

Projet Ariana

Problèmes Inverses en Observation de la Terre et Cartographie

Sophia Antipolis

THÈME 3B



*R*apport
d'Activité

1999

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	4
3	Fondements scientifiques	5
4	Domaines d'applications	6
5	Logiciels	7
6	Résultats nouveaux	7
6.1	Étude des propriétés d'anisotropie des modèles markoviens	7
6.2	Étude de dynamiques de type Kawasaki	8
6.3	Recalage et déformation d'un réseau routier cartographique sur une image SPOT	9
6.4	Segmentation d'image aérienne texturée par champs de Markov	10
6.5	Extraction et analyse de zone urbaine en imagerie satellitaire optique et radar .	11
6.6	Classification d'images satellitaires multispectrales par régions et contours actifs	12
6.7	Interférométrie radar ROS pour la génération de modèles 3D	12
6.8	Restauration d'image satellitaire multispectrale	13
6.9	Contours actifs en traitement d'image	14
6.10	Simulation de processus objet : application à la segmentation d'image	15
6.11	Détection des réseaux linéiques dans les images SPOT	15
6.12	Segmentation de zones rurales à partir d'image aérienne par géométrie probabiliste	16
6.13	Déconvolution d'image satellitaire avec estimation des paramètres adaptatifs par une méthode hybride	17
6.14	Recalage d'image satellitaire optique et radar RSO	18
6.15	Algorithme PMHT avec recuit déterministe. Application au suivi de particules .	19
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	19
7.1	Contrats Cnes Toulouse	19
7.2	Contrats Alcatel Space Industries Cannes	19
7.3	Contrat IGN Saint Mandé	20
8	Actions régionales, nationales et internationales	20
8.1	Actions régionales	20
8.2	Actions nationales	20
8.3	Actions internationales	20
8.4	Actions bilatérales internationales	21
9	Diffusion de résultats	21
9.1	Animation de la Communauté scientifique	21
9.2	Enseignement	22

9.3	Thèses	23
9.4	Autre	23
10	Bibliographie	24

ARIANA est un projet commun à l'INRIA, au CNRS et à l'université de Nice-Sophia Antipolis, via le laboratoire d'informatique, signaux et systèmes, de Sophia Antipolis 13S (UPRES-A 6070).

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Josiane Zerubia [DR2 Inria]

Assistante de projet

Corinne Zuzia [AJT Inria, à mi-temps dans le projet]

Personnel Inria

Marc Berthod [DR1, à temps partiel]

Xavier Descombes [CR2]

Personnel Cnrs

Laure Blanc-Féraud [CR1]

Chercheurs doctorants

Sébastien Drot [boursier CIFRE IGN depuis le 1er janvier 1999]

André Jalobeanu [boursier MENESR]

Caroline Lacombe [boursière MENESR depuis le 1er octobre 1999]

Guillaume Rellier [boursier RÉGION PACA - ALCATEL SPACE INDUSTRIES depuis le 1er novembre 1999]

Anne Lorette [boursière CNES-INRIA jusqu'au 30 septembre 1999]

Christophe Samson [boursier MENESR]

Radu Stoica [boursier MAE-CIES/INRIA]

Oscar Viveros-Cancino [boursier SFERE-CIES/INRIA depuis le 1er octobre 1999]

Chercheurs invités

Yoram Bresler [professeur au département d'informatique et génie électrique, université de l'Illinois à Urbana Champaign, États-Unis, un séjour d'une semaine du 28 juin au 2 juillet 1999.]

Joseph Francos [professeur au département d'informatique et des sciences pour l'ingénieur, université Ben Gurion, Israël, deux séjours d'une semaine en février 1999 et en mai 1999.]

Denis Gingras [directeur du département systèmes numériques, Institut National d'Optique, professeur associé aux départements d'informatique et de physique de l'université Laval et au département de génie électrique à l'INRS de Montréal, Québec, Canada, un séjour de 3 mois du 1er septembre au 30 novembre 1999.]

Ercan Kuruoglu [post-doctorant ERCIM, département des sciences pour l'ingénieur, université de Cambridge, Grande-Bretagne, un séjour de 9 mois à partir du 1er novembre 1999.]

Eugène Pechersky [chercheur senior à l'institut pour les problèmes de la transmission d'information à l'Académie des Sciences de Russie à Moscou, un séjour de 2 semaines en octobre 1999 et un séjour de 3 mois à partir du 1er décembre 1999.]

Oleg Seleznev [professeur associé à la faculté de mathématiques et de mécanique à l'université d'état de Moscou, Russie, un séjour de 2 semaines en décembre 1999.]

Hassan Shekarforoush [chercheur au laboratoire CFAR, université du Maryland, États-Unis, un séjour d'un mois en août 1999.]

Marc Sigelle [maître de conférence à l'ENST, Paris, deux séjours d'une semaine en février et octobre 1999.]

Are Strandlie [doctorant à la faculté de mathématiques et des sciences naturelles de l'université d'Oslo, Norvège, un séjour de 3 mois du 1er janvier au 31 mars 1999.]

Collaborateurs extérieurs

Gilles Aubert [professeur au laboratoire Dieudonné, université de Nice-Sophia Antipolis.]

Gérard Giraudon [DR1 Inria, directeur de la direction du développement et des relations industrielles, délégué à la communication et l'information scientifique et technique.]

Marc Sigelle [ingénieur en chef du corps des Télécom, maître de conférences au département traitement du signal et de l'image, ENST Paris.]

Stagiaires

Jean-François Aujol [stagiaire ENS Cachan, du 21 juin au 3 septembre 1999]

Frédéric Bidault [stagiaire de DEA, UNSA, du 15 mars au 15 juillet 1999]

Sébastien Gadat [stagiaire ENS Cachan, du 5 juillet au 21 août 1999]

Mikaël Imberty [stagiaire Ecole Polytechnique, du 12 avril au 30 juin 1999]

Sébastien Pellise [stagiaire Ecole Polytechnique, 12 avril au 30 juin 1999]

Guillaume Rellier [stagiaire de DEA, ENST Bretagne, du 1er avril au 30 septembre 1999]

Guillaume Verza [stagiaire de DEA, ENSG Marne La Vallée, du 8 mars au 31 août 1999]

2 Présentation et objectifs généraux

Comme le suggère son titre, ce projet a une double motivation, à la fois sur le plan méthodologique et applicatif. D'un point de vue méthodologique, il s'agit de mettre en commun, pour les problèmes inverses, des connaissances de deux mondes a priori différents, celui de l'approche probabiliste et celui de l'approche variationnelle. De plus, un pari important que prend le projet est celui de l'utilisation de la géométrie probabiliste en traitement d'image. De manière à proposer des méthodes semi-automatiques, nous nous intéressons également à l'estimation des paramètres des modèles mentionnés ci-dessus. Les problèmes inverses en traitement d'image sont très nombreux et de nature variée. Il est intéressant de les aborder de manière générique.

Ce type de problème étant toujours mal posé, nous sommes toujours confrontés à l'instabilité de la solution par rapport au bruit sur les observations, même dans le cas favorable où il y a existence et unicité de la solution. Il s'agit donc de régulariser la solution par l'introduction de contraintes a priori sur l'objet à reconstruire, visant à limiter l'ensemble des solutions et à assurer la stabilité par rapport aux données. Les modèles mis en œuvre sont soit probabilistes (Markov, géométrie probabiliste), soit déterministes (approche variationnelle).

L'application privilégiée qui nous occupe est l'observation de la Terre et la cartographie au sens large en particulier aérienne et satellitaire.

3 Fondements scientifiques

Les thèmes de recherches du projet Ariana sont les suivants :

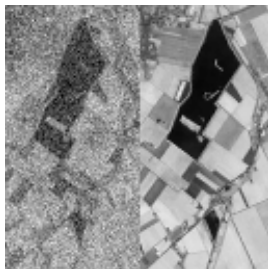
- **L'approche Markovienne :** L'utilisation des modèles markoviens en traitement d'image a débuté dans les années 1980. Très rapidement, ce type de modélisation a été utilisé pour divers problèmes inverses de vision par ordinateur (en restauration d'image, segmentation, classification, stéréovision, imagerie radar, modélisation de textures, ...). Les premières approches proposées ont fait appel à des techniques de relaxation stochastique fondées sur le recuit simulé. Ces techniques étant assez lourdes en temps de calcul, des méthodes sous-optimales ont vu le jour conduisant à une relaxation déterministe. Afin d'améliorer la qualité de la solution obtenue par des méthodes déterministes et afin également d'accélérer les temps de calcul, des méthodes hiérarchiques ont été proposées plus récemment. Ce domaine de recherche est encore très actif. On distingue deux types de hiérarchies selon que le terme s'applique à la modélisation ou à l'algorithme, ainsi que deux familles de processus, qu'ils soient monomodèles (tous les processus suivent la même loi), ou multimodèle (les processus sont de nature différente selon le niveau de la hiérarchie). Ces derniers modèles sont plus récents et présentent un intérêt particulier puisqu'ils permettent de travailler avec des processus définis sur des graphes différents selon le niveau de la hiérarchie.
- **L'approche variationnelle :** En ce qui concerne l'approche variationnelle des problèmes inverses en traitement d'image, de nombreux travaux ont été effectués ces dix dernières années. Les efforts ont principalement porté sur la définition de termes de régularisation ne faisant pas intervenir la norme L2 qui introduit des contraintes fortes globalement sur l'image. Elle ne permet pas en particulier de préserver les discontinuités de la solution lorsqu'on travaille sur les gradients de niveaux de gris mais au contraire les pénalise fortement. La régularisation par norme L1 a été beaucoup étudiée, tant du point de vue mathématique que du point de vue algorithmique. Les termes de régularisation ainsi définis lissent la solution cherchée sur les zones homogènes de l'image, tout en préservant les contours. Cependant, ils ne prennent pas en compte de modèle sur les contours définis par les différentes zones. Or, d'un point de vue segmentation, il est acquis depuis une dizaine d'années déjà qu'il faut faire coopérer les approches régions et les approches contours pour définir un bon critère de segmentation. Indépendamment des problèmes inverses à régulariser, de nombreux travaux ont été développés ces dernières années sur des modèles de contours. Ces modèles de contours sont développés pour la segmentation

d'objet dans une image et n'étaient pas, récemment encore, envisagés comme des modèles de contours pour la segmentation par approche contour/région. Les travaux actuels tentent de combiner et d'unifier ces différents modèles.

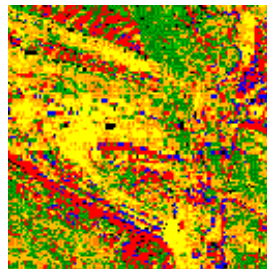
- **L'approche géométrie probabiliste :** Le problème majeur de la segmentation, outre la recherche des classes et de leurs paramètres (moyenne, variance...) et la recherche de paramètres texturaux discriminants, consiste à proposer des algorithmes robustes au bruit inhérent à tout capteur et qui préservent les structures fines. Les approches actuelles de segmentation en imagerie satellitaire (modèles markoviens, modèles variationnels, morphologie mathématique, ...) sont fondées sur une modélisation pixélique de l'image. Les méthodes pixéliques trouvent leurs limites dans cette problématique, car le pouvoir du modèle choisi (capacité à obtenir une segmentation homogène en présence de bruit) s'obtient souvent au détriment de la capacité de préservation des structures fines et des contours. Des modèles plus complexes font l'objet de recherches pour s'abstraire de l'approche pixélique et sont l'objet d'un axe de recherche du projet Ariana.
- **L'estimation de paramètres :** Les méthodes peuvent être rangées en deux classes : les méthodes où l'on a une observation de l'image sur laquelle on cherche un modèle (il n'y a pas de terme de formation des données), on dit qu'on est dans le cas de données complètes ; les méthodes où l'on doit chercher en même temps l'image et les paramètres de son modèle, on dit alors que les données sont incomplètes. Dans le cas général des problèmes inverses, on observe une version incomplète ou dégradée de l'image. Le problème est alors de reconstruire à la fois l'image cherchée et les paramètres du modèle qui servent à la reconstruire. La difficulté réside dans le fait que la vraisemblance n'est plus unimodale. Si les méthodes d'estimation sont nombreuses dans le cadre stochastique, elles sont en revanche assez rares dans l'approche variationnelle.

4 Domaines d'applications

Les applications traitées dans le projet Ariana sont relatives à l'Observation de la Terre et à la Cartographie. On peut les classer en deux grandes familles :



Restauration



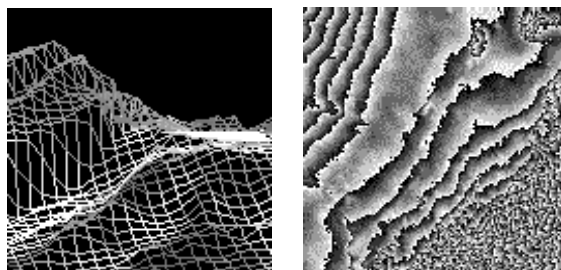
Classification



Détection de réseaux

- **L'imagerie 2D :** L'amélioration de la qualité d'une image perturbée par du bruit ou floue (restauration ou amélioration d'images sont deux choses bien différentes) est un des pôles de recherche du projet Ariana. Le but est de pouvoir extraire de l'image satellitaire

ou aérienne une information pertinente telle que l'ensemble d'un réseau routier, fluvial, ferroviaire ... (ce qui fait appel à la détection de lignes et au groupement perceptuel) ou bien l'ensemble des classes d'une image (ce qui fait appel à des techniques de segmentation et de classification) afin de pouvoir permettre à un opérateur ou à un système expert d'en faire une interprétation (ce dernier aspect n'étant pas traité dans le projet Ariana).



MNT

Interférométrie

- **La modélisation 3D :** Le domaine de l'observation de la Terre et de la cartographie ne se réduit pas aux images 2D. En effet, il est possible de reconstituer des Modèles Numériques de Terrain (MNT) ou des Modèles Numériques d'Élévation (MNE) 3D grâce à des techniques de stéréo haute-résolution ou de super résolution en ce qui concerne les images optiques telles que celles fournies par les satellites ou bien par imagerie aérienne. L'imagerie radar à ouverture de synthèse, dite RSO ("SAR" en anglais), peut, elle aussi, apporter des informations et permettre de réaliser des MNT plus précis grâce à des techniques d'interférométrie par exemple.

5 Logiciels

3 dépôts de logiciel en 1999 à l'APP (Agence de Protection des Programmes) :

- **Cira :** Classification d'image par régions actives (C. Samson, L. Blanc-Féraud, G. Aubert et J. Zerubia)
- **Depa :** Déconvolution avec estimation des paramètres adaptatifs (A. Jalobeanu, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia).
- **Cowpath :** Complex Wavelet Packets Automatic Thresholding (A. Jalobeanu, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia).

6 Résultats nouveaux

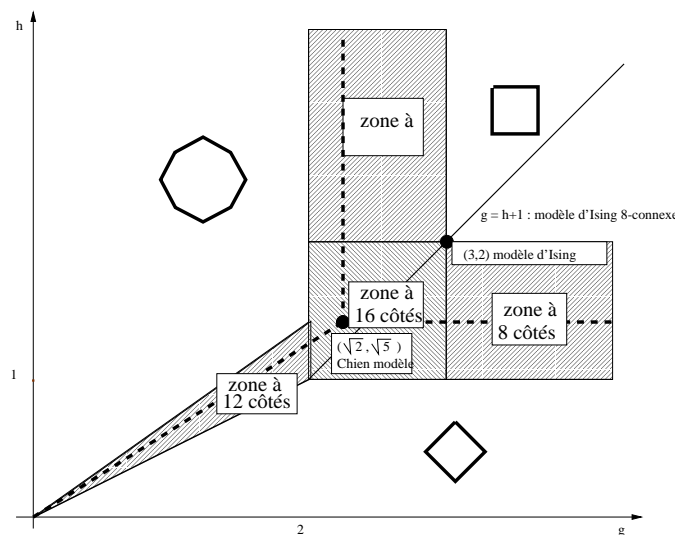
6.1 Étude des propriétés d'anisotropie des modèles markoviens

Participants : Xavier Descombes, Eugène Pechersky.

Mots clés : champs de Gibbs, isotropie, construction de Wulff, critère de qualité.

Les modèles markoviens sont très utilisés pour la segmentation ou la restauration d'image grâce à leur propriété régularisante. Ils sont alors utilisés comme modèles a priori dans un contexte bayésien. Définis sur la trame de l'image, ils peuvent néanmoins induire des artefacts sur la solution. Au cours de ce travail, nous nous sommes attachés à mettre en évidence et à quantifier l'anisotropie de certains de ces modèles dont les interactions sont contenues dans une clique de trois pixels par trois. Cette restriction est raisonnable si nous considérons les contraintes de temps de calcul. Nous avons défini l'anisotropie des modèles en calculant la tension de bord, c'est-à-dire l'énergie par unité de longueur de la frontière entre deux demi-plans. Cette tension de bords a été calculée en fonction de l'angle de la frontière. Nous avons montré que le résultat ne dépend que de deux paramètres définissant le modèle relativement aux propriétés d'isotropie. A partir de ce travail, deux critères de qualité ont été proposés et permettent de quantifier les propriétés d'isotropie des différents modèles. Nous avons ensuite calculé les formes stables associées aux modèles étudiés. Ces formes représentent la configuration d'énergie minimale lorsque les proportions entre deux phases sont fixées. L'étude des formes obtenues permet également de qualifier les propriétés isotropes des différents modèles.

L'effet de l'anisotropie des modèles a été mis en évidence en pratique sur des images de synthèse.



Les différentes formes d'énergie minimale pour les modèles 3 x 3

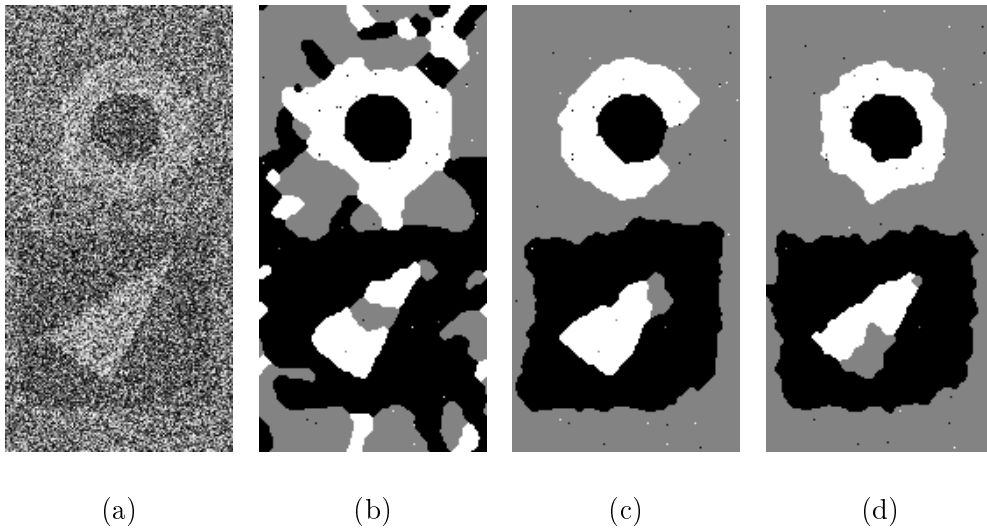
6.2 Étude de dynamiques de type Kawasaki

Participants : Xavier Descombes, Eugène Pechersky.

Mots clés : dynamique de Kawasaki, modèle de Potts, segmentation, restauration.

Les méthodes classiquement utilisées pour optimiser les modèles markoviens sont fondées soit sur l'échantillonneur de Gibbs, soit sur la dynamique de Metropolis. En physique statistique, une autre dynamique a été développée qui consiste à fixer les proportions entre les différentes classes. Dans ce travail, nous avons étudié les apports d'une telle dynamique en

traitement d'image. Des simulations ont montré l'intérêt de l'utilisation de la connaissance des proportions des classes pour la segmentation dans le cas de données très bruitées. Malheureusement, cette connaissance n'est pas accessible pour la plupart des applications. Nous avons donc développé deux algorithmes d'optimisation ne nécessitant qu'une estimée de ces paramètres. Une première méthode consiste à alterner des séquences de la dynamique de Metropolis avec des séquences de la dynamique de Kawasaki. Dans la seconde approche, nous introduisons dans le modèle *a priori* un terme de rappel vers les configurations dont les proportions des classes sont égales aux estimées. Une attache aux estimées des proportions des classes est donc présente mais le résultat peut s'éloigner quelque peu des proportions initiales. Des résultats ont été obtenus sur des images synthétiques.



(a) Image bruitée (SNR=-11dB), (b) segmentation avec Metropolis, (c,d) segmentation avec prise en compte de la proportion estimée des classes

6.3 Recalage et déformation d'un réseau routier cartographique sur une image SPOT

Participants : Guillaume Rellier, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : champs de Markov, graphe, recalage, réseau cartographique.

Les images et les données cartographiques routières ne proviennent pas des mêmes sources. Le réseau cartographique notamment se trouve entaché d'erreurs qui peuvent être volontairement introduites par le cartographe pour expliciter une singularité de celui-ci. Ceci amène à chercher des méthodes pour recalcr ces deux types de données et pour déformer un réseau cartographique grossier afin de se rapprocher au mieux du réseau effectif.

L'algorithme proposé est fondé sur une modélisation du réseau routier sous forme d'un graphe dont les nœuds sont des points caractéristiques du réseau (carrefours, points où la route change d'orientation), et où les arcs sont les tronçons de route qui les joignent. La



Superposition d'un réseau cartographique à recaler (jaune) et du réseau de l'image (bleu)

géométrie supposée de ceux-ci est calculée par programmation dynamique. Cette géométrie dépend uniquement de la position des nœuds aux extrémités du tronçon.

Le réseau, ou le graphe correspondant, est la réalisation d'un champ de Markov, dont chacun des sites est un nœud, et muni d'un système de voisinage lié aux arcs. La position des nœuds et la géométrie des arcs calculés déterminent la probabilité des différentes configurations. Le recalage du réseau, dont la structure (nombre de nœuds, présence d'arcs) est définie par la donnée cartographique, consiste donc en un déplacement des nœuds afin de trouver la configuration d'énergie minimale (au sens du critère du MAP) par recuit simulé.

6.4 Segmentation d'image aérienne texturée par champs de Markov

Participants : Guillaume Verza, Josiane Zerubia.

Mots clés : champs de Markov, modèle hiérarchique, segmentation, texture, image aérienne.

Ce travail traite de la segmentation d'image aérienne texturée. Pour cela, il est nécessaire de modéliser les textures afin de pouvoir calculer des paramètres appropriés. Une classification est ensuite réalisée sur ces paramètres pour déterminer les différentes régions de l'image. Des champs de Markov couplés à une modélisation hiérarchique sont utilisés dans ces deux étapes.

Deux modèles de segmentation sont proposés. Le premier est non supervisé. Il modélise les textures comme des champs markoviens gaussiens anisotropes caractérisés par des variances conditionnelles directionnelles facilement estimables. La classification se fait ensuite, suivant chaque direction, par relaxation aux différents niveaux d'une approximation multirésolution de l'image. L'initialisation de la classification est réalisée au niveau le plus haut par un algorithme non supervisé de classification floue incluant un terme d'entropie. Les classifications obtenues pour chaque direction sont fusionnées en fin de traitement. Le deuxième modèle de segmentation est supervisé. Les textures sont modélisées par les interactions entre pixels pour un voisinage choisi par l'opérateur. La classification se fait par relaxation à partir des classes fixées par l'opérateur, en tenant compte de tous les paramètres à la fois. Ces deux modèles

permettent d'aboutir à des résultats à peu près comparables. Ils segmentent correctement les zones homogènes et les micro-textures. Par contre, ils ne sont pas efficaces pour segmenter les macro-textures. Des modèles plus performants pourraient être obtenus en rajoutant aux niveaux de gris des informations de plus haut niveau telles que des critères géométriques.

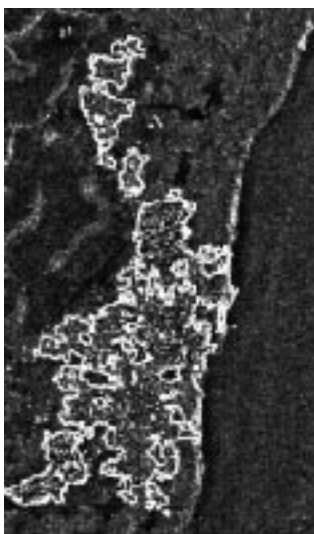
6.5 Extraction et analyse de zone urbaine en imagerie satellitaire optique et radar

Participants : Anne Lorette, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : champs de Markov, morphologie mathématique, analyse de texture, segmentation, extraction de zone urbaine.

Au cours de ce travail, une méthode automatique d'extraction d'un masque urbain à partir d'une analyse de la texture de l'image a été développée. Huit modèles markoviens gaussiens directionnels ont été proposés. Ces modèles sont normalisés par une méthode de renormalisation de groupe issue de la physique statistique afin de corriger le biais introduit par l'anisotropie du réseau de pixels. L'analyse de texture associée a été comparée avec deux méthodes classiques: les matrices de co-occurrence et les filtres de Gabor. L'image du paramètre de texture a été ensuite classifiée grâce à un algorithme non supervisé de classification floue fondée sur la définition d'un critère entropique. Les paramètres estimés avec cet algorithme ont été intégrés dans un modèle markovien de segmentation. Des résultats d'extraction de masques urbains ont été obtenus sur des images satellitaires optiques SPOT3, des simulations SPOT5 et des images radar ERS1.

Une analyse granulométrique a été ensuite utilisée pour analyser le paysage urbain. Elle consiste en une série d'ouvertures par reconstruction. L'étape de quantification qui suit toute étape de transformation nous permet d'estimer en chaque pixel une distribution locale de taille qui est intégrée dans le terme d'attache aux données d'un modèle markovien de segmentation. Des tests ont été effectués sur des simulations SPOT5.



Extraction du masque urbain de la région de Macapà, Brésil, (image radar ERS 1, ©ESA)

6.6 Classification d'images satellitaires multispectrales par régions et contours actifs

Participants : Christophe Samson, Laure Blanc-Féraud, Gilles Aubert, Josiane Zerubia.

Mots clés : méthode variationnelle, ensemble de niveaux, classification multispectrale.

Ce travail s'inscrit dans le cadre des approches variationnelles et consiste à développer un modèle permettant d'obtenir une classification automatique à partir de données satellitaires multispectrales (SPOT, LANDSAT...), en combinant l'information des différentes bandes spectrales du satellite. Nous utilisons une approche fondée sur les ensembles de niveaux pour modéliser les classes qui sont des régions de l'image observée. Les ensembles de niveaux définissent à la fois les régions, qui ne sont pas nécessairement connexes, et leurs frontières. On y introduit les notions de régions et d'interfaces actives. Ce modèle est plongé dans un schéma dynamique dans lequel les frontières des classes évoluent sous des contraintes de régularité et de partition. Ce modèle de classification est précédé d'un algorithme non supervisé de classification floue avec terme d'entropie permettant d'estimer le nombre de classes ainsi que leurs paramètres. De nombreux tests ont été effectués aussi bien sur des images synthétiques que réelles.

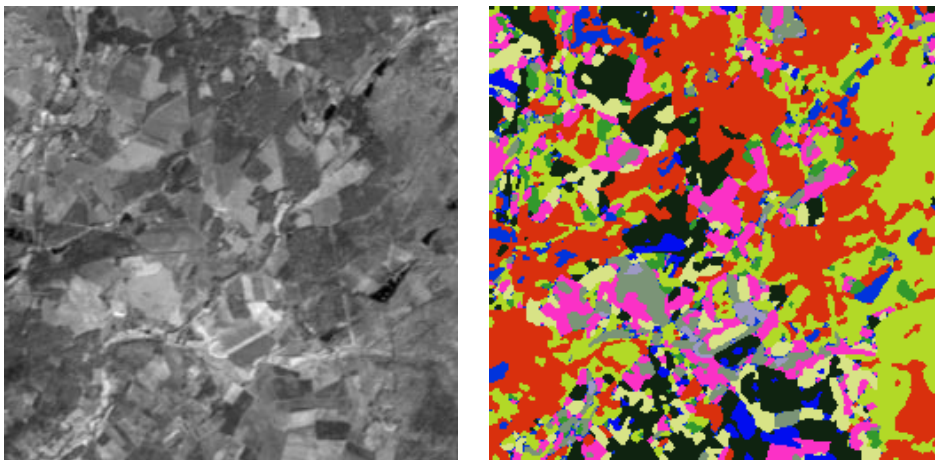


Image SPOT originale issue du canal XS3 (à gauche) ©CNES, et classification obtenue (à droite)

6.7 Interférométrie radar ROS pour la génération de modèles 3D

Participants : Frédéric Bidault, Laure Blanc-Féraud, Gilles Aubert.

Mots clés : méthode variationnelle, ensemble de niveaux, interférométrie, imagerie radar RSO.

L'interférométrie radar permet d'obtenir à partir d'un couple d'images radar RSO l'information d'élévation ou de topographie de la surface imagée au sol. L'avantage du signal radar, par rapport aux données optiques, est de très peu dépendre des conditions atmosphériques.

L'interférométrie radar utilise les différences de phases d'images acquises selon des géométries différentes, pour estimer l'altitude des points de l'image. Une des difficultés est de lever l'ambiguïté des phases observées qui sont connues modulo 2π , et donc d'estimer le nombre de cycles de chaque point de l'image.

Les méthodes actuelles supposent la régularité de la phase déroulée. Dans ce cadre, nous avons développé deux méthodes. La première est classique et consiste à définir un critère global sur l'image dans lequel l'hypothèse de régularité est introduite. La minimisation conduit à la résolution d'une équation de Poisson. Cette technique donne des résultats rapides et corrects sur des jeux de données synthétiques, mais ne peut s'étendre au cas de cassures dans le terrain. En vue de pouvoir introduire des discontinuités de terrain, nous avons développé un nouvel algorithme, dont le principe est de chercher les lignes de sauts de phase et les régions de même phase à l'aide de techniques de segmentation par contours et régions actives. Ces méthodes sont mises en œuvre grâce à l'utilisation d'ensembles de niveaux, ce qui semble bien approprié pour modéliser le lieu des sauts de phase qui correspondent à des lignes de niveau du terrain observé.

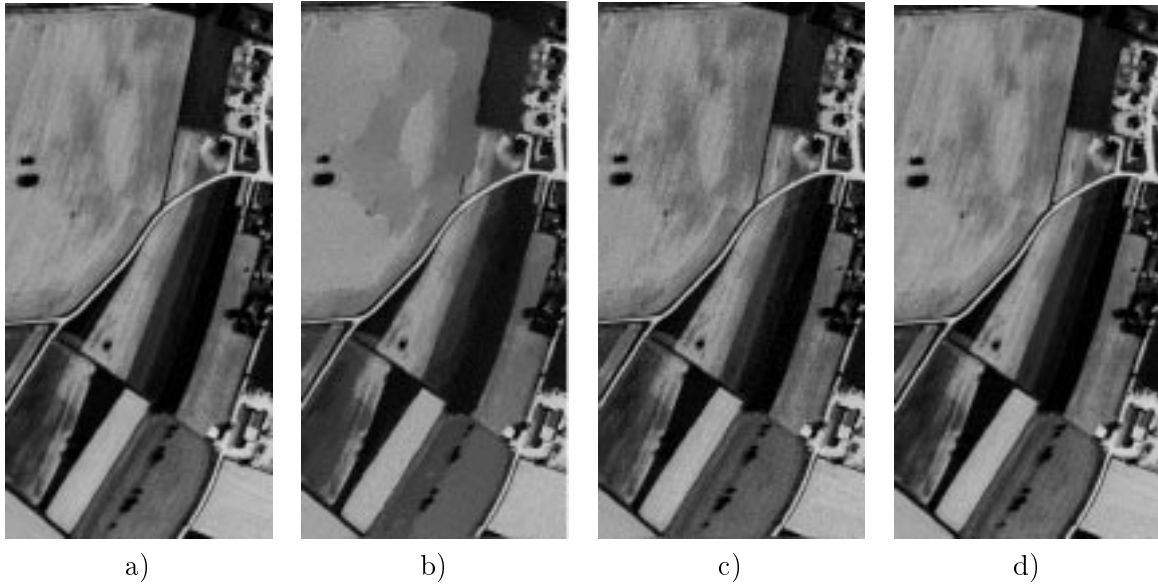
6.8 Restauration d'image satellitaire multispectrale

Participants : Sébastien Gadat, Laure Blanc-Féraud, Gilles Aubert.

Mots clés : géométrie riemannienne, restauration anisotrope, multispectral.

La restauration d'image multispectrale bruitée est obtenue par minimisation d'une fonctionnelle définie en deux parties : une partie correspond au lien entre les données observées et l'image cherchée (modèle de bruit), l'autre correspond au lissage de l'image.

Le modèle de lissage mis en œuvre tient compte des contours de l'image. En monospectral, sur des images d'intensité en niveaux de gris, les contours sont détectés par des discontinuités de l'intensité qui génèrent de forts gradients. Sur des images multispectrales (trois bandes), différents modèles de contours sont envisageables. Notre approche utilise le cadre de la géométrie riemannienne pour la détection de contours dans des images vectorielles, comme cela a été proposé en diffusion anisotrope. Le calcul des vecteurs et valeurs propres de la première forme fondamentale de l'image cherchée définit les directions et amplitudes de plus grandes et plus faibles variations locales. Ceci permet d'écrire un terme de régularisation avec préservation des sauts dans l'image vectorielle, de manière équivalente au cas d'image scalaire utilisant le module du gradient. Cette méthode a été mise en œuvre et testée sur des images couleurs bruitées et des images satellitaires multispectrales SPOT.



a) Image initiale ©IGN, b) Restauration canal par canal,
 c) Régularisation utilisant un gradient vectoriel, d) Régularisation basée sur la géométrie riemanienne

6.9 Contours actifs en traitement d'image

Participants : Jean-François Aujol, Laure Blanc-Féraud, Gilles Aubert.

Mots clés : EDP, ensemble de niveaux, fonction distance signée, courbure, squelette.

Récemment, l'utilisation d'ensembles de niveaux de fonction pour représenter un contour ou une région dans une image s'est beaucoup développée, principalement pour la mise en œuvre de méthodes de segmentation d'objets par contours actifs (géométriques ou géodésiques). La représentation d'une courbe fermée dans une image définie sur Ω un ouvert de \mathbb{R}^2 , par l'ensemble de niveau zéro d'une fonction définie aussi sur Ω , suppose que cette fonction a une valeur non nulle, positive et négative de part et d'autre de la courbe. Cette fonction est souvent définie comme étant la fonction distance signée à la courbe. L'évolution de la courbe au cours du temps, donnée par une équation aux dérivées partielles (EDP) d'évolution de la courbe, doit être extrapolée sur tout Ω pour faire évoluer la fonction distance toute entière, afin que le modèle de contour par l'ensemble de niveaux de cette fonction reste valide au cours de l'évolution.

Récemment, différents auteurs ont proposé séparément une équation d'évolution permettant de préserver la fonction distance par rapport à la courbe de niveau zéro au cours de l'algorithme. Nous avons montré des résultats pour justifier théoriquement le fait que la fonction distance soit préservée. Nous avons aussi été amenés à spécifier la fermeture du squelette de la région définie par la courbe.

6.10 Simulation de processus objet : application à la segmentation d'image

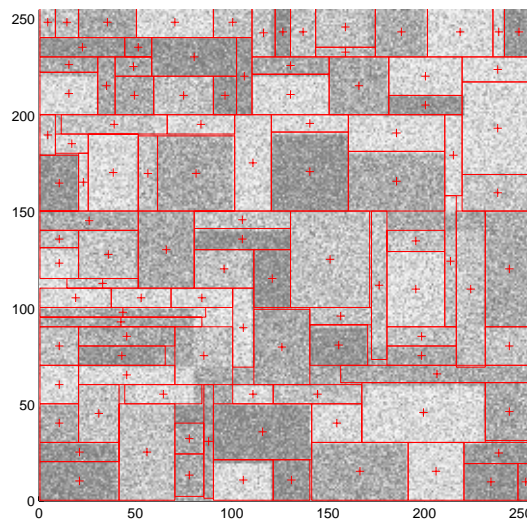
Participants : Mikaël Imbert, Xavier Descombes.

Mots clés : processus Markov objet, méthodes MCMC, segmentation d'image.

Plutôt que de considérer l'image d'un point de vue pixélique, par une modélisation markovienne par exemple, il semble intéressant de la modéliser comme un ensemble d'objets. Cela permet d'inclure des contraintes géométriques dans le modèle *a priori*. En outre, nous pouvons espérer une plus grande robustesse au bruit car la vraisemblance sera calculée sur un objet et non plus sur un pixel.

Comme dans le cas pixélique, la répartition des objets dans une image est traitée de façon stochastique : les objets, ou les zones de l'image, sont ainsi la réalisation d'un processus aléatoire dit *processus objet* ou *processus ponctuel marqué*. La simulation de tels processus est essentielle, car elle permet de tester la validité des modèles utilisés pour la représentation des images.

Nous avons, dans un premier temps, comparé deux algorithmes de simulation sur des processus ponctuels classiques : l'algorithme de *Metropolis-Hastings-Green* et l'algorithme de *naissance-mort*. Puis, nous avons développé un modèle de segmentation fondé sur des objets rectangulaires. De premiers résultats ont été obtenus sur des images de synthèse.



Segmentation par un processus Markov objet rectangulaire

6.11 Détection des réseaux linéiques dans les images SPOT

Participants : Radu Stoica, Xavier Descombes, Marc Sigelle, Josiane Zerubia.

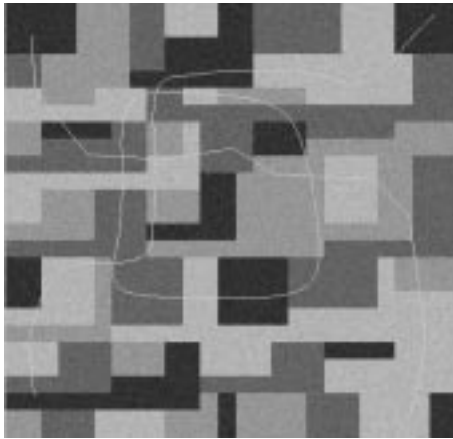
Mots clés : processus Markov objet, méthodes MCMC, réseau linéique.

L'approche nouvelle, que nous envisageons pour l'extraction de réseaux linéiques dans les images satellitaires, consiste à étudier les apports de la géométrie stochastique en traitement d'images.

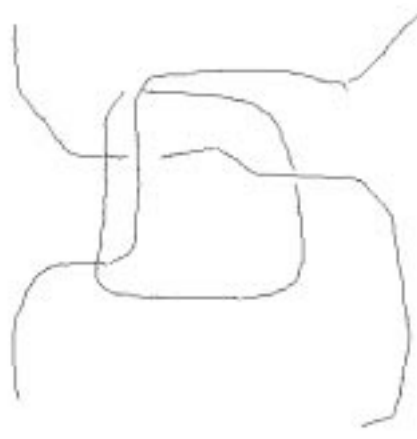
Nous souhaitons ainsi nous soustraire à l'approche pixélique en étudiant directement le comportement des objets dans l'image. Pour ce faire, nous modélisons le réseau linéique dans une image, par un réseau de segments. L'optimisation se fait en minimisant une fonction d'énergie à l'aide d'un algorithme de type recuit simulé utilisant une dynamique MCMC à sauts réversibles.

L'aspect géométrique du réseau (alignement, connectivité, dimension) est géré par le terme a priori. Le terme d'attache aux données est défini à partir de tests d'hypothèses : un segment est un ruban homogène le long d'une direction. Il est donc nécessaire de ne pas confondre une portion du réseau avec un contour ou bien avec une région homogène.

Des tests ont été réalisés sur des images synthétiques et sont en cours sur des images satellitaires SPOT.



a) Image synthétique



b) Réseau linéique détecté

6.12 Segmentation de zones rurales à partir d'image aérienne par géométrie probabiliste

Participants : Sébastien Drot, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : géométrie stochastique, approche bayésienne, méthodes MCMC, segmentation d'image.

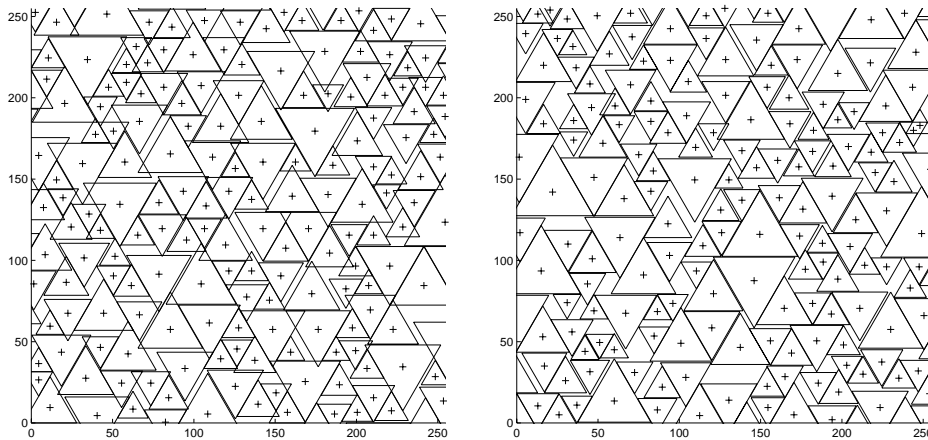
Les techniques probabilistes utilisées pour la segmentation des images ou la classification sont généralement fondées sur une approche pixélique. Elles sont réputées pour leur robustesse au bruit notamment grâce à la prise en compte des statistiques du bruit et d'information a priori sur la segmentation recherchée (homogénéité, texture). Ces méthodes se sont avérées particulièrement pertinentes principalement sur les données basse ou moyenne résolution (Landsat, SPOT...).

Avec des données plus résolues (centimétriques) comme les images aériennes, les approches pixéliques sont insuffisantes car elles n'utilisent aucune information géométrique sur les objets recherchés. Il s'avère donc souhaitable de développer des méthodes assurant la prise en compte

de ce type d'information. Pour conserver les atouts des approches bayésiennes tout en tenant compte de propriétés géométriques *simples*, nous proposons d'étudier les modèles de type *processus objet*.

Ceux-ci permettent de définir et de simuler des modèles pour lesquels le terme a priori tient compte d'informations géométriques simples sur les objets recherchés : caractéristiques géométriques des objets, relation d'interaction entre objets. L'attache aux données modélise l'interaction entre chacun des objets et l'image observée que l'on souhaite segmenter.

Des modèles à base de triangles équilatéraux sont actuellement à l'étude. Leurs lois a priori sont définies pour obtenir deux types de comportement entre objets : un comportement répulsif limitant voire évitant le recouvrement des objets entre eux, et un comportement attractif pour favoriser le recollement d'objets voisins. Ces lois a priori permettent de générer des structures géométriques voisines de la partition de l'espace d'intérêt considéré. Il est donc envisageable de les utiliser dans le cadre de la segmentation des images aériennes.



Structures obtenues à partir de deux lois a priori pénalisant différemment les recouvrements

6.13 Déconvolution d'image satellitaire avec estimation des paramètres adaptatifs par une méthode hybride

Participants : André Jalobeanu, Laure Blanc-Féraud, Josiane Zerubia.

Mots clés : modèle inhomogène, paquet d'ondelettes complexes, estimation adaptative, régularisation, déconvolution.

La déconvolution des images satellitaires floues et bruitées est un problème inverse mal posé. Les modèles homogènes de régularisation ne permettent pas d'obtenir des résultats totalement satisfaisants, car les images satellitaires ont des propriétés qui varient spatialement.

Nous avons proposé d'utiliser un modèle inhomogène, et nous avons étudié différentes méthodes permettant d'estimer les paramètres adaptatifs par maximum de vraisemblance.

Nous avons montré que cet estimateur, lorsqu'il est calculé à partir de l'image dégradée, est inutilisable pour la déconvolution d'image, car il n'est pas robuste au bruit. Nous avons montré que l'estimation n'est correcte que si elle est effectuée sur l'image originale. Comme cette image est inconnue, nous devons en calculer une approximation, dont la qualité doit être suffisante pour que les résultats de l'estimation soient utiles pour la restauration.

Nous proposons pour cela d'utiliser un algorithme de déconvolution fondé sur un seuillage optimal dans une base de paquet d'ondelettes complexes. Par rapport aux méthodes utilisant des ondelettes réelles, cette méthode est plus rapide, invariante par translation, et tient compte des directions.

Pour la reconstruction, nous avons utilisé une méthode hybride, qui estime les paramètres adaptatifs à partir du résultat de cet algorithme de seuillage. Les résultats obtenus présentent à la fois des bords francs, des textures nettes, et un très bon rapport signal/bruit dans les zones homogènes, ce qui vient du fait que la technique proposée s'adapte localement aux caractéristiques de l'image. Une comparaison avec des algorithmes concurrents linéaires et non linéaires a été effectuée pour illustrer son efficacité.



a) Image floue et bruitée de Nîmes, simulation SPOT 5, ©CNES, b) image déconvoluée par seuillage optimal dans une base de paquet d'ondelettes complexes, c) résultat de l'algorithme hybride après estimation des paramètres adaptatifs sur l'image b)

6.14 Recalage d'image satellitaire optique et radar RSO

Participants : Sébastien Pellise, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : recalage, contour, image SPOT, image radar RSO.

Avec la multiplication des images acquises par différents capteurs et dans différentes circonstances (différents points de vue, par exemple), le recalage est un élément central et indispensable du traitement d'image satellitaire. Les imageurs optiques et radars reflètent des propriétés différentes du sol. Dès lors, les informations présentes dans les images sont souvent complémentaires mais également parfois redondantes. Par ailleurs, les bruits générés par les différents capteurs possèdent des propriétés statistiques différentes.

Dans ce travail, nous avons étudié la mise en correspondance d'une image radar RSO et d'une image optique à partir de considérations sur la radiométrie des capteurs. Ceci consiste

à recalculer les deux images à partir de leurs contours. A partir de l'étude de la redondance entre les images, nous avons étudié différents traitements : filtrage du chatoiement, extraction et chaînage de contours, appariement des contours pour définir des points d'amer sur les deux images pour calculer une transformation de recalage.

6.15 Algorithme PMHT avec recuit déterministe. Application au suivi de particules

Participants : Are Strandlie, Josiane Zerubia.

Mots clés : algorithme EM, recuit déterministe, algorithme PMHT.

Nous considérons l'algorithme PMHT ("Probabilistic Multi-Hypothesis Tracking") pour suivre la trajectoire de particules dans des détecteurs utilisés en physique des hautes énergies. Cet algorithme a récemment été développé pour suivre des cibles multiples dans un environnement encombré. Il est fondé sur l'estimateur du maximum de vraisemblance, et s'appuie sur un algorithme de type EM. L'algorithme résultant correspond à l'utilisation en parallèle de plusieurs filtres de Kalman itératifs couplés. Il est proche de l'algorithme EA, mais il est de plus capable de prendre en compte le bruit associé au processus, comme par exemple la diffusion de Coulomb multiple. Dans ce travail, nous avons proposé une généralisation de cet algorithme incluant un recuit déterministe. Nous avons également étudié plusieurs modifications améliorant les performances de cet algorithme. En particulier, nous avons modifié les probabilités reliant les événements élémentaires aux trajectoires afin d'obtenir une compétition entre ces événements dans une même couche du détecteur. Enfin, nous avons testé cet algorithme sur des simulations réalisées à partir du détecteur ATLAS (TRT).

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Contrats Cnes Toulouse

- Déconvolution et restauration d'image satellitaire haute résolution, participants : A. Jalobeanu, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia, contrat No 199E4260041624131-706.2,
- Extraction de zones urbaines sur images simulées SPOT 5 (convention de bourse CNES/INRIA), participants : A. Lorette, X. Descombes et J. Zerubia.

7.2 Contrats Alcatel Space Industries Cannes

- Segmentation d'image hyperspectrale en milieu urbain (convention de bourse Paca-Alcatel Space Industries), participants : G. Rellier, X. Descombes et J. Zerubia
- Estimation d'hyperparamètres pour la restauration d'image satellitaire haute résolution, Alcatel Space Industries (Cannes), participants : A. Jalobeanu, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia, contrat No 198E4100041624202-706.2.

7.3 Contrat IGN Saint Mandé

- Segmentation de zones rurales sur imagerie aérienne haute résolution par des méthodes issues de géométrie probabiliste (convention de bourse CIFRE/IGN), participants: S. Drot, X. Descombes et J. Zerubia.

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Actions régionales

- L. Blanc-Féraud a présenté les activités du projet Ariana lors de la journée d'inauguration du laboratoire I3S dans le bâtiment Euclide des Algorithmes à Sophia Antipolis, auprès des autorités régionales et locales,
- S. Drot et R. Stoica ont fait des présentations dans des lycées et collèges des Alpes Maritimes dans le cadre de la Fête de la Science en octobre 1999,
- S. Drot et A. Jalobeanu ont présenté les travaux du projet auprès des classes préparatoires aux grandes écoles du lycée Masséna à Nice dans le cadre des TIPE en octobre 1999,
- A. Lorette a présenté ses travaux sur l'extraction de zones urbaines au 1er forum azuréen GERI'99 organisé par le Club-HiTech de la Côte d'Azur, avec le soutien de la DATAR, du Conseil Général et de la Préfecture des Alpes Maritimes.

8.2 Actions nationales

- Les membres du projet participent activement au GdR ISIS et au GdR MSPCV.
- L. Blanc-Féraud a donné un séminaire dans le cadre du GdR-PRC ISIS en juin 1999.
- X. Descombes a passé une semaine dans le projet IS2 à l'INRIA Rhône-Alpes, a fait un séminaire dans ce même projet en avril 1999, a fait un séminaire à l'IRIT à Toulouse en mai 1999 et une visite dans ce même laboratoire en novembre 1999.
- A. Jalobeanu a donné un séminaire dans le cadre du GdR-PRC ISIS en juillet 1999.
- C. Samson a donné un séminaire dans le cadre du GdR-PRC ISIS en décembre 1999.
- J. Zerubia s'est rendue un mois en tant que professeur invité au département TSI de l'ENST Paris en août 1999.
- J. Zerubia a fait des séminaires et visité des laboratoires au CIRAD à Montpellier, à l'ENS Cachan, à l'ENST Paris, au CESBIO à Toulouse, au CNES à Toulouse, à Alcatel Space Industries à Toulouse, à l'IRIT à Toulouse, à l'UAG à Pointe à Pitre.

8.3 Actions internationales

- X. Descombes a passé deux semaines à l'UNAM (Mexico) en mars 1999. Il a été invité à participer aux premières Journées Franco-Mexicaines en Informatique et Automatique (JFMIA'99) à Xalappa; il a passé une semaine à l'IPIT (Moscou) en juin 1999 dans le cadre d'une collaboration financée par l'institut Lyapunov et a été invité à faire une présentation à la conférence "Statistical modelling of spatial and space-time processes" organisée par HSSS en juillet 1999 au CIRM à Marseille.

- A. Jalobeanu a donné un séminaire invité à TAIMA'99 en Tunisie en mars 1999.
- C. Samson a donné un séminaire invité du CIRM à Marseille en avril 1999 dans le cadre du colloque “Mathématique et Reconnaissance de Formes” organisé par le GdR MSPCV.
- Dans le cadre d’une collaboration avec l’université d’Urbana Champaign (UIUC), C. Samson a passé 2 mois à UIUC avec le professeur Yoram Bressler; son travail a porté sur la cartographie de l’état de l’Illinois, États-Unis. Cette collaboration est financée par le CNRS et l’UIUC.
- R. Stoica s’est rendu 2 mois en Roumanie (université Polytechnique de Bucarest) en janvier-février 1999.
- J. Zerubia a participé à l’organisation d’un workshop franco-israélien à Juan les Pins en février 1999 et a eu un papier invité à TAIMA en Tunisie en mars 1999. Elle a été également invitée au Centre Européen de Mathématiques à Anogia (Grèce) où elle a fait un tutorial en juillet 1999 et a présenté un papier invité à ICIP à Kobe (Japon) en novembre 1999.
- J. Zerubia a effectué la revue d’un projet de collaboration spatiale entre la Russie et certains pays de l’Union Européenne pour la DERSI en Juillet 99.
- J. Zerubia a donné des séminaires à l’université de York (Grande-Bretagne), à l’université de Kinsai (Japon), au département informatique de la “City University” de Hong Kong (RPC) et au département informatique de l’université des Sciences et Technique (UST) de Hong Kong (RPC)

8.4 Actions bilatérales internationales

- Collaboration avec l’université Ben Gurion (Israël) soutenue par l’AFIRST (jusqu’en juin 1999), responsable : J. Zerubia.
- Collaboration avec l’IPIT et l’université d’Etat de Moscou (Russie) soutenue par l’Institut Lyapunov, responsable : J. Zerubia.
- Collaboration avec l’université de l’Illinois à Urbana Champaign (États-Unis) soutenue par le CNRS et l’UIUC, responsable : L. Blanc-Féraud.
- Collaboration avec l’université de Cambridge (Grande-Bretagne), responsable : J. Zerubia.
- Collaboration avec l’UNAM de Mexico (Mexique), responsable : X. Descombes.

9 Diffusion de résultats

9.1 Animation de la Communauté scientifique

- Le projet Ariana a organisé un séminaire de traitement d’image au cours de l’année 1999. 15 professeurs ou chercheurs invités ont été accueillis provenant des pays suivants : Russie, États-Unis, Canada, Israël, Grande-Bretagne, France et Cameroun. Pour plus d’informations sur ces séminaires, consulter le site internet : <http://www.inria.fr/ariana/>.
- L. Blanc-Féraud est membre du comité de direction du GdR-PRC ISIS, éditeur en chef de la gazette de ce GdR, membre du conseil du laboratoire I3S et membre de la CSE 61ème

- section de l'Unsa, relecteur pour les revues IEEE Transactions on Image Processing et Journal of Electronic Imaging.
- X. Descombes a été membre du comité de programme de la conférence "Fundamental Structural Properties in Image and Pattern Analysis" (FSPIPA'99) les 6 et 7 septembre 1999 à Budapest (Hongrie) et est responsable du groupe TF4 concernant la fusion de données au sein du groupement GdR/ISIS PNTS 1999.
 - X. Descombes a été invité à présenter les travaux du projet Ariana en imagerie haute résolution aux journées scientifiques organisées par le Cemagref (UMR 3S) à Montpellier en décembre 1999. Il a également présenté les travaux d'Ariana au BRGM à Orléans en décembre 1999.
 - G. Giraudon a participé comme les années précédentes, au Club-HiTech Côte d'Azur sur l'observation de la Terre et de l'Environnement.
 - J. Zerubia est membre du comité des projets, du comité des bourses de l'Inria Sophia Antipolis, du comité technique IMDSP de l'IEEE Signal Processing Society, membre du GdR ISIS, du GdR MSPCV et de l'action PNTS, elle a été membre invité du "conference board IEEE" à Phoenix en mars 1999 et a été nommée "IEEE senior member" en juin 1999.
 - J. Zerubia est éditeur pour RFIA'00 et éditeur associé de la revue IEEE Transactions on Image Processing, membre du comité de rédaction du bulletin de la SFPT et appartient aux comités de programme des conférences suivantes: ORASIS'99, GRETSI'99 et RFIA'99 en France, et des conférences: ICASSP'99, ICIP'99, SPIE'99, EMMCVPR'99, SEMTAST'99 à l'étranger. De plus, elle a été présidente de sessions dans les conférences ICASSP'99, EMMCVPR'99 et ICIP'99.

9.2 Enseignement

- M. Berthod: 9 heures de cours au DEA Aravis de l'Unsa.
- L. Blanc-Féraud: ESINSA 4ème année, responsable du module transformées unitaires (24 heures dont 15 enseignées); ESINSA 5ème année, responsable du module images (18 heures); DEA Aravis de l'Unsa, responsable du module sur la reconstruction (15 heures); SupAero (Toulouse)(3 heures 45).
- X. Descombes: DEA astrophysique de l'Unsa (9 heures); master sciences de l'ingénieur à la DEPMI-UNAM (Mexico) (20 heures); SupAero (Toulouse) (10 heures 30).
- C. Samson: ESINSA 4ème année, travaux dirigés (6 heures) et 5ème année, travaux pratiques (15 heures) en traitement des images.
- J. Zerubia: DEA Aravis de l'Unsa, responsable du module sur les champs de Markov en traitement d'image (15 heures); DEA Astrophysique et Sciences de l'Univers de l'Unsa, responsable du module sur la télédétection (15 heures dont 6 heures enseignées); Esinsa (6 heures); Eerie/Ema (6 heures); Ensta (6 heures), Ecole Navale (6 heures); SupAero: responsable de 2 cours "Filtrage et Segmentation" (33 heures dont 15 heures enseignées) et "méthodes variationnelles en traitement d'image" (11 heures dont 4 heures enseignées); université d'Antilles-Guyane (26 heures).

- Les membres du projet Ariana ont participé à 8 thèses de doctorat, dont 3 en tant que rapporteurs et 5 en tant que membres du jury.

9.3 Thèses

Le projet est équipé d'accueil de doctorants ou stagiaires de DEA des formations doctorales suivantes : DEA Aravis (Nice-Sophia Antipolis), DEA Astronomie, imagerie et haute résolution angulaire (Nice-Sophia Antipolis), DEA Traitement du Signal et de l'Image (ENS Cachan/X), DEA Signal, Télécommunications, Image et Radar, de l'université de Rennes I, DEA des Sciences de l'Information Géographique, de l'université de Marne la Vallée.

Thèses en cours :

1. Sébastien Drot, *Segmentation de milieux ruraux à partir d'images aériennes par des techniques de géométrie probabiliste*, université de Nice-Sophia Antipolis,
2. André Jalobeanu, *Estimation de paramètres de modèles variationnels en restauration d'images satellitaires*, université de Nice-Sophia Antipolis,
3. Caroline Lacombe, *Interférométrie radar RSO par méthodes variationnelles*, université de Nice-Sophia Antipolis,
4. Guillaume Rellier, *Analyse de textures dans l'espace hyperspectral par méthodes probabilistes multi-échelle*, université de Nice-Sophia Antipolis,
5. Christophe Samson, *Segmentation d'images satellitaires multispectrales*, université de Nice-Sophia Antipolis,
6. Radu Stoica, *Détection de lignes en traitement d'image en utilisant des modèles bayésiens*, université de Nice-Sophia Antipolis et université Polytechnique de Bucarest,
7. Oscar Viveros Cancino *Fusion de données par approches stochastiques multi-échelle. Application à l'étude de zones urbaines en télédétection*, université de Nice-Sophia Antipolis.

Thèses soutenues en 1999 :

1. Anne Lorette, *Analyse de texture par méthodes markoviennes et par morphologie mathématique : application à l'analyse des zones urbaines sur des images satellitaires*, université de Nice-Sophia Antipolis, (28/09/99).

9.4 Autre

- M. Berthod est président de l'Association PERSAN, conseiller auprès de la SAGEM, conseiller auprès de l'ANVAR, membre du Conseil Administratif de Telecom Valley, membre fondateur d'HERMES, membre institutionnel de la SMAI, membre du Conseil scientifique de l'Observatoire de la Côte d'Azur, membre du Conseil scientifique de l'université Nice-Sophia Antipolis, membre du Conseil scientifique de l'université Paris Descartes (Laboratoire Informatique et Mathématiques), membre du Conseil d'administration de l'Esil à Marseille, président du Conseil d'administration de Persan à Sophia Antipolis, membre du Conseil d'Administration de l'Essi à Sophia Antipolis, membre du Conseil de l'U.F.R de mathématiques et informatique de l'Université René Descartes-Paris 5, membre du Conseil Scientifique de l'Observatoire de la Côte d'Azur,
- M. Berthod est directeur de thèse de Bruno Pairault à l'ONERA.

10 Bibliographie

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [1] A. LORETTE, *Analyse de texture par méthodes markoviennes et par morphologie mathématique : application à l'analyse des zones urbaines sur des images satellitales*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, septembre 1999.

Articles et chapitres de livre

- [2] L. BLANC-FÉRAUD, G. AUBERT, « Some remarks on the equivalence between 2D and 3D classical snakes and geodesic active contours », *International Journal Computer Vision* 34, 1, septembre 1999, p. 19–28.
- [3] T. CORBARD, L. BLANC-FÉRAUD, G. BERTHOMIEU, J. PROVOST, « Non linear regularization for helioseismic inversions. Application for the study of the solar tachocline », *Astronomy and Astrophysics*, 344, avril 1999, p. 696–708.
- [4] X. DESCOMBES, F. KRUGGEL, « A Markov Pixon Information approach for low level image description », *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 21, 6, juin 1999, p. 482–494.
- [5] X. DESCOMBES, R. MORRIS, J. ZERUBIA, M. BERTHOD, « Estimation of Markov Random Field prior parameters using Markov chain Monte Carlo Maximum Likelihood », *IEEE Trans. on Image Processing* 8, 7, juillet 1999, p. 954–963.
- [6] X. DESCOMBES, M. SIGELLE, F. PRÊTEUX, « GMRF Parameter Estimation in a non-stationary Framework by a Renormalization Technique: Application to Remote Sensing Imaging », *IEEE Trans. on Image Processing* 8, 4, avril 1999, p. 490–503.
- [7] Z. KATO, J. ZERUBIA, M. BERTHOD, « Unsupervised parallel image classification using Markovian models », *Pattern Recognition* 32, 4, avril 1999, p. 591–604.
- [8] F. KRUGGEL, Y. VON CRAMON, X. DESCOMBES, « Comparison of Filtering Methods for fMRI Datasets », *NeuroImage* 10, novembre 1999, p. 530–543.
- [9] A. LORETTE, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, « Urban areas extraction based on texture analysis through a Markovian modelling », *IJCV*, 1999, à paraître.
- [10] A. STRANDLIE, J. ZERUBIA, « Particle tracking with iterated Kalman filters and smoothers : the PMHT algorithm », *Computer Physics Communications*, 123, 1999, p. 77–87.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [11] X. DESCOMBES, C. HIVERNAT, S. RANDRIAMASY, J. ZERUBIA, « Graph-matching model using Gibbsian modeling: application to map-SPOT image road networks for map updating », in : *SPIE Proceedings*, Denver, USA, juillet 1999.
- [12] X. DESCOMBES, E. PECHERSKI, « Isotropic properties of some multi-body interaction models », in : *FSPIPA Proceedings*, Budapest, Hongrie, septembre 1999.
- [13] X. DESCOMBES, E. PECHERSKI, « Metropolis vs Kawasaki dynamic for image segmentation based on Gibbs models », in : *EMMCVPR Lecture Note in Computer Science 1654*, Eds E.R. Hancock, M. Pelillo, Springer, York, UK, juillet 1999.
- [14] X. DESCOMBES, R. STOICA, J. ZERUBIA, « Two Markov point processes for simulating line networks », in : *ICIP Proceedings*, Kobe, Japon, octobre 1999.

- [15] C. HIVERNAT, S. RANDRIAMASY, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, « Qualification automatique des résultats d'une mise en correspondance de réseaux routiers en vue de la mise à jour cartographique », *in: ISPRS Working Group II/6 Workshop on: "3D Geospatial Data Production: Meeting Application Requirements"*, Paris, France, avril 1999.
- [16] A. JALOBÉANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, « Déconvolution d'images satellitaires: modèles et estimation de paramètres », *in: TAIMA*, Hammamet, Tunisie, mars 1999.
- [17] A. JALOBÉANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, « Hyperparameter estimation for satellite image restoration by a MCMCML method », *in: EMMCVPR Lecture Note in Computer Science 1654*, Eds E.R. Hancock, M. Pelillo, Springer, York,UK, juillet 1999.
- [18] J. JALOBÉANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, « Restauration automatique d'images satellitaires par une méthode MCMC », *in: GRETSI*, Vannes, France, septembre 1999.
- [19] A. LORETTE, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, « Texture Analysis through Markov Random Fields: Urban Areas Extractions », *in: ICIP Proceedings*, Kobe, Japon, octobre 1999.
- [20] N. MERLET, J. ZERUBIA, « Auxiliary functions and optimal scanning for road detection by dynamic programming », *in: ICASSP*, Phoenix, USA, mars 1999.
- [21] C. SAMSON, L. BLANC-FÉRAUD, G. AUBERT, J. ZERUBIA, « Classification et Restauration d'Images par Approche Variationnelle », *in: ORASIS*, Aussois, France, avril 1999.
- [22] C. SAMSON, L. BLANC-FÉRAUD, G. AUBERT, J. ZERUBIA, « A Level Set Model for Image Classification », *in: Scale Space Theory in Computer Vision Proceedings*, Corfu, Grèce, septembre 1999.
- [23] C. SAMSON, L. BLANC-FÉRAUD, G. AUBERT, J. ZERUBIA, « Simultaneous Image Classification and Restoration Using a Variational Approach », *in: CVPR*, Fort Collins, Colorado, USA, juin 1999.

Rapports de recherche et publications internes

- [24] X. DESCOMBES, E. PECHERSKY, « Isotropic Properties of Some Multi-body Interaction Models: Two Quality Criteria for Markov Priors in Image Processing », *rapport de recherche n° 3752*, Inria, 1999.
- [25] C. SAMSON, L. BLANC-FÉRAUD, G. AUBERT, J. ZERUBIA, « Multiphase Evolution and Image Classification », *rapport de recherche n° 3662*, Inria, 1999.
- [26] A. STRANGLIE, J. ZERUBIA, « A Deterministic Annealing PMHT Algorithm with an Application to Particle Tracking », *rapport de recherche n° 3711*, Inria, 1999.