

Projet ARIANA

Problèmes Inverses en Observation de la Terre et Cartographie

Sophia Antipolis

THÈME 3B



*R*apport
d'Activité

2001

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	8
6.1	Etude des propriétés d'anisotropie des modèles markoviens	8
6.2	Apport de la texture en classification	8
6.3	Fusion de données par approche stochastique : application à l'étude des zones urbaines par télédétection	10
6.4	Analyse de texture dans l'espace hyperspectral par des méthodes probabilistes .	10
6.5	Segmentation d'image en zones rurales par processus ponctuels marqués	12
6.6	Estimation de paramètres d'un modèle de processus ponctuels marqués pour l'extraction des réseaux routiers	13
6.7	Mise à jour cartographique des réseaux linéiques en fusion de données par Processus Markov Objet	14
6.8	Détection de bâtiments sur des Modèles Numériques d'Élévation en utilisant des processus ponctuels marqués	15
6.9	Détection des espaces de Virchow-Robin par processus ponctuels marqués	16
6.10	Estimation des paramètres instrumentaux pour la déconvolution aveugle	17
6.11	Restauration/déconvolution d'image satellitaire fondée sur les ondelettes	18
6.12	Comparaison de méthodes de déconvolution d'image satellitaire, critères de qualité	18
6.13	Classification d'image multi-bande texturée par méthode variationnelle	19
6.14	Classification d'image texturée par approche variationnelle	20
6.15	Mouvement par courbure moyenne de sous-variétés de \mathbb{R}^n de codimension arbitraire	20
6.16	Modèles variationnels et EDP en interférométrie radar RSO : déroulement de phase	21
6.17	"Shape from shading" et recuit simulé	22
6.18	Description et classification des textures par modèles de mélange de gaussiennes	22
6.19	Segmentation d'image texturée par méthode adaptative	24
6.20	Amélioration et automatisation d'algorithmes de segmentation	24
6.21	Evaluation de méthodes de segmentation variées pour l'indexation	25
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	26
7.1	Contrat Cnes Toulouse	26
7.2	Contrat IGN Saint-Mandé	26

7.3	Contrat DGA Arcueil/BRGM Orléans	26
7.4	Contrat Alcatel Space Industries Cannes	26
7.5	Contrat Astrium Toulouse	26
7.6	Contrat Sagem Argenteuil	26
8	Actions régionales, nationales et internationales	26
8.1	Actions régionales	26
8.2	Actions nationales	27
8.3	Projets européens	27
8.4	Actions internationales	28
8.5	Actions bilatérales internationales	28
9	Diffusion de résultats	29
9.1	Animation de la communauté scientifique	29
9.2	Enseignement	29
9.3	Thèses	30
10	Bibliographie	31

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 (UMR 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

Xavier Descombes [CR1]

Ian Jermyn [CR1, depuis le 1er septembre 2001]

Personnel CNRS

Laure Blanc-Féraud [CR1]

Chercheurs doctorants

Jean-François Aujol [boursier ENS CACHAN depuis le 1^{er} septembre 2001]

Karen Brady [boursière PROJET EUROPÉEN MOUMIR]

Sébastien Drot [boursier CIFRE IGN]

André Jalobeanu [boursier MENESR/INRIA jusqu'au 15 décembre 2001]

Caroline Lacombe [boursière MENESR]

Caroline Lacoste [boursière CENTRE INRIA/BRGM depuis le 1^{er} octobre 2001]

Mathias Ortner [boursier DGA/CNRS depuis le 1^{er} octobre 2001]

Guillaume Rellier [boursier RÉGION PACA/ALCATEL SPACE INDUSTRIES]

Emmanuel Villéger [boursier AMN-ENS CACHAN depuis le 1^{er} septembre 2001]

Oscar Viveros-Cancino [boursier SFERE-CIES/INRIA]

Chercheur post-doctorant

Ian Jermyn [boursier PROJET EUROPÉEN MOUMIR jusqu'au 31 août 2001]

Chercheurs invités

Perrine Delacourt [post-doctorante au département d'électronique et électrotechnique de Trinity College Dublin, Irlande, un séjour d'un mois en octobre 2001]

Hassan Foroosh [chercheur au département d'électronique et d'informatique de l'université de Berkeley, Etats-Unis, un séjour d'un mois en juillet 2001]

Joseph Francos [professeur au département d'informatique et des sciences pour l'ingénieur de l'université Ben Gurion, Israël, un séjour de 2 semaines en septembre/octobre 2001]

Nick Kingsbury [professeur dans le groupe traitement du signal du département des sciences pour l'ingénieur de l'université de Cambridge, Grande-Bretagne, un séjour d'une semaine en juin 2001]

Anil Kokaram [professeur au département d'électronique et électrotechnique de Trinity College Dublin, Irlande, un séjour d'une semaine en septembre 2001]

Eric Kolaczyk [professeur au département de mathématiques et statistiques de l'université de Boston, Etats-Unis, un séjour d'une semaine en juin 2001]

Riccardo March [chercheur senior du CNR à Rome, Italie, un séjour d'une semaine en novembre 2001]

Robin Morris [chercheur à la Nasa à Moffet Field, Etats-Unis, un séjour d'une semaine en septembre 2001]

Robert Nowak [professeur au département d'électronique et d'informatique de l'université Rice à Houston, Etats-Unis, un séjour de 3 mois du 1^{er} mai au 31 juillet 2001]

Eugène Pechersky [chercheur senior à l'Institut pour les problèmes de la transmission d'information de l'Académie des Sciences de Russie à Moscou, deux séjours d'une semaine en septembre et novembre 2001]

Henry Permuter [doctorant au département d'informatique et des sciences pour l'ingénieur de l'université Ben Gurion, Israël, un séjour de deux semaines en août 2001]

Cian Shaffrey [doctorant dans le groupe traitement du signal du département des sciences pour l'ingénieur de l'université de Cambridge, Grande-Bretagne, un séjour de trois semaines en mai 2001]

Marc Sigelle [ingénieur en chef du corps des Télécom, maître de conférences au département traitement du signal et de l'image de l'ENST Paris, un séjour d'une semaine en février 2001]

Radu Stoica [post-doctorant au centre de mathématiques du CWI à Amsterdam, Pays-Bas, un séjour d'une semaine en octobre 2001]

Zoltan Toth [doctorant à l'université de Veszpreme et Szeged - Académie des sciences de Hongrie à Budapest, un séjour de 3 mois du 1^{er} mai au 31 juillet 2001]

Marie-Colette van Lieshout [chercheur senior au centre de mathématiques du CWI à Amsterdam, Pays-Bas, un séjour d'une semaine en juin 2001]

Domenico Vitulano [doctorant au CNR de Rome, Italie, un séjour d'une semaine en octobre 2001]

Elena Zhizhina [professeur à l'Institut pour les problèmes de la transmission d'information de l'Académie des Sciences de Russie à Moscou, un séjour de deux semaines en novembre 2001]

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]

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

Stagiaires

Stéphane Amami [stagiaire DEA, UNSA, du 2 avril au 31 août 2001]

Christine Law [stagiaire Standford, du 1^{er} juillet au 31 août 2001]

Mathias Ortner [stagiaire DEA, Sup'Aéro-ENSAE Toulouse, du 1^{er} avril au 30 septembre 2001]

Frédéric Tran-Minh [stagiaire DEA, ENSIMAG, du 1^{er} mars au 31 août 2001]

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 stochastique), 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 multimodèles (les processus sont de nature différente selon le niveau de la hiérarchie). Ces derniers 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** : Pour 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,

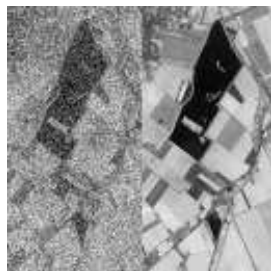
tout en préservant les contours. Cependant, ils ne prennent pas en compte de modèle sur les contours définis par les différentes zones. Or, d'un point de vue segmentation, il est acquis depuis une dizaine d'années déjà qu'il faut faire coopérer les approches régions et les approches contours pour définir 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 stochastique** : 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.

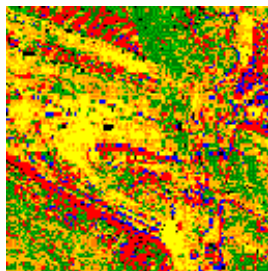
4 Domaines d'applications

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 :

- **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).



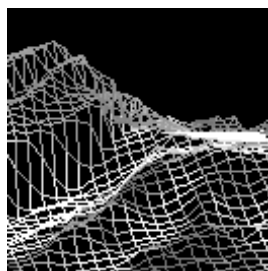
Restauration



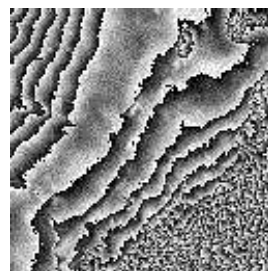
Classification



Détection de réseaux



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 à partir d'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

- 1 dépôt de logiciel en 2001 à l'APP (Agence de Protection des Programmes) :
 - **Blinde 1.0** : (A. Jalobeanu, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia).
- 1 dépôt de brevet en 2001 à l'INPI (Institut National de la Propriété Industrielle) :
 - Procédé de traitement d'images numériques, notamment d'images satellitaires, N° 0110189 (A. Jalobeanu, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia).

6 Résultats nouveaux

6.1 Etude des propriétés d'anisotropie des modèles markoviens

Participants : Xavier Descombes, Eugène Pechersky.

Mots clés : champs de Gibbs, modèles a priori, isotropie.

Les modèles markoviens sont très utilisés pour la segmentation ou la restauration d'images grâce à leurs propriétés régularisantes. 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. Dans cette étude, nous nous sommes attachés à mettre en évidence et à quantifier l'anisotropie de certains de ces modèles.

Nous avons affiné une étude précédente concernant les modèles dont les interactions sont contenues dans une clique de trois pixels par trois. Nous avons classifié les différentes formes stables obtenues par la construction de Wulff. Cette classification ne dépend que de deux paramètres définissant les énergies respectives par unité de longueur correspondant aux contours dont l'angle par rapport à l'horizontale a une tangente égale respectivement à 1 et 0.5. L'énergie des contours horizontaux et verticaux est fixée par normalisation. Nous avons montré que les formes stables sont des polygones possédant de quatre à seize côtés suivant les modèles. Les orientations de ces côtés correspondent à des directions privilégiées lorsque ces modèles sont utilisés comme a priori dans une tâche d'analyse d'image.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration soutenue par l'Institut Lyapunov.

6.2 Apport de la texture en classification

Participants : Oscar Viveros-Cancino, Xavier Descombes.

Mots clés : classification, fusion, texture, modèle markovien.

Nous avons étudié l'apport d'un paramètre de texture pour la classification d'image radar SIRC. Les différentes classes ainsi que des régions d'apprentissage et de validation ont été définies par le BRGM. Nous avons considéré quatre images de différentes polarisations (CHH, CHV, LHH, LHV). Sur chacun des capteurs, nous avons estimé un paramètre de texture issu d'une modélisation markovienne multi-dimensionnelle (précédemment utilisé pour l'extraction de zones urbaines). Une classification suivie d'une étape de régularisation est obtenue sur chacun des capteurs (originaux et paramètres de texture). Les zones d'apprentissage nous permettent alors d'obtenir une matrice de confusion pour chaque segmentation. Ces matrices de confusion nous permettent de définir plusieurs schémas de fusion. Les différentes approches sont évaluées en calculant une matrice de confusion sur les régions de validation.

Nous avons comparé les résultats obtenus avec et sans les paramètres de texture. L'apport de la texture est indéniable. En revanche, le choix d'un opérateur de fusion est crucial. En outre, nous constatons qu'un seul opérateur n'est pas optimal pour toutes les classes. Ceci motive des recherches supplémentaires sur la combinaison de différents opérateurs de fusion.

Ce travail fait partie d'une collaboration avec le BRGM (N. Baghdadi) dans le cadre du

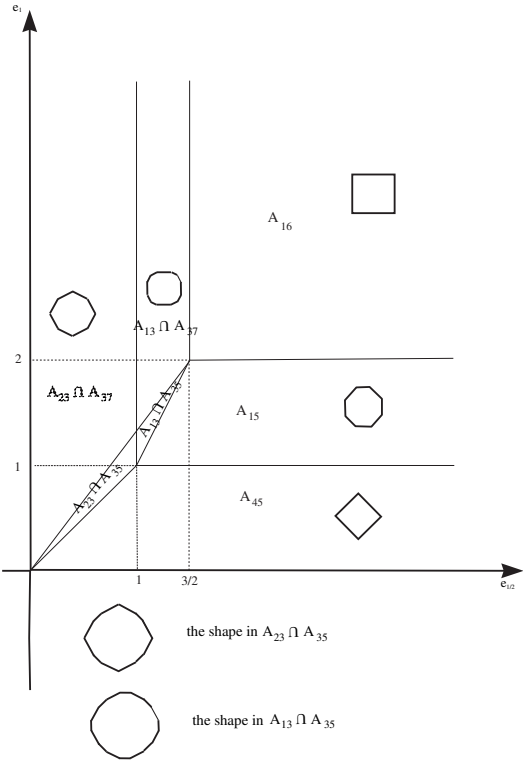


FIG. 1 – Les différentes formes d'énergie minimale pour les modèles markoviens 3×3

projet MAJOR soutenu financièrement par la DGA.

	Radiométrie seule	Radiométrie et texture
fusion x sans régul.	K = 0.46	K = 0.57
fusion x avec régul.	K = 0.76	K = 0.78
fusion + sans régul.	K = 0.44	K = 0.61
fusion + avec régul.	K = 0.70	K = 0.84

Coefficients Kappa obtenus par des opérateurs de fusion de type multiplicatif (x) et de type additif (+) avec et sans régularisation.

6.3 Fusion de données par approche stochastique : application à l'étude des zones urbaines par télédétection

Participants : Oscar Viveros-Cancino, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : fusion, segmentation, classification, champs de Markov.

Nous cherchons à extraire les zones urbaines dans un contexte de fusion de données en utilisant des images satellitaires issues des capteurs SPOT et ERS. Nous utilisons des images de la ville de Mexico.

Nous prenons en compte la texture de l'image par une analyse markovienne. Le paramètre de texture retenu est la variance conditionnelle, qui s'est avéré être un bon descripteur du tissu urbain.

Les paramètres de texture des images satellitaires recalées sont utilisés pour extraire les zones urbaines à partir des trois schémas de fusion d'images suivants :

- 1) Classification Vectorielle (CV) à partir de l'analyse de texture des images et une approche markovienne incluant un paramètre d'entropie.
- 2) Analyse en Composantes Principales (ACP) sur les paramètres de texture pour trouver l'information la plus significative.
- 3) Fusion à partir de Matrices de Confusion (MC) en utilisant différents opérateurs.

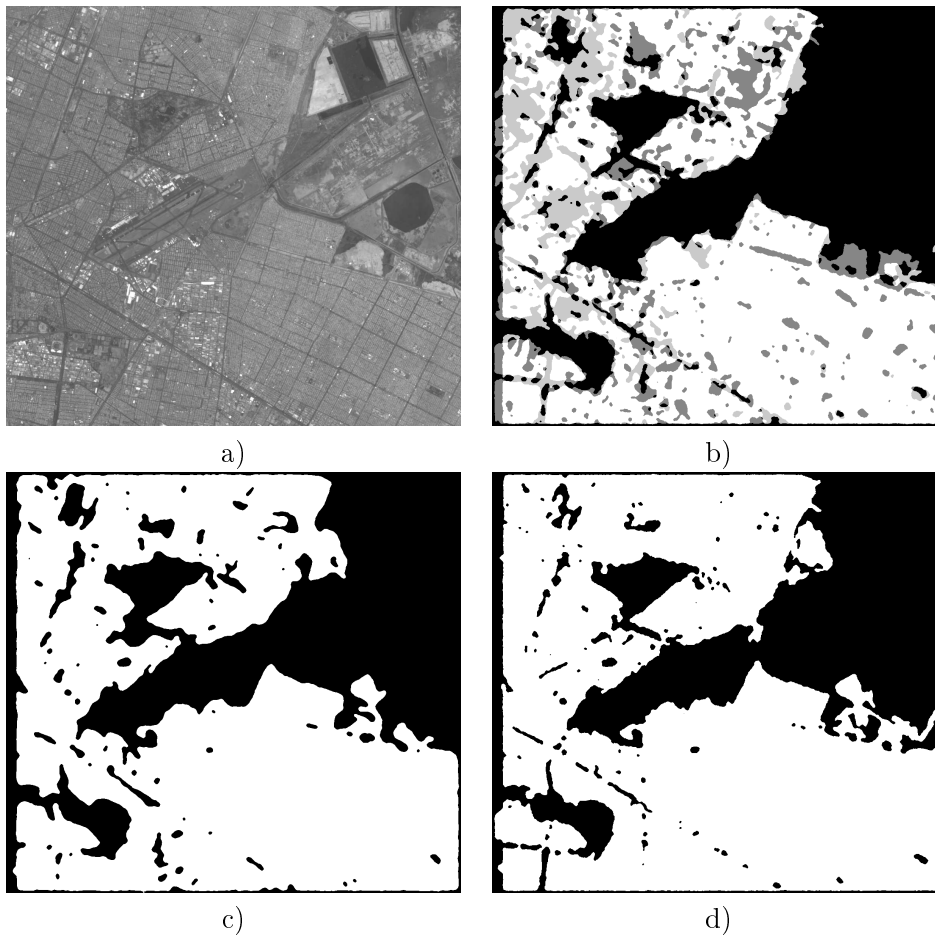
Les premiers résultats montrent l'apport respectif des deux capteurs et l'intérêt d'un schéma de fusion. Une étude plus exhaustive des différentes approches de fusion de données est en cours.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration avec l'Unam, Mexique (M. Motezuma).

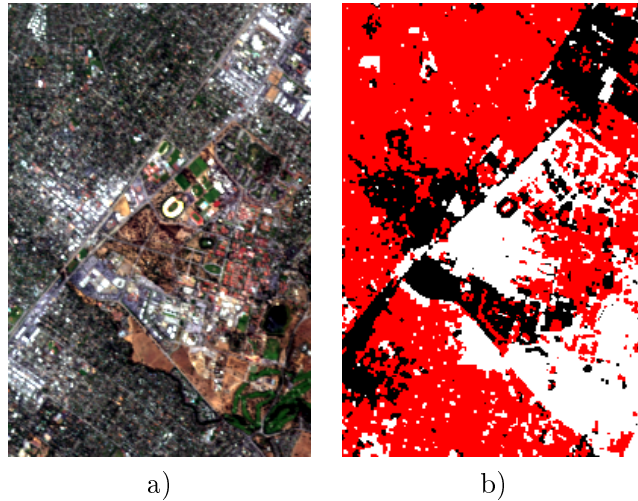
6.4 Analyse de texture dans l'espace hyperspectral par des méthodes probabilistes

Participants : Guillaume Rellier, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : image hyperspectrale, analyse de texture, classification, champs de Markov,



a) Ville de Mexico (SPOT 1995) ; b) Mélange des masques urbains ; c) Masque urbain issu de la classification vectorielle ; d) Masque urbain issu de l'analyse en composantes principales.



- a) Affichage en fausses couleurs de 3 bandes de l'image hyperspectrale AVIRIS initiale,
b) résultat de classification sur 40 bandes extraites par poursuite de projection sur le modèle markovien gaussien. Noir : grands bâtiments, rouge : zones résidentielles, blanc : reste.

poursuite de projection, réduction d'espace.

Les capteurs optiques dits hyperspectraux sont caractérisés par le nombre de leurs bandes d'acquisition supérieur à celui des capteurs multispectraux comme SPOT ou Landsat. Les images issues de capteurs hyperspectraux, comme le capteur aéroporté AVIRIS, sont constituées de 224 bandes allant du visible à l'infrarouge. Ainsi, leur pouvoir discriminant en classification est bien supérieur à celui des images multispectrales, car la mesure fournie est une bonne approximation discrète du spectre de radiance du matériau imagé.

On s'intéresse à l'analyse et à la classification d'image hyperspectrale texturée, notamment urbaine. On étudie le problème de la réduction de la dimension de l'espace d'observation, processus servant à atténuer l'effet de Hughes qui diminue la robustesse des estimations statistiques réalisées dans des espaces de grande dimension. On s'intéresse également à la modélisation de texture multivariée. La modélisation par champ markovien gaussien de la texture multispectrale a été adaptée au cas d'image hyperspectrale. En ce qui concerne la réduction de dimension, on s'intéresse à l'algorithme de poursuite de projection, qui permet d'une part d'intégrer la modélisation choisie et l'objectif du traitement dans les critères d'optimisation et d'autre part de réduire les problèmes liés à l'estimation de paramètres dans des espaces de grande dimension.

Ce travail a été réalisé en collaboration avec Alcatel Space Industries (F. Falzon).

6.5 Segmentation d'image en zones rurales par processus ponctuels marqués

Participants : Sébastien Drot, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : image aérienne, segmentation, processus ponctuels marqués, MCMC à sauts

réversibles.

Nous avons développé des modèles par processus ponctuels marqués en vue de la segmentation d'image. Nous avons défini trois modèles dont les marques des points permettent de définir des triangles équilatéraux. Les trois modèles considèrent respectivement des triangles à deux, à quatre orientations et à orientations quelconques. La densité du modèle par rapport à la mesure de Poisson est construite de façon à favoriser les configurations obtenues par pavage du plan. Pour ce faire, des interactions de type attractif favorisent les rapprochements entre triangles voisins alors que des interactions de type répulsif pénalisent les recouvrements entre triangles. Le terme d'attache aux données est fondé sur l'homogénéité des données à l'intérieur de chacun des triangles et sur le gradient le long des côtés des triangles. L'optimisation du modèle est effectuée par un algorithme MCMC à sauts réversibles.

Ce modèle nous permet d'obtenir une sur-segmentation de la scène. Nous avons donc développé un algorithme de fusion des triangles utilisé comme post-traitement. Nous avons obtenu des résultats satisfaisants sur des images de synthèse pour de faibles rapports signal à bruit. Une procédure de validation sur données réelles (images aériennes à 30 cm de résolution sur des zones rurales) a été entamée.

Ce travail a été réalisé en collaboration avec l'IGN (H. Le Men).

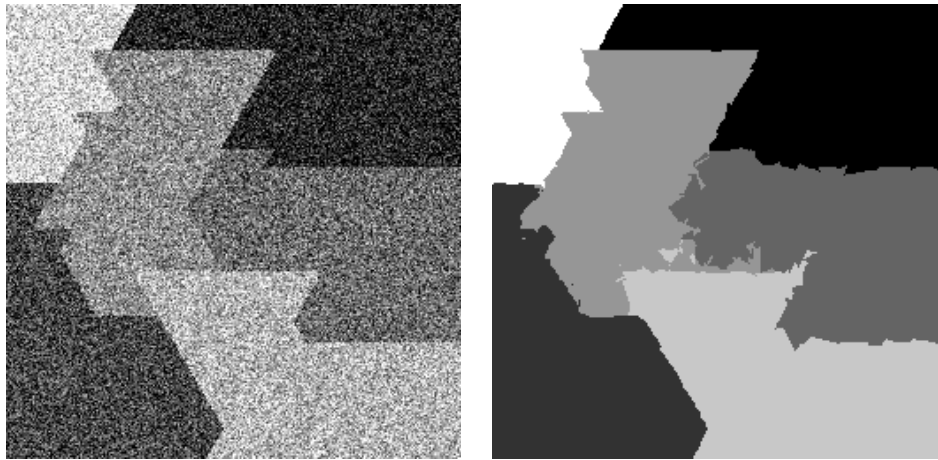


Image de synthèse (SNR=2.2dB) et segmentation par processus ponctuels marqués.

6.6 Estimation de paramètres d'un modèle de processus ponctuels marqués pour l'extraction des réseaux routiers

Participants : Radu Stoica, Xavier Descombes, Marie-Colette van Lieshout, Josiane Zerubia.

Mots clés : extraction des réseaux routiers, processus ponctuels marqués, estimation, MCMC à sauts réversibles.

Le "Candy" modèle proposé par R. Stoica lors de sa thèse, effectuée dans le projet Ariana,

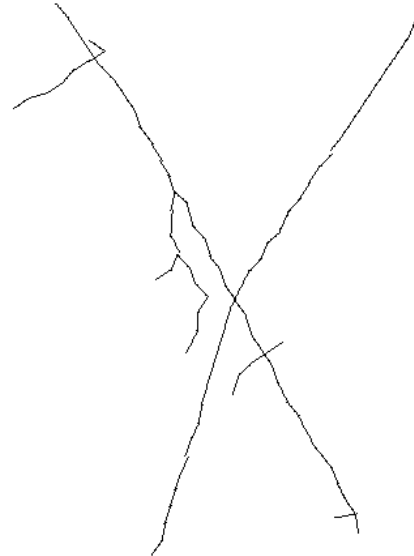
a conduit à utiliser des processus ponctuels marqués pour l'extraction des réseaux routiers en imagerie aérienne ou satellitaire haute résolution.

Le travail effectué cette année, dans le cadre d'une collaboration avec CWI, a consisté à réaliser l'estimation des paramètres du "Candy" modèle par une méthode de type MCMC à sauts réversibles.

Cette collaboration a été soutenue par l'ERCIM (via le NWO et l'INRIA).



a)



b)

a) image originale SPOT, b) réseau linéique détecté

6.7 Mise à jour cartographique des réseaux linéiques en fusion de données par Processus Markov Objet

Participants : Caroline Lacoste, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : mise à jour cartographique, fusion de données, processus ponctuels marqués, MCMC à sauts réversibles.

Le but de ce travail est l'utilisation de données satellitaires optiques et radar pour la détection d'objets linéiques (discontinuités structurales, rivières, réseaux hydrologiques de subsurface) dans une perspective de mise à jour cartographique. Ces travaux sont réalisés en collaboration avec le BRGM (N. Baghdadi, C. King). Plusieurs sites tests vont être choisis en lien avec les grands projets du BRGM. point de vue méthodologique, nous nous plaçons dans un cadre stochastique et utilisons des processus Markov objet comme modèles a priori. Ces modèles prennent en compte des interactions entre objets distincts, ce qui permet d'injecter par exemple des contraintes sur la topologie du réseau (courbure moyenne, densité des embranchements,...).

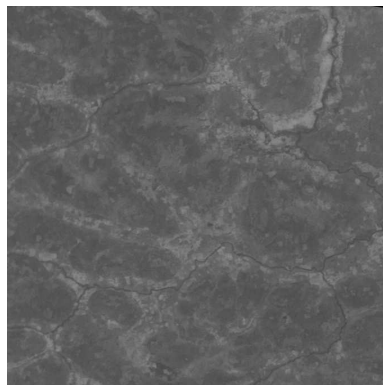
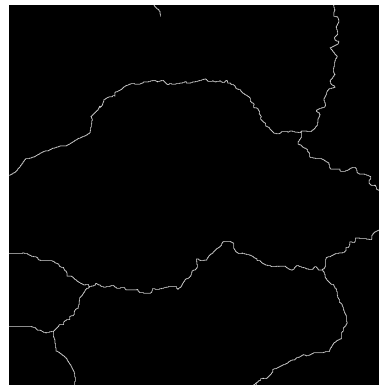


Image SPOT des forêts galeries



Réseau linéique (vérité terrain)

L'item cartographique recherché est constitué des différents réseaux linéiques tels que le réseau hydrographique, le réseau routier ou encore le bâti structural tectonique. Outre les propriétés géométriques du réseau, prises en compte dans un modèle *a priori*, les propriétés radiométriques et de texture des données vont être prises en compte dans un terme de vraisemblance. Pour ce faire, nous nous placerons dans un cadre de fusion de données pour bénéficier de l'apport des différents capteurs disponibles (SPOT, ERS, SIRC,...).

6.8 Détection de bâtiments sur des Modèles Numériques d'Élévation en utilisant des processus ponctuels marqués

Participants : Mathias Ortner, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : extraction de bâtiments, modèle numérique d'élévation, processus ponctuels marqués, MCMC à sauts réversibles.

Nous voulons détecter des bâtiments sur des Modèles Numériques d'Élévation (MNE) fournis par l'IGN. Pour ce faire, nous introduisons un processus ponctuel dont les points représentent les bâtiments. La densité de ce processus ponctuel se divise en deux parties :

- la première est un modèle *a priori* utilisant des interactions entre les points pour introduire la connaissance que l'on a de la structure des bâtiments en zones urbaines,
- la seconde est un terme d'attache aux données pour assurer la cohérence entre les réalisations du processus ponctuel et le Modèle Numérique d'Élévation.

Nous calculons ensuite une estimée de la zone urbaine à partir de cette densité en utilisant une simulation de Monte Carlo par Chaîne de Markov. Nous étudions deux estimateurs : le Maximum de Vraisemblance et un autre estimateur qui utilise la Δ -distance de Baddeley. Nous avons testé cette méthode sur des images de synthèse dans un premier temps. Une étude sur des données réelles est en cours.

Ce travail est soutenu par la DGA/CTA (F. Pradeilles).

6.9 Détection des espaces de Virchow-Robin par processus ponctuels marqués

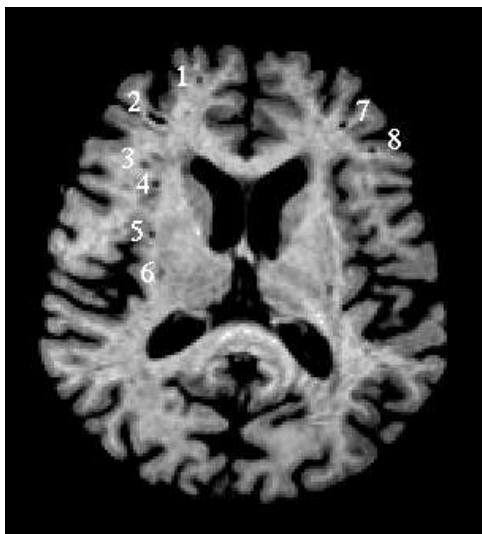
Participant : Xavier Descombes.

Mots clés : IRM, espaces de Virchow-Robin, processus ponctuels.

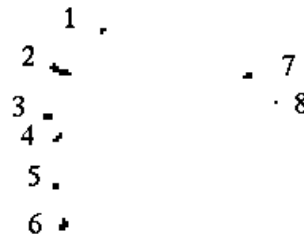
Ce travail, effectué à l'Institut Max Planck pour les neurosciences de Leipzig en collaboration avec F. Kruggel, a permis de montrer que les méthodes de géométrie stochastique que nous développons en imagerie satellitaire et aérienne pouvaient être adaptées au traitement d'image médicale.

Les espaces de Virchow-Robin sont dus à une rétraction des tissus autour des veines pénétrant dans le cerveau. Ces espaces sont des structures tubulaires d'une dizaine de millimètres de long et de 2-3 millimètres de large. Ils apparaissent avec une faible radiométrie dans les IRM T_1 car ils contiennent du liquide céphalorachidien. Nous avons développé un algorithme d'extraction de ces structures fondé sur une modélisation par processus ponctuels marqués sur un espace à trois dimensions. Les interactions imposent trois types de contraintes : non recouvrement des structures, attraction entre les structures et parallélisme des structures voisines. Un algorithme de type MCMC à sauts réversibles a été développé pour l'optimisation. Un prétraitement permet de restreindre le domaine de recherche de ces espaces, c'est à dire de restreindre l'espace sur lequel le processus ponctuel est défini.

L'algorithme a été testé sur une trentaine de sujets. L'expertise médicale consiste en une répartition des sujets en quatre classes suivant le nombre et l'importance des espaces de Virchow-Robin. Nous avons obtenu une corrélation satisfaisante entre la détection automatique et l'expertise médicale.



Coupe axiale



Lésions détectées

Détection des espaces de Virchow-Robin

6.10 Estimation des paramètres instrumentaux pour la déconvolution aveugle

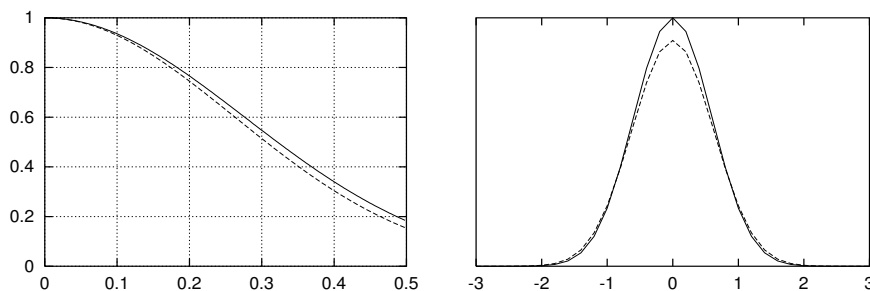
Participants : André Jalobeanu, Laure Blanc-Féraud, Josiane Zerubia.

Mots clés : déconvolution aveugle, paramètres instrumentaux, modèle fractal, estimation, maximum de vraisemblance.

Nous proposons une nouvelle méthode permettant d'estimer les paramètres du bruit du capteur et de la réponse impulsionnelle du système optique, à partir d'une image satellitaire ou aérienne floue et bruitée. La fonction de flou est paramétrée et modélisée en tenant compte de la physique du capteur. Il s'agit d'estimer les paramètres du noyau, ainsi que la variance du bruit, qui est supposé blanc et gaussien.

La scène naturelle est décrite par un modèle fractal : on suppose que les images naturelles présentent des statistiques invariantes par changement d'échelle. L'estimation est effectuée de manière automatique par maximisation de la vraisemblance marginalisée, au moyen d'un algorithme déterministe.

Ce travail réalisé dans le cadre d'un contrat avec le CNES (A. Giros, C. Latri) a donné lieu à un dépôt de brevet par l'INRIA et le CNRS.



Déconvolution aveugle : Imagerie extraite d'une image dégradée, FTM (à gauche) et réponse impulsionnelle en colonne (à droite) estimées (fonctions estimées en pointillés, fonctions exactes en trait plein).

6.11 Restauration/déconvolution d'image satellitaire fondée sur les ondelettes

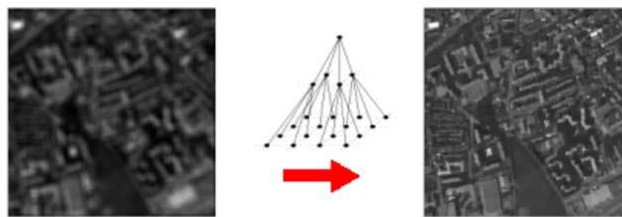
Participants : André Jalobeanu, Robert Nowak, Josiane Zerubia.

Mots clés : restauration, floue, bruit, ondelettes, arbres de Markov cachés.

La reconstruction d'image satellitaire floue et bruitée est un problème inverse difficile. Afin d'éviter l'amplification du bruit lors de l'inversion, il est nécessaire d'utiliser un modèle a priori de l'image à reconstruire.

De grands progrès ont été effectués récemment en matière de modélisation d'image, par l'utilisation de transformées en ondelettes. Celles-ci permettent de représenter efficacement les images naturelles, en concentrant l'information utile sur un faible nombre de coefficients. Le changement de base réalisé par ces transformées permet de découpler les coefficients, ce qui facilite leur débruitage, réalisé par seuillage indépendant. On trouve dans la littérature récente de nombreuses méthodes de débruitage efficaces, faisant notamment appel à des arbres de Markov cachés (HMM) ou à des distributions non informatives.

En revanche, en ce qui concerne l'opérateur de convolution, le changement de base le plus adapté reste la transformée de Fourier. Nous avons développé une technique itérative de type EM, permettant de combiner à la fois les avantages des ondelettes et de la transformée de Fourier. Pour ce faire, on alterne une étape (E) de traitement dans l'espace fréquentiel, visant à obtenir une image plus nette, avec une étape (M) de débruitage par une transformée en ondelettes, évitant l'amplification du bruit au cours de la déconvolution. Cette dernière étape permet de réutiliser l'un des algorithmes de débruitage par ondelettes déjà mis au point soit dans le projet Ariana, soit à l'université Rice. La procédure proposée aborde le problème de manière exacte, contrairement aux techniques concurrentes de déconvolution par ondelettes, ce qui conduit à de meilleurs résultats.



Zone extraite d'une image satellitaire floue et bruitée (à gauche), résultat de la déconvolution par une technique proposée combinant EM et ondelettes (à droite).

6.12 Comparaison de méthodes de déconvolution d'image satellitaire, critères de qualité

Participants : Frédéric Tran-Minh, Laure Blanc-Féraud, Josiane Zerubia.

Mots clés : critère de qualité, fonction psycho-visuelle, défauts globaux/locaux, zones

homogènes, contours.

Ce travail a pour but de comparer deux méthodes différentes de déconvolution d'image satellitaire, l'une développée dans le projet Ariana, l'autre chez Astrium (R. Fraisse, U. Polverini).

Nous avons étudié et mis en place des critères numériques de qualité représentant significativement les défauts des méthodes de déconvolution. Pour ce faire, il est nécessaire de séparer et de définir des critères différents sur les diverses zones de l'image : zones homogènes, contours, textures. Nous avons étudié les défauts liés aux zones homogènes et aux contours, et proposé des critères numériques permettant d'appréhender la qualité des images résultats. Les défauts globaux sur les zones homogènes sont un changement de dynamique et l'ajout d'un bruit (bruit gaussien déconvolué) ; sur les contours, ces défauts sont en plus un manque de netteté des contours. Nous nous sommes aussi intéressés aux défauts locaux, comme par exemple la présence de rebonds près des contours.



Image déconvoluée rehaussée pour mettre en évidence les rebonds aux contours et le bruit résiduel.

6.13 Classification d'image multi-bande texturée par méthode variationnelle

Participants : Stéphane Amami, Laure Blanc-Féraud, Josiane Zerubia.

Mots clés : classification, modèle de texture, zones urbaines, régions actives, ensemble de niveaux.

Ce travail a pour but de sélectionner de manière automatique les zones urbaines dans des images satellitaires. Pour ce faire, nous avons repris un modèle de texture développé dans le projet Ariana par A. Lorette. Un paramètre de texture est calculé à partir d'un modèle markovien gaussien, en calculant la variance conditionnelle de l'image dans huit directions. Ainsi, la mauvaise classification d'objets ayant une orientation privilégiée telles que les vignes et les serres par exemple est éliminée.

Nous avons montré que la distribution de ce paramètre de texture dans les deux classes (ville et non ville), ne suivait pas une loi gaussienne mais était une loi dissymétrique à queue lourde. Nous avons donc pris en compte ce phénomène en utilisant deux distributions lognormales. Une fois les paramètres de ces classes estimés, la classification finale est obtenue par un modèle de régions actives permettant une régularisation spatiale de l'image classifiée. Ce modèle de régions actives avait déjà été développé par C. Samson, dans le projet Ariana, pour la classification d'image d'intensité et des lois gaussiennes.

Enfin, nous avons proposé une nouvelle initialisation de l'algorithme permettant d'éliminer un certain nombre de fausses alarmes.

6.14 Classification d'image texturée par approche variationnelle

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

Mots clés : classification, texture, équation aux dérivées partielles, méthode des ensembles de niveau, fonction distance signée, solutions de viscosité, approche variationnelle.

La classification d'image est une partie importante de l'analyse d'image numérique et a de nombreuses applications (gestion de la politique agricole, étude du développement des zones urbaines, ...).

L'approche la plus usuelle de la classification repose sur des méthodes stochastiques. Récemment, une approche variationnelle a été proposée dans la thèse de C. Samson pour la classification d'image optique mono et multi-spectrale. Dans ce travail, un certain nombre de points importants n'ont pas été traités. Une première partie du travail proposé consiste, toujours via des méthodes variationnelles et EDP, à :

- prendre en considération les aspects texture d'une image.
- fixer précisément le cadre fonctionnel où l'étude mathématique du modèle proposé par C. Samson, ainsi que celui avec texture, pourra être réalisée. Le système à étudier est un système d'EDP non linéaires couplées pour lequel les théories existantes (solutions de viscosité par exemple) ne s'appliquent pas.

6.15 Mouvement par courbure moyenne de sous-variétés de \mathbb{R}^n de codimension arbitraire

Participants : Emmanuel Villéger, Laure Blanc-Féraud, Gilles Aubert.

Mots clés : équation aux dérivées partielles, méthode par ensembles de niveau, fonction distance vectorielle, mouvement par courbure moyenne en codimension arbitraire, variétés à bord.

La méthode des ensembles de niveau s'est avérée être un outil puissant et efficace tant sur le plan théorique que sur le plan algorithmique. La méthode consiste à faire évoluer, à l'aide d'une équation aux dérivées partielles, une courbe initiale définie via une distance signée vers les contours des objets. La méthode permet les changements de topologie et de travailler, dans le cas discret, sur une grille fixe. Si attractive qu'elle soit, la méthode par ensembles de niveau

a quelques défauts car elle ne permet pas :

- de traiter des courbes ou hypersurfaces à bords,
- les changements de dimension (par exemple un segment qui s'évanouit en un point),
- l'intersection de courbes ou d'hypersurfaces.

Pour aborder ces difficultés, nous avons commencé à aborder la notion de VDF (Vector Distance Function) qui consiste à considérer dans le processus d'évolution, plutôt que la distance signée d'un point x de \mathbb{R}^n à une hypersurface, le vecteur $(x - y)$ où y est le point sur l'hypersurface réalisant la distance. Cette méthode est beaucoup plus souple que la précédente et devrait permettre d'en pallier les défauts.

6.16 Modèles variationnels et EDP en interférométrie radar RSO : déroulement de phase

Participants : Caroline Lacombe, Laure Blanc-Féraud, Gilles Aubert.

Mots clés : RSO (Radar à Ouverture synthétique), interférométrie, déroulement de phase, modèle variationnel, minimisation, relèvement, BV.

Les algorithmes de déroulement de phase communément utilisés en imagerie RSO sont formulés dans le domaine discret. Ils commencent par différencier le champ de phase, avant de le réintégrer ultérieurement en ajoutant les cycles manquants pour reconstruire une phase avec le maximum de régularité. A l'inverse de ces techniques, on se propose d'étudier une formulation continue du problème 1D avec une approche variationnelle dépendant de la régularité de la phase enroulée S_m . Cela permet de justifier théoriquement les modèles, et de proposer des schémas numériques adaptés pour le calcul de la phase déroulée φ .

- Si S_m est régulière au sens où S_m ne contient pas de discontinuités de terrain, mais seulement des sauts de phases alors φ est obtenue en introduisant dans l'énergie des contraintes de régularité en chaque point de saut de phase de S_m . Pour réaliser ces contraintes on propose de minimiser dans l'espace de Sobolev H^1 une suite de fonctionnelles.

- Si S_m admet des discontinuités autres que celles dues aux sauts de phase, alors nous devons considérer une minimisation dans SBV (l'espace des fonctions spéciales à variations bornées) pour que φ ait les mêmes discontinuités de terrain que S_m .

Après avoir fait l'étude théorique d'une solution à ce problème, nous avons proposé un schéma numérique, obtenu en discrétisant le modèle proposé. Des simulations numériques à partir de S_m synthétiques et bruitées ont été réalisées.

De plus, dans le cas de données satellitaires, l'importance du bruit ainsi que la présence de zones décorréelées et de discontinuités liées au capteur radar RSO rendent difficile le déroulement de la phase. En s'inspirant du filtre de J.S. Lee et K.P. Papathanassiou nous essayons, par une approche variationnelle, de modéliser un filtre capable de débruiter les images d'interférogrammes tout en préservant au mieux les discontinuités des franges interférométriques. Nous localiserons ensuite les discontinuités et appliquerons notre modèle de déroulement de phase.

6.17 “Shape from shading” et recuit simulé

Participants : Xavier Descombes, Jean-Denis Durou.

Mots clés : shape from shading, optimisation, recuit simulé.

Les approches classiques pour résoudre l'équation de l'Eikonale du “shape from shading” sont déterministes. Elles permettent de définir des algorithmes efficaces du point de vue du temps de calcul mais qui dépendent fortement de l'initialisation, notamment des connaissances sur les zones de concavité et de convexité du relief.

Dans cette étude, nous étudions l'apport des algorithmes stochastiques, notamment du recuit simulé, au problème du “shape from shading”. Nous avons obtenus de premiers résultats sur un relief synthétique contenant à la fois des zones de concavité et des zones de convexité. Sur un tel relief, les méthodes déterministes échouent sauf si les zones de concavité et de convexité sont connues a priori. Le recuit simulé permet d'obtenir la solution sans cette connaissance. En contrepartie, l'optimisation nécessite un temps de calcul important. Ce travail ouvre de nombreuses perspectives car il montre qu'il est possible de résoudre le problème du “shape from shading”.

A terme, en combinant les propriétés du recuit simulé avec une optimisation plus efficace en temps de calcul, des applications en radarclinométrie peuvent être envisagées.

Ce projet, soutenu financièrement par le GdR ISIS dans le cadre des projets “jeunes chercheurs” a permis une collaboration entre le projet Ariana et l'IRIT.

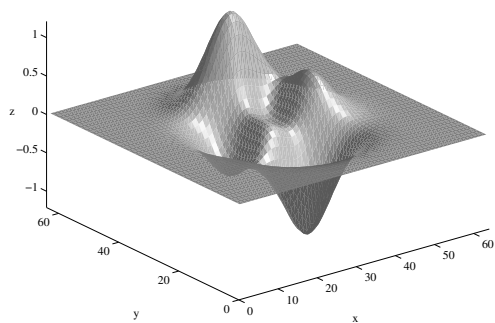
6.18 Description et classification des textures par modèles de mélange de gaussiennes

Participants : Ian Jermyn, Henry Permuter, Joseph Francos.

Mots clés : texture, classification, mélange de gaussiennes, EM, ondelettes.

Dans le cadre du projet européen MOUMIR, un des problèmes importants est la description et la classification de texture, afin de segmenter et paramétriser des images aériennes (fournies par l'IGN) pour l'indexation dans une base de données.

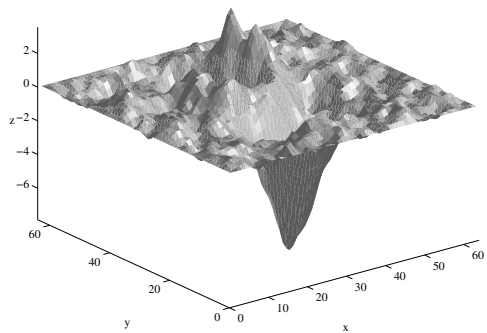
Ce travail, réalisé conjointement avec l'université Ben Gurion en Israël, utilise un mélange de gaussiennes avec des attributs variés pour caractériser les textures. Utilisant des attributs structurels et de couleur définis sur une fenêtre dans une image, on a construit des mélanges de gaussiennes par apprentissage en utilisant l'algorithme EM. On a étudié la performance de ces modèles probabilistes sur les bases de données Vistex (MIT) et des images aériennes (IGN). On a comparé les résultats obtenus à d'autres méthodes classiques testées sur les mêmes bases de données. Une nette amélioration a été obtenue avec la méthode proposée.



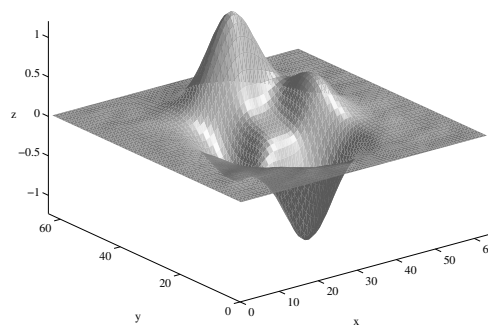
Relief synthétique



Données d'éclairage associées



Relief initial



Relief reconstruit par recuit simulé

“Shape from shading”

Iteration	CART	LVQ1	HMM	MHMM	GMM
1	22.6	21.6	19.0	17.3	16.4
2	18.0	19.1	17.6	16.3	14.0
3	28.9	28.4	20.3	17.8	19.6
4	25.2	24.9	24.0	20.5	19.1
5	14.2	18.7	18.3	12.5	4.2
6	20.2	18.1	13.3	11.5	15.4
Ave.	21.5	21.8	18.8	16.0	14.8

TAB. 1 – Pourcentage d'erreurs de classification pour différents algorithmes.

6.19 Segmentation d'image texturée par méthode adaptative

Participants : Karen Brady, Ian Jermyn, Josiane Zerubia.

Mots clés : segmentation, texture, paquets d'ondelettes, méthode adaptative.

Un des problèmes centraux dans le projet européen MOUMIR est la segmentation d'image texturée en vue de l'indexation dans une base de données.

Bien que les décompositions en ondelettes classiques soient adaptées à des problèmes comme la restauration d'image par exemple, dans lesquels on peut traiter les statistiques de toute l'image en même temps, la segmentation d'image traite des textures individuellement, lesquelles ne possèdent pas nécessairement le comportement $1/f$ typique de toute l'image. Afin de représenter plus précisément les textures, ce travail se fonde sur une approche adaptative, dans laquelle l'ondelette mère et la division de l'espace de fréquences peuvent être adaptées aux textures individuelles (paquets d'ondelettes). L'adaptativité crée des difficultés théoriques et pratiques qui doivent être surmontées : l'utilisation d'attributs différents pour des textures différentes nécessite le calcul du volume des classes d'équivalence associées à chaque ensemble d'attributs.

6.20 Amélioration et automatisation d'algorithmes de segmentation

Participants : Christine Law, Ian Jermyn, Josiane Zerubia.

Mots clés : segmentation, sélection de modèles.

Dans le cadre du projet européen MOUMIR, nous avons été amenés à évaluer des méthodes diverses pour la segmentation d'image.

Une des méthodes développées dans le projet Ariana, en collaboration avec l'université Ben Gurion en Israël (J. Francos), est fondée sur la décomposition de Wold et le recuit simulé. Pour initialiser l'algorithme principal, il fallait que l'utilisateur choisisse un nombre de classes et des sous-régions d'une segmentation initiale obtenue par "k-means" qui sont utilisées pour l'apprentissage des paramètres de la décomposition de Wold.

Afin de mener à bien l'évaluation, nous avons rendu l'algorithme complètement automatique. Ce travail a remplacé la sélection de modèle par une étape automatisée utilisant l'algorithme "k-means" pour déterminer le nombre des classes, et a automatisé la sélection des

régions utilisant une méthode heuristique.

De plus, afin de fixer les valeurs des paramètres optimaux de l'algorithme, de nombreuses expériences ont été faites sur les images utilisées dans le projet MOUMIR.

Ce stage a été réalisé dans le cadre de l'échange Silicon Valley/Telecom Valley avec l'université de Stanford.

6.21 Evaluation de méthodes de segmentation variées pour l'indexation

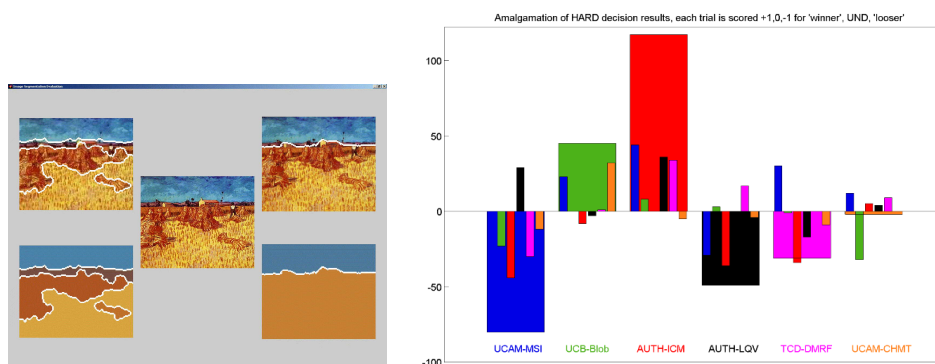
Participants : Ian Jermyn, Cián Shaffrey, Nick Kingsbury.

Mots clés : segmentation, indexation, évaluation psychophysique, ondelettes complexes.

Une des tâches du projet européen MOUMIR est l'évaluation de diverses méthodes de segmentation pour la recherche d'image dans des bases de données. MOUMIR utilise deux bases de données de nature complètement différente pour faciliter cette étude : une première fournie par l'IGN, constituée par des images aériennes de la région de l'Ile-de-France, et une seconde constituée par des images d'arts de la "Bridgeman Art Library" de Londres. L'évaluation, sur cette dernière, pose des problèmes méthodologiques beaucoup plus complexes que les difficultés associées à la première base, qui sont plutôt techniques.

La première étape de ce travail a été une étude de la méthodologie d'évaluation des techniques d'indexation dans des bases de données de types variées. Une expérience psychophysique a été réalisée conjointement à l'université de Cambridge et à l'INRIA Sophia Antipolis.

Le succès de l'évaluation sur la base de données IGN dépend de la connaissance de vérité terrain. Récemment, nous avons pu obtenir une vérité terrain pour les images de la base de données IGN, produite par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'Ile-de-France (IAURIF), sous forme de cartes numériques. L'évaluation sur cette base est en cours.



A gauche, un écran montrant l'interface pour l'expérience psychophysique.

A droite, les premiers résultats obtenus.

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Contrat Cnes Toulouse

Estimation des paramètres instrumentaux, participants : A. Jalobeanu, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia, contrat No 101E0130004162401.1.

7.2 Contrat IGN Saint-Mandé

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

7.3 Contrat DGA Arcueil/BRGM Orléans

MAJOR : utilisation des différents capteurs satellitaires pour la mise à jour des indicateurs liés aux problèmes de ressources hydrologiques et minières en Afrique. Participants : X. Descombes et O. Viveros contrat DGA/BRGM no 100E01140041624011-706.2.

7.4 Contrat Alcatel Space Industries Cannes

Segmentation d'images hyperspectrales en milieu urbain (convention de bourse Paca-Alcatel Space Industries), participants : G. Rellier, X. Descombes et J. Zerubia, contrat No 100E01600041624012-706.2.

7.5 Contrat Astrium Toulouse

Critères d'évaluation de la qualité image en déconvolution, (convention de bourse de DEA) participants : F. Tran-Minh, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia.

7.6 Contrat Sagem Argenteuil

Déconvolution d'images infra-rouge à moyenne et haute résolution, participants : A. Jalobeanu, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia, contrat No 100E04520041624012-706.2.

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Actions régionales

- G. Rellier a donné un séminaire à Alcatel Space Industries à Cannes en février 2001.
- L. Blanc-Féraud a fait une présentation des travaux d'Ariana en déconvolution aveugle d'image satellitaire lors de la réunion POPSUD à Marseille en mars 2001.
- J. Zerubia a donné un séminaire invité au workshop NTM4 sur les problèmes inverses à Sophia Antipolis en mai 2001.
- M. Ortner a participé à une école d'été au CIRM à Marseille intitulée : "Méthodes de Monte Carlo pour l'inférence statistique" en septembre 2001.

- L. Blanc-Féraud a présenté le projet Ariana lors de la visite du CETMEF à l'INRIA Sophia Antipolis en novembre 2001.
- J. Zerubia, présidente du Comité du Suivi Doctoral de l'INRIA Sophia Antipolis, a rencontré le directeur de l'Ecole Doctorale STIC de l'Unsa en décembre 2001 afin de préparer un colloquium commun à l'Unsa, au CNRS et à l'INRIA, ainsi que l'accueil des étudiants en thèse.

8.2 Actions nationales

Les membres du projet participent activement au GdR-PRC ISIS et au GdR MSPCV.

Comme l'an dernier, le projet Ariana a participé aux TIPE des classes préparatoires aux grandes écoles à Nice en déconvolution d'image et à Vannes en photo interprétation des images satellitaires.

- C. Lacombe s'est rendue aux journées de la SMAI à Pompadour en mai 2001.
- J. Zerubia a fait partie de la délégation de l'INRIA lors du comité scientifique du CEMAGREF à Anthony en mai 2001.
- J. Zerubia s'est rendue au Salon du Bourget en juin 2001.
- A. Jalobeanu a fait une démonstration logicielle en déconvolution d'image à VISIOMIP à Cahors en juin 2001.
- M. Ortner a fait un séminaire à l'Irisa à Rennes et au Cesta à Bruz en octobre 2001.
- X. Descombes a donné un séminaire dans le cadre d'une journée en imagerie hyperspectrale au CEA de Bruyère le Chatel en octobre 2001 et s'est rendu à l'Irit à Toulouse en septembre et novembre 2001 dans le cadre d'un projet "jeune chercheur" (financé par le GdR-ISIS) dont il est responsable.
- J. Zerubia a participé aux journées SPOT5 organisées par le CNES à Toulouse en novembre 2001.
- L. Blanc-Féraud et J. Zerubia ont fait une présentation aux journées statistiques de l'INRIA à Rennes en novembre 2001.
- C. Lacombe a participé à une table ronde à l'invitation de l'INRIA au Salon de l'Education à Paris en novembre 2001.
- X. Descombes a fait une présentation avec le BRGM à la DGA (CTA) dans le cadre du projet Major en décembre 2001.
- J. Zerubia a fait des séminaires et/ou visites de laboratoires à la Sagem (Argenteuil), à l'IGN-Espace (Toulouse), à SPOTimage (Toulouse), à Istar (Sophia Antipolis) et à Astrium (Toulouse).

8.3 Projets européens

- Le projet Ariana participe au projet européen MOUMIR "Models for Unified Multimedia Information Retrieval" (HPRN-CT-1999-00108/RTN-1999-0177) en collaboration avec Trinity College Dublin, l'université de Cambridge, l'Inesc Porto, l'université de Thessalonique, l'université Ben Gurion, RTP et BAL.
- le projet Ariana fait partie du projet IMAVIS "Theory and Practice of Image Processing and Computer Vision" (IHP-MCHT-99-1) en collaboration avec les projets Robotvis et

Epidaure de l'INRIA.

8.4 Actions internationales

- X. Descombes s'est rendu 2 semaines à l'IPIT (Moscou) en mai 2001 dans le cadre d'une collaboration financée par l'Institut Lyapunov, Russie, et 8 semaines comme chercheur invité à l'Institut Max Planck pour les neurosciences de Leipzig, Allemagne, en juillet/août 2001.
- K. Brady s'est rendue une semaine à l'université de Cambridge, Grande-Bretagne, en juillet 2001 et une semaine à Trinity College à Dublin, Irlande, en Août 2001 dans le cadre du projet européen MOUMIR.
- S. Amami s'est rendu une semaine à l'université de Cambridge, Grande-Bretagne, en août 2001, dans le cadre d'une collaboration Alliance.
- M. Ortner s'est rendu une semaine à l'université de Cambridge, Grande-Bretagne, en novembre 2001, dans le cadre d'une collaboration Alliance et une semaine au CWI à Amsterdam, Pays-Bas, en décembre 2001, dans le cadre d'une collaboration ERCIM, où il a fait un séminaire.
- O. Viveros-Cancino a fait un séminaire à l'Isao à Bologne, Italie, en septembre 2001 et un séminaire à l'UNAM à Mexico, Mexique, en décembre 2001.
- I. Jermyn s'est rendu une semaine à l'université de Cambridge, Grande-Bretagne et à l'université de Lisbonne, Portugal, dans le cadre de projet européen MOUMIR. Il a été invité par le MAE à Freiburg en novembre 2001 dans le cadre de nos relations avec le DLR.
- L. Blanc-Féraud s'est rendue une semaine au CNR de Rome, Italie, en décembre 2001, dans le cadre d'une collaboration Galilée où elle a fait un séminaire. Elle a également fait un séminaire à l'université de Rome "La Sapienza", Italie.
- J. Zerubia a fait des séminaires et visité des laboratoires à l'université de Lisbonne, Portugal, au CNR de Pise, Italie, à l'université de Cambridge, Grande-Bretagne, à l'université de Thessalonique, Grèce. Elle a également séjourné à Cambridge, Grande-Bretagne, en août 2001 dans le cadre du projet européen MOUMIR.

8.5 Actions bilatérales internationales

- Collaboration avec l'institut de mathématiques appliquées du CNR à Rome, Italie, dans le cadre d'une action intégrée Galilée, responsable : L. Blanc-Féraud.
- Collaboration avec l'université de Cambridge, Grande-Bretagne, dans le cadre d'une action intégrée Alliance, responsable : J. Zerubia.
- Collaboration avec le centre de mathématiques appliquées CWI, Pays-Bas, soutenue par le NWO et l'INRIA (ERCIM), 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'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 2001. 19 professeurs ou chercheurs invités ont été accueillis provenant des pays suivants : Allemagne, Irlande, Etats-Unis, Italie, France. Pour plus d'informations sur ces séminaires, consulter le site internet : <http://www.inria.fr/ariana/>.

- L. Blanc-Féraud est membre du comité des projets du laboratoire I3S et membre de la CSE 61ème section de l'Unsa, relecteur pour la revue IEEE SP et relecteur pour les conférences ICIP'01 et GRETSI'01.
- I. Jermyn est relecteur des revues IEEE SP, IEEE IP, IEEE PAMI et relecteur pour la conférence internationale ICIP'01.
- X. Descombes est responsable de la TF4 concernant la fusion de données de l'action radar du GdR-ISIS financée par le PNTS, il est membre du comité Color de l'INRIA Sophia Antipolis, relecteur pour les revues IEEE IP, IEEE PAMI, IEEE TMI et pour la conférence ICIP'01, et membre du comité de programme de la conférence ORASIS'01.
- J. Zerubia est membre du comité des projets et présidente du Comité du Suivi Doctoral de l'INRIA Sophia Antipolis, membre du comité technique IMDSP de l'IEEE Signal Processing Society et IEEE senior member.
- J. Zerubia est éditeur associé de la revue IEEE IP, membre du comité de rédaction du bulletin de la SFPT et relecteur pour les revues IJCV, IEEE SP, IEEE PAMI, IEEE IP, Pattern Recognition, Signal Processing, Traitement du Signal.
- J. Zerubia a fait partie des comités de programme des conférences suivantes : ICASSP'01, ICIP'01. Elle a présidé des sessions au GRETSI'01, à ICIP'01.
- J. Zerubia a organisé à l'INRIA Sophia Antipolis, la conférence EMMCVPR'01 du 3 au 5 septembre 2001, qu'elle a co-présidé avec M. Figueredo et A.K. Jain.
- J. Zerubia a organisé à l'INRIA Sophia Antipolis, les journées de synthèse du projet européen MOUMIR du 24 au 25 septembre 2001.
- J. Zerubia a été élue pour 3 ans, au "Board of Governors" de l'IEEE Signal Processing Society, en septembre 2001.

9.2 Enseignement

- C. Lacombe : UNSA Nice, 1^{ère} année de mathématiques, (40h de TD d'algèbre et d'analyse en DEUG), 2^e année de mathématiques-informatique (24h de TD d'analyse en DEUG) et stages du Centre d'Initiation à l'Enseignement Supérieur (20h).
- G. Rellier : ESINSA Sophia Antipolis, module de traitement d'images en 5^{ème} année (21h de TP).
- I. Jermyn : ESINSA Sophia Antipolis, module de traitement d'images en 5^{ème} année (6h).
- X. Descombes : DEA Astrophysique de l'UNSA Nice (9h), Sup'Aéro Toulouse (15h), ESINSA Sophia Antipolis, responsable du module image de 5^{ème} année (15h).
- J. Zerubia : DEA Aravis de l'UNSA Nice, responsable du module sur les champs de Markov en traitement d'image (15h); DEA Astrophysique et Sciences de l'Univers de

l'UNSA Nice, responsable du module sur la télédétection (15 heures dont 6h enseignées), participation au module sur la classification (3h enseignées); Sup'Aéro Toulouse : responsable de 2 cours "Filtrage et Segmentation" (40h dont 20h enseignées) et "méthodes variationnelles en traitement d'image" (10h dont 3h enseignées).

- L. Blanc-Féraud a été rapporteur de 2 thèses de doctorat et membre de 2 jurys de thèse.
- J. Zerubia a été rapporteur de 2 thèses de doctorat et membre de 2 jurys de thèse.

9.3 Thèses

Le projet est équipé d'accueil de doctorants ou stagiaires de DEA des formations doctorales suivantes : DEA SIC (Nice-Sophia Antipolis), DEA Astrophysique, imagerie et haute résolution angulaire (Nice-Sophia Antipolis), DEA Traitement du Signal et de l'Image (ENS Cachan/X).

Thèses en cours :

1. Jean-François Aujol, *Classification d'image couleur texturée par approche variationnelle*, université de Nice-Sophia Antipolis.
2. Karen Brady, *Segmentation d'image texturée par modèles stochastiques multi-échelle*, université de Nice-Sophia Antipolis.
3. Sébastien Drot, *Segmentation de milieux ruraux à partir d'images aériennes par des techniques de géométrie stochastique*, université de Nice-Sophia Antipolis.
4. Caroline Lacombe, *Interférométrie radar RSO par méthodes variationnelles*, université de Nice-Sophia Antipolis.
5. Caroline Lacoste, *Mise à jour cartographique des réseaux linéiques en fusion de données par processus Markov objet*, université de Nice-Sophia Antipolis.
6. Mathias Ortner, *Analyse urbaine à partir de modèles numériques d'élévation par processus Markov objet*, université de Nice-Sophia Antipolis.
7. Guillaume Rellier, *Analyse de texture dans l'espace hyperspectral par méthodes probabilistes multi-échelle*, université de Nice-Sophia Antipolis.
8. Emmanuel Villéger, *Evolution de sous-variétés de R^n à l'aide de la fonction vecteur distance*, université de Nice-Sophia Antipolis.
9. 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 2001 :

1. André Jalobeanu, *Modèles, estimation bayésienne et algorithmes pour la déconvolution d'images satellitaires et aériennes*, université de Nice-Sophia Antipolis, (11/12/01).
2. Radu Stoica, *Processus ponctuels pour l'extraction de réseaux linéiques dans les images satellitaires et aériennes*, université de Nice-Sophia Antipolis, (09/02/01).

10 Bibliographie

Livres et monographies

- [1] M. FIGUEREIDO, J. ZERUBIA, A.-K. JAIN, *Energy minimization methods in computer vision and pattern recognition*, Lecture Notes in Computer Science, 2134, Springer Verlag, 2001.

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [2] A. JALOBÉANU, *Modèles, estimation bayésienne et algorithmes pour la déconvolution d'images satellitaires et aériennes*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, décembre 2001.
- [3] R. STOICA, *Processus ponctuels pour l'extraction de réseaux linéiques dans les images satellitaires et aériennes*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, février 2001.

Articles et chapitres de livre

- [4] X. DESCOMBES, Y. GOUSSARD, « Problèmes non supervisés », *in : Approche bayésienne pour les problèmes inverses*, J. Idier (éditeur), Hermes, 2001.
- [5] X. DESCOMBES, R. STOICA, L. GARCIN, J. ZERUBIA, « A RJMCMC algorithm for object processes in image processing. Monte Carlo methods and applications », *Monte Carlo Methods and Applications 7*, 1-2, 2001, p. 149–156.
- [6] J. IDIER, L. BLANC-FÉRAUD, « Déconvolution en imagerie », *in : Approche bayésienne pour les problèmes inverses*, J. Idier (éditeur), Hermes, 2001.
- [7] I. JERMYN, H. ISHIKAWA, « Globally Optimal Regions and Boundaries as Minimum Ratio Weight Cycles », *IEEE Trans. on PAMI, Special Session on Graph Algorithms and Computer Vision 23*, 10, October 2001, p. 1075–1088.
- [8] R. STOICA, X. DESCOMBES, M. VAN LIESHOUT, J. ZERUBIA, « An Application of marked point process to the extraction of linear networks for images », *in : Spatial statistics : case studies*, WITPress, 2001.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [9] X. DESCOMBES, S. DROT, M. IMBERTY, H. LE MEN, J. ZERUBIA, « Segmentation d'image haute résolution par processus Markov objet », *in : Séminaire Télédétection à très haute résolution spatiale et analyse d'image, Cemagref*, Montpellier, France, 2001.
- [10] X. DESCOMBES, J. DUROU, L. PETIT, « Recuit simulé pour le shape from shading », *in : GRETSI*, Toulouse, France, septembre 2001.
- [11] X. DESCOMBES, M. VAN LIESHOUT, R. STOICA, J. ZERUBIA, « Parameter estimation by a Markov Chain Monte Carlo technique for the Candy-model », *in : IEEE Workshop on Statistical Signal Processing*, papier invité, Singapour, août 2001.
- [12] L. GARCIN, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, H. LE MEN, « Buiding extraction using a Markov point process », *in : ICIP*, papier invité, Thessalonique, Grèce, octobre 2001.
- [13] D. JACOBS, P. BELHUMEUR, I. JERMYN, « Judging whether multiple silhouettes can come from the same object », *in : Int. Workshop on Visual Form, Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science 2059*, Capri, Italie, mai 2001.
- [14] A. JALOBÉANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, « Estimation de paramètres instrumentaux en imagerie satellitaire », *in : GRETSI*, Toulouse, France, septembre 2001.

- [15] A. JALOBEANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, « Estimation rapide du paramètre de régularisation en déconvolution d'images », *in* : *ORASIS*, Cahors, France, juin 2001.
- [16] A. JALOBEANU, N. KINGSBURY, J. ZERUBIA, « Image deconvolution using Hidden Markov Tree modeling of complex wavelet packets », *in* : *ICIP*, Thessalonique, Grèce, octobre 2001.
- [17] I. JERMYN, H. ISHIKAWA, « Region extraction from multiple images », *in* : *ICCV*, Vancouver, Canada, juillet 2001.
- [18] E. KURUOGLU, J. ZERUBIA, « Modelling images with alpha-stable textures », *in* : *PSIP*, Marseille, France, janvier 2001.
- [19] O. PONY, U. POLVERINI, L. GAUTRET, J. ZERUBIA, X. DESCOMBES, « Classification d'image satellitaire superspectrale en zone rurale et périurbaine », *in* : *GRETSI*, Toulouse, France, septembre 2001.
- [20] G. RELIER, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, F. FALZON, « La poursuite de projection pour la classification d'images hyperspectrales texturées », *in* : *ORASIS*, Cahors, France, juin 2001.
- [21] G. RELIER, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, F. FALZON, « Un modèle markovien gaussien pour l'analyse de texture hyperspectrale en milieu urbain », *in* : *GRETSI*, Toulouse, France, septembre 2001.
- [22] C. SAMSON, L. BLANC-FÉRAUD, G. AUBERT, J. ZERUBIA, « Two variational models for multispectral image classification », *in* : *EMMCVPR*, Sophia Antipolis, France, septembre 2001.
- [23] O. VIVEROS-CANCINO, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, « Apport de l'imagerie radar pour l'extraction des zones urbaines », *in* : *ORASIS*, Cahors, France, juin 2001.

Rapports de recherche et publications internes

- [24] L. GARCIN, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, H. LE MEN, « Building detection by markov object processes and a MCMC algorithm », *rapport de recherche n°4206*, Inria, juin 2001, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4206.html>.
- [25] E. KURUOGLU, J. ZERUBIA, « Modelling SAR images with a generalization of the Rayleigh distribution », *rapport de recherche n°4121*, Inria, février 2001, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4121.html>.
- [26] G. RELIER, X. DESCOMBES, F. FALZON, J. ZERUBIA, « La poursuite de projection pour la classification d'image hyperspectrale texturée », *rapport de recherche n°4152*, Inria, mars 2001, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4152.html>.
- [27] S. WILSON, J. ZERUBIA, « Segmentation of textured satellite and aerial images by Bayesian inference and Markov Random Fields », *rapport de recherche n°4336*, Inria, décembre 2001, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4336.html>.