER, R.H. EIKELBOOM, et P.P. van SAARLOOS. « Registration of Stereo and Temporal Images of the Retina ». *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 18(5):404–418, mai 1999.
- [Roc99b] A. ROCHE. « Communication Personnelle », 1999.
- [Roh98] R.N. ROHLING. « *3D Freehand Ultrasound: Reconstruction and Spatial Compounding* ». PhD thesis, University of Cambridge, septembre 1998.
- [Rou99] J.M. ROUET. « Robust 3D Elastic Multimodality Image Registration though Genetic Algorithms ». Rapport Technique, École Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne, mai 1999.
- [RTL⁺93] H. RUSINEK, W. TSUI, A.V. LEVY, M.E. NOZ, et M.J. de LEON. « Principal Axes and Surface Fitting Methods for 3D Image Registration ». *Journal of Nuclear Medicine*, 34:2019–2024, 1993.
- [Sar98] D. SARRUT. « ARAMIS: an “on line” Parallel Platform for Medical Imaging ». Dans H.R. ARABNIA, éditeur, *International Conference on Parallel and Distributed Processing Technique and Applications*, pages 509–516, Las Vegas, USA, juillet 1998. CSREA Press.
- [SBZ95] H. SHEKARFOROUSH, M. BERTHOD, et J. ZERUBIA. « Subpixel Image Registration by Estimating the Polyphase Decomposition of the Cross Power Spectrum ». Rapport Technique 2707, INRIA, novembre 1995.
- [SDZ95] T. SCHORMANN, A. DABRINGHAUS, et K. ZILLES. « Statistics of Deformations in Histology and Application to Improved Alignment with MRI ». *IEEE Transaction On Medical Imaging*, 14(1):25–35, mars 1995.
- [SF99] D. SARRUT et F. FESCHET. « The Partial Intensity Difference Interpolation ». Dans H. R. ARABNIA, éditeur, *International Conference on Imaging Science, Systems and Technology*, Las Vegas, USA, juillet 1999. CSREA Press.
- [Sha48] C.E. SHANNON. « A Mathematical Theory of Communication ». *The Bell System Technical Journal*, 27:379–423, 623–656, 1948.
- [SHH98] C. STUDHOLME, D.J. HAWKES, et D.L.G. HILL. « A Normalized Entropy Measure for Multi-modality Image Alignment ». Dans Kenneth M. HANSON, éditeur, *Medical Imaging 1998: Image Processing*, volume 3338 de *SPIE Proceedings*, pages 132–143, 1998.
- [SHK95] D. SIMON, M. HERBERT, et T. KANADE. « Techniques for fast and accurate Intrasurgical Registration ». *Journal of Image Guided Surgery*, 1(1):17–29, 1995.
- [SM99a] D. SARRUT et S. MIGUET. « ARAMIS: A Remote Access Medical Imaging System ». Dans *3rd International Symposium on Computing in Object-Oriented Parallel Environments*, Lecture Notes in Computer Science, San Fransisco, USA, décembre 1999. Springer-Verlag. A paraître.
- [SM99b] D. SARRUT et S. MIGUET. « Fast 3D Images Transformations for Registration Procedures ». Dans *10th International Conference on Image Analysis and Processing*, pages 446–452, Venice, Italy, septembre 1999. IEEE Computer Society.

- [SM99c] D. SARRUT et S. MIGUET. « Similarity Measures for Image Registration ». Dans *European Workshop on Content-Based Multimedia Indexing*, pages 263–270, Toulouse, France, octobre 1999. IHMPT-IRIT.
- [SM99d] A. SHARAF et F. MARVASTI. « Motion Compensation using Spatial Transformations with Forward Mapping ». *Signal Processing: Image Communication (Elsevier)*, 14:209–227, 1999.
- [SOB⁺95] D. SIMON, R.V. O'TOOLE, M. BLACKWELL, F. MORGAN, A.M. DIGIOIA, et T. KANADE. « Accuracy Validation In Image-Guided Orthopaedic Surgery ». Dans *Proceedings of the Second International Symposium on Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, pages 185–192, 1995.
- [SP95] M. SYN et R. PRAGER. « Bayesian Registration of Models Using FEM Eigenmodes ». Dans *Cambridge University*, 1995.
- [SSHH98] C. STUDHOLME, P.E. SUMMERS, D.L.G. HILL, et D.J. HAWKES. « An Information Theory Approach to the Alignment of Images Containing Measurement Inhomogeneity: Application to MR Surface Coil Angiography of the Brain ». juillet 1998. <http://www-ipg.umds.ac.uk/miua/>.
- [Stu97] C. STUDHOLME. « *Measures of 3D Medical Image Alignment* ». PhD thesis, University of London, août 1997.
- [SZL92] W.J. SCHROEDER, J.A. ZARGE, et W.E. LORENSEN. « Decimation of triangle meshes ». *Computer Graphics*, 26(2):65–70, juillet 1992.
- [TB95] J.P. TAREL et N. BOUJEMAA. « Une approche foue du recalage 3D : généricité et robustesse ». Rapport Technique 2716, INRIA, novembre 1995.
- [TG92] J.P. THIRION et A. GOURDON. « The 3D Marching Lines Algorithm and its Application to Crest Lines Extraction ». Rapport Technique 1672, INRIA, avril 1992.
- [TG93] J.P. THIRION et A. GOURDON. « The Marching Lines Algorithm : new results and proofs (I+II) ». Rapport Technique 1881, INRIA, avril 1993.
- [Thi93] J.P. THIRION. « New Feature Points based on Geometric Invariants for 3D Image Registration ». Rapport Technique 1901, INRIA, mai 1993.
- [TJG⁺97] M. THOMPSON, W. JOHNSTON, J. GOJUN, J. LEE, B. TIERNEY, et J.F. TERDIMAN. « Distributed Health Care Imaging Information Systems ». Dans *PACS Design and Evaluation: Engineering and Clinical Issues*, volume 3035. SPIE Medical Imaging, 1997.
- [TJMV98] N.A. THACKER, A. JACKSON, D. MORIARTY, et B. VOKURKA. « Renormalised Sinc Interpolation ». Dans *Medical Image Understanding and Analysis*, juillet 1998. <http://www-ipg.umds.ac.uk/miua/>.
- [TRU95] P. THÉVENAZ, U. E. RUTTIMANN, et M. UNSER. « Iterative Multi-Scale Registration without Landmarks ». Dans *International Conference on Image Processing*, volume 3, pages 228–231, Washington DC, USA, octobre 1995.
- [TRU98] P. THÉVENAZ, U. E. RUTTIMANN, et M. UNSER. « A Pyramid Approach to Subpixel Registration based on Intensity ». *IEEE Transaction On Image Processing*, 7(1):27–41, janvier 1998.
- [TSD96] J.P. THIRION, G. SUBSOL, et D. DEAN. « Cross Validation of Three Inter-Patients Matching Methods ». *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, 1131:327–336, 1996.

- [TTK98] G.K. THIRUVATHUKAL, L.S. THOMAS, et A.T. KORCZYNSKI. « Reflective Remote Method Invocation ». Dans *ACM 1998 Workshop on Java for High-Performance Network Computing*, février 1998.
- [TU96] P. THÉVENAZ et M. UNSER. « A Pyramid Approach to sub-pixel Image Fusion based on Mutual Information ». Dans *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, volume I, pages 265–268, Lausanne, Switzerland, septembre 1996.
- [TU98] P. THÉVENAZ et M. UNSER. « An Efficient Mutual Information Optimizer for Multiresolution Image Registration ». Dans *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, volume 1, pages 833–837, Chicago, IL, USA, octobre 1998.
- [UAE93a] M. UNSER, A. ALDROUBI, et M. EDEN. « B-Spline Signal Processing: Part I - Theory ». *IEEE Transactions on Signal Processing*, 41(2):821–833, février 1993.
- [UAE93b] M. UNSER, A. ALDROUBI, et M. EDEN. « B-Spline Signal Processing: Part II - Efficient Design and Applications ». *IEEE Transactions on Signal Processing*, 41(2):834–848, février 1993.
- [Uns99] M. UNSER. « Splines: A perfect fit for signal/image processing ». *IEEE Signal Processing Magazine*, 1999. in press.
- [UTY95a] M. UNSER, P. THÉVENAZ, et L. YAROSLAVSKY. « Convolution-Based Interpolation for Fast, High-Quality Rotation of Images ». *IEEE Transaction on Image Processing*, 4(10):1371–1381, oct 1995.
- [UTY95b] M. UNSER, P. THÉVENAZ, et L. YAROSLAVSKY. « Convolution-Based Interpolation for Fast, High-Quality Rotation of Images ». *IEEE Transactions on Image Processing*, 4(10):1371–1381, octobre 1995.
- [Vas98] P. VASSAL. « *Fusion d'images multi-modales pour la radiothérapie conformationnelle : application au positionnement du patient* ». PhD thesis, Université Joseph-Fourier – Grenoble I, juin 1998.
- [VD99] M. VAILLANT et C. DAVATZIKOS. « Hierarchical Matching of Cortical Features for Deformable Brain Image Registration ». Dans *Information Processing in Medical Imaging*, Budapest, 1999.
- [VHS⁺97] J.B.C. VEMURI, S. HUANG, S. SAHNI, C. M. LEONARD, C. MOHR, T. LUCAS, R. GILMORE, et J. FTZSIMMONS. « A Robust and Efficient Algorithm for Image Registration ». *Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science*, 1230:465–470, 1997.
- [Vio95] P.A. VIOLA. « *Alignement by Maximization of Mutual Information* ». PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology Artificial Intelligence Laboratory, juin 1995.
- [vLSI⁺99] G. von LASZEWSKI, M.H. SU, J. A. INSLEY, I. FOSTER, J. BRESNAHAN, C. KESSELMAN, M. THIEBAUX, M. L. RIVERS, S. WANG, B. TIEMAN, et I. McNULTY. « Real-Time Analysis, Visualization, and Steering of Microtomography Experiments at Photon Sources ». Dans *Ninth SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing*, avril 1999.
- [VW97] P.A. VIOLA et W.M. WELLS. « Alignement by Maximization of Mutual Information ». *International Journal of Computer Vision*, 24(2):137–154, 1997.
- [WCM92] R.P. WOODS, S.R. CHERRY, et J.C. MAZZIOTA. « Rapid Automated Algorithm for Aligning and Reslicing PET Images ». *Journal of Computer Assisted Tomography*, 16(4):620–633, juillet 1992.

- [Weh96] L. WEHENKEL. « On Uncertainty Measures used for Decision Tree Induction ». Dans Junta de ANDALICIA, éditeur, *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, IPMU'96*, volume 1, pages 413–418, juillet 1996.
- [WFW⁺97] J. WEST, J.M. FITZPATRICK, M.Y. WANG, B.M. DAWANT, C.R. MAURER, R.M. KESSLER, R.J. MACIUNAS, C. BARILLOT, D. LEMOINE, A. COLLIGNON, F. MAES, P. SUETENS, D. VANDERMEULEN, P.A. Van Den ELSEN, S. NAPEL, T. SUMANAWEEERA, B. HARKNESS, P.F. HEMLER, D.L.G. HILL, D.J. HAWKES, C. STUDHOLME, J.B.A. MAINTZ, M.A. VIERGEVER, G. MALANDAIN, X. PENNEC, M.E. NOZ, G.Q. MAGUIRE, M. POLLACK, C.A. PELIZZARI, R.A. ROBB, D. HANSON, et R.P. WOODS. « Comparison and Evaluation of Retrospective Intermodality Image Registration Techniques ». *Journal of Computer Assisted Tomography*, 21(4):554–566, 1997.
- [WMC93] R.P. WOODS, J.C. MAZZIOTA, et S.R. CHERRY. « MRI-PET Registration with Automated Algorithm ». *Journal of Computer Assisted Tomography*, 17(4):536–546, juillet 1993.
- [WVA⁺96] W.M. WELLS, P.A. VIOLA, H. ATSUMI, S. NAKAJIMA, et R. KIKINIS. « Multi-Modal Volume Registration by Maximization of Mutual Information ». *Medical Image Analysis*, 1(1):35–51, 1996.
- [YFPC99] P. YUSHKEVICH, D.S. FRITSCH, S.M. PIZER, et E.L. CHANEY. « Towards Automatic, Model-Driven Determination of 3D Patient Setup Errorsormal Radiotherapy ». Rapport Technique TR99-007, Department of Computer Science, University of North Carolina - Chapel Hill, février 1999.
- [Yur94] D. YURET. « From Genetic Algorithms to Efficient Optimization ». Rapport Technique, Massachusetts Institute of Technology Artificial Intelligence Laboratory, mai 1994.
- [ZA96] T.D. ZUK et M.S. ATKINS. « A Comparison of Manual and Automatic Methods for Registering Scans of the Head ». *IEEE Transaction on Medical Imaging*, 15(5):732–744, octobre 1996.
- [Zha93] Z. ZHANG. « Le problème de la mise en correspondance : l'état de l'art ». Rapport Technique, INRIA, décembre 1993.
- [ZK99] F. ZANA et J.C. KLEIN. « A Multimodal Registration Algorithm of Eye Fundus Images Using Vessels Detection and Hough Transform ». *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 18(5):419–42, mai 1999.
- [ZN94] M. ZHENG et H.T. NGUYEN. « An Efficient Parallel Implementation of the Marching-cubes Algorithm ». Dans L. DECKER, W. SMIT, et J.C. ZUIDERVAART, éditeurs, *Massively Parallel Processing Applications and Development*, pages 903–910, 1994.