

Projet Ariana

Problèmes Inverses en Observation de la Terre et Cartographie

Sophia Antipolis

THÈME 3B

R *apport*
d'Activité

2000

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	5
3	Fondements scientifiques	6
4	Domaines d'applications	7
5	Logiciels	8
6	Résultats nouveaux	8
6.1	Étude des propriétés de régularité des modèles markoviens	8
6.2	Segmentation d'images satellitaires et aériennes texturées par inférence bayésienne et champs de Markov	9
6.3	Analyse de texture dans l'espace hyperspectral par des méthodes probabilistes pour l'extraction de zones urbaines	10
6.4	Classification d'image satellitaire hyperspectrale en zone rurale et périurbaine .	11
6.5	Fusion de données par approche stochastique multi-échelle, application à l'étude des zones urbaines	12
6.6	Restitution de paramètres instrumentaux en imagerie satellitaire	12
6.7	Processus α -stable en imagerie radar RSO	13
6.8	Processus ponctuels de Gibbs pour l'extraction des réseaux routiers	14
6.9	Segmentation de zones rurales à partir d'image aérienne par géométrie probabiliste	14
6.10	Détection de bâtiments par processus Markov objet	15
6.11	Etude d'un algorithme MCMC pour la simulation d'un processus ponctuel de Markov, application à des réseaux linéiques	16
6.12	Classification d'image satellitaire multispectrale par approche variationnelle et équations aux dérivées partielles	17
6.13	Classification d'image radar satellitaire RSO	18
6.14	Modèles variationnels et EDP en interférométrie radar RSO : déroulement de phase	19
6.15	Modèles unifiés pour l'indexation d'image et l'extraction d'information multimédia	21
6.16	"Paint brushing" et modélisation stochastique	21
6.17	Extraction de routes par analyse multi-échelle	22
6.18	"Shape from Shading" et recuit simulé	22
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	23
7.1	Contrat Cnes Toulouse	23
7.2	Contrat IGN Saint-Mandé	25
7.3	Contrat DGA/BRGM Orléans	25
7.4	Contrat Alcatel Space Industries Cannes	25

7.5	Contrat Alcatel Space Industries Toulouse	25
7.6	Contrat Astrium Toulouse	25
7.7	Contrat Sagem Cergy Pontoise	25
8	Actions régionales, nationales et internationales	25
8.1	Actions régionales	25
8.2	Actions nationales	26
8.3	Projets européens	26
8.4	Actions internationales	26
8.5	Actions bilatérales internationales	27
9	Diffusion de résultats	27
9.1	Animation de la communauté scientifique	27
9.2	Enseignement	28
9.3	Thèses	29
10	Bibliographie	30

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

Xavier Descombes [CR2]

Personnel Cnrs

Laure Blanc-Féraud [CR1, en congés maternité du 8 juillet 2000 au 8 janvier 2001]

Chercheurs doctorants

Karen Brady [boursière PROJET EUROPÉEN MOUMIR depuis le 1er octobre 2000]

Sébastien Drot [boursier CIFRE IGN]

André Jalobeanu [boursier MENESR]

Caroline Lacombe [boursière MENESR]

Guillaume Rellier [boursier RÉGION PACA - ALCATEL SPACE INDUSTRIES]

Christophe Samson [boursier MENESR jusqu'au 30 septembre 2000]

Radu Stoica [boursier MAE-CIES/INRIA]

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

Chercheurs post-doctorants

Ian Jermyn [boursier PROJET EUROPÉEN MOUMIR à partir du 15 août 2000]

Ercan Kuruoglu [boursier ERCIM jusqu'au 31 juillet 2000]

Chercheurs invités

Piero Barone [chercheur senior du CNR Rome, Italie, un séjour d'une semaine en novembre 2000]

Peter Chevaley de Rivaz [doctorant dans le groupe traitement du signal du département des sciences pour l'ingénieur de l'université de Cambridge, Grande-Bretagne, un séjour de 2 semaines en juin 2000]

Guy Cohen [doctorant au département d'informatique et des sciences pour l'ingénieur, université Ben Gurion, Israël, un séjour d'une semaine en novembre 2000]

Perrine Delacourt [post-doctorante au département d'électronique et électrotechnique de Trinity College Dublin, Irlande, un séjour d'une semaine en octobre 2000]

Jean-Denis Durou [maître de conférence de l'Irit à Toulouse, un séjour de 3 jours en mai 2000]

William Fitzgerald [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 septembre 2000]

Joseph Francos [professeur au département d'informatique et des sciences pour l'ingénieur, université Ben Gurion, Israël, un séjour d'une semaine en octobre 2000]

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 avril 2000]

Riccardo March [chercheur senior du CNR à Rome, Italie, un séjour d'une semaine en mai 2000]

Eugène Pechersky [chercheur senior à l'Institut pour les problèmes de la transmission d'information de l'Académie des Sciences de Russie à Moscou, un séjour de 3 mois jusqu'au 28 février 2000]

Anthony Quinn [professeur au département d'électronique et d'électrotechnique de Trinity College Dublin, Irlande, un séjour de 3 semaines en septembre/octobre 2000]

Marc Sigelle [ingénieur en chef du corps des Télécom, maître de conférences au département traitement du signal et de l'image, ENST Paris, deux séjours d'une semaine en février et novembre 2000]

Are Strandlie [doctorant à la faculté de mathématiques et des sciences naturelles de l'université d'Oslo, Norvège, un séjour d'une semaine en octobre 2000]

Tamas Sziranyi [professeur à l'université de Veszprem et membre de Sztaki - Académie des sciences de Hongrie à Budapest, un séjour de 3 mois du 1er juin au 31 août 2000]

Domenico Vitulano [doctorant au CNR de Rome, Italie, un séjour de 2 semaines en septembre 2000.]

Simon Wilson [professeur au département de statistiques de Trinity College Dublin, Irlande, un séjour de 3 mois du 10 avril au 13 juillet 2000]

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

Fabien Antoine [stagiaire Ecole Polytechnique, du 3 avril au 7 juillet 2000]

Jean-François Aujol [stagiaire DEA, ENS Cachan, du 10 avril au 10 septembre 2000]

Laurent Garcin [stagiaire DEA, Corps de l'IGN, du 3 avril au 30 septembre 2000]

Olivier Pony [stagiaire DEA, Centrale Paris, du 3 avril au 31 août 2000]

Maximilien Rzepka [stagiaire DEA, Paris VI, du 1er juillet au 30 septembre 2000]

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 :

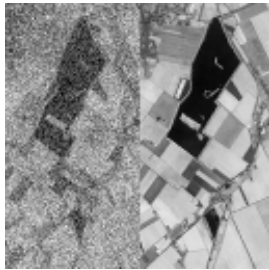
- **L'approche markovienne :** L'utilisation des modèles markoviens en traitement d'image a débuté dans les années 1980. Très rapidement, ce type de modélisation a été utilisé pour divers problèmes inverses de vision par ordinateur (en restauration d'image, segmentation, classification, stéréovision, 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 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 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.

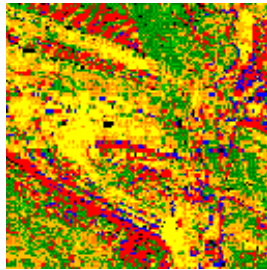
- **L'estimation de paramètres :** Les méthodes peuvent être rangées en deux classes : les méthodes où l'on a une observation de l'image sur laquelle on cherche un modèle (il n'y a pas de terme de formation des données), on dit qu'on est dans le cas de données complètes ; les méthodes où l'on doit chercher 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

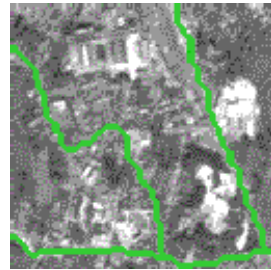
Les applications traitées dans le projet Ariana sont relatives à l'Observation de la Terre et à la Cartographie. On peut les classer en deux grandes familles :



Restauration

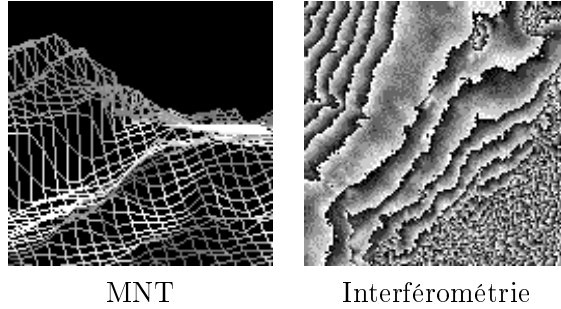


Classification



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).
- **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

2 dépôts de logiciel en 2000 à l'APP (Agence de Protection des Programmes) :

- **Cowpath 2.0** : Complex Wavelet Packets Automatic Thresholding (A. Jalobeanu, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia), logiciel transféré à l'université de Cambridge, Grande-bretagne.
- **Exzum 2.0** : Extraction de zones urbaines en imagerie optique et radar (O. Viveros, X. Descombes, J. Zerubia), logiciel transféré à Alcatel Space Industries à Toulouse et au Centre de Recherche et de Documentation sur l'Amérique Latine à Paris (UMR 7530 du CNRS).

6 Résultats nouveaux

6.1 Étude des propriétés de régularité des modèles markoviens

Participants : Xavier Descombes, Eugène Pechersky.

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

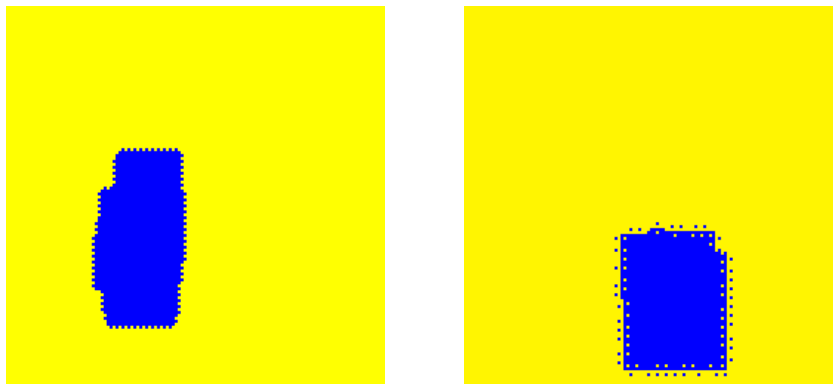
Les modèles markoviens sont très utilisés pour la segmentation ou la restauration d'image grâce à leurs propriétés régularisantes. Ils sont en fait utilisés comme modèle a priori dans un contexte bayésien. Définis sur la trame de l'image, ils peuvent néanmoins induire des artefacts sur la solution.

Dans une étude précédente, nous avons mis en évidence l'anisotropie de certains de ces modèles. Nous nous étions restreints aux modèles dont les interactions sont contenues dans

une clique de 3 pixels x 3. Cette restriction est raisonnable si nous considérons les contraintes de temps de calcul. Nous avons défini les différentes formes stables obtenues par la construction de Wulff de ces modèles. En outre, ces formes ne dépendent que de deux paramètres caractéristiques du modèle. Ce résultat avait été obtenu à une échelle macroscopique.

Nous avons poursuivi cette étude par une analyse microcanonique. Dans ce cas, des conditions supplémentaires sur le modèle sont nécessaires pour obtenir une forme régulière. Nous avons exhibé certains exemples produisant des formes non régulières. Ces modèles sont à éviter lors d'une modélisation en analyse d'image. En outre, nous avons défini une condition suffisante (mais non nécessaire) pour obtenir des formes stables régulières.

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



Exemple de formes non régulières

6.2 Segmentation d'images satellitaires et aériennes texturées par inférence bayésienne et champs de Markov

Participants : Simon Wilson, Josiane Zerubia.

Mots clés : segmentation, texture, champs de Markov, MCMC.

Ce travail a consisté à étudier un modèle markovien double, initialement proposé par Melas et Wilson à Trinity College Dublin, sur des données réelles satellitaires et aériennes haute résolution fournies par l'IGN, pour réaliser une segmentation non supervisée en tenant compte de la texture. L'inférence bayésienne a été implémentée via un algorithme de type MCMC. Les premiers résultats sont intéressants. Ce travail a été conduit dans le cadre du programme européen ESF-HSSS. Il sera continué dans le cadre du projet européen Moumir.

6.3 Analyse de texture dans l'espace hyperspectral par des méthodes probabilistes pour l'extraction de zones urbaines

Participants : Guillaume Rellier, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : imagerie hyperspectrale, analyse de texture, classification, champs de Markov, poursuite de projection.

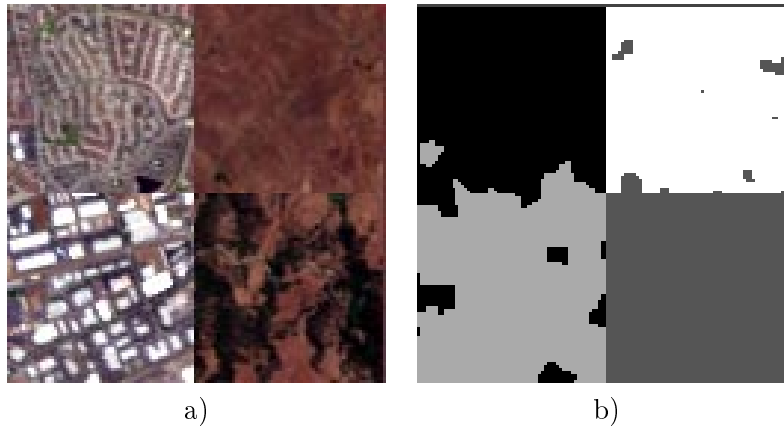
Les capteurs optiques hyperspectraux sont caractérisés par le nombre de leurs bandes d'acquisition. Alors que les capteurs multispectraux comme SPOT ou Landsat fournissent des images composées de 3 à 7 canaux, les images issues du capteur aéroporté AVIRIS sont constituées de 224 bandes allant du visible à l'infrarouge.

Leur pouvoir discriminant est bien supérieur à celui des images multispectrales, car la mesure fournie est une bonne approximation discrète du spectre de radiance du matériau imagé.

Parmi les approches statistiques pour la classification, les modèles utilisés sont majoritairement des modèles non-contextuels. Nous nous intéressons à une analyse des textures présentes dans ces images. Deux axes principaux ont été explorés dans ce travail: la réduction de la dimension de l'espace d'observation, processus servant à atténuer l'effet de Hughes (estimées sont non robustes du de la grande dimension de l'espace considéré), et la modélisation de textures multivariées.

La modélisation par champ markovien gaussien de la texture multispectrale semble prometteuse. Pour 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 dans le cadre d'une bourse région PACA/Alcatel Space industries.



a) affichage en fausse couleur d'un collage de textures extraites d'une scène AVIRIS (224 bandes), b) résultat régularisé de classification supervisée après poursuite de projection pour garder 20 bandes

6.4 Classification d'image satellitaire hyperspectrale en zone rurale et périurbaine

Participants : Olivier Pony, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : imagerie hyperspectrale, classification, texture, champs de Markov.

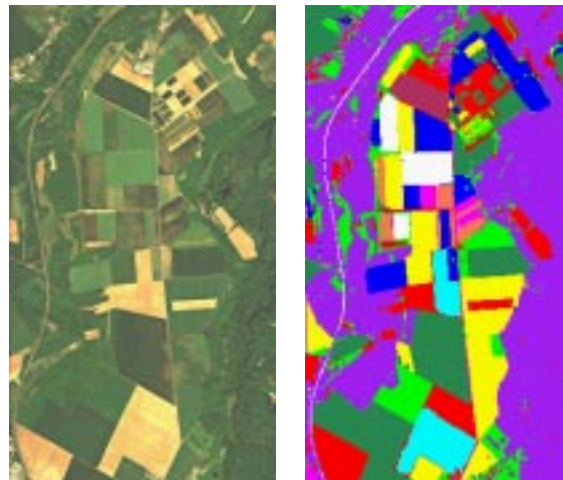
L'observation satellitaire en zone rurale et périurbaine fournit des images hyperspectrales exploitables en vue de réaliser une cartographie ou une analyse du paysage. Nous avons appliqué une classification par maximum de vraisemblance sur des images de zone agricole.

Afin de régulariser la classification, nous considérons la modélisation d'image par champs de Markov, dont l'équivalence avec les champs de Gibbs nous permet d'utiliser plusieurs algorithmes itératifs d'optimisation : l'ICM et le recuit simulé, qui convergent respectivement vers une classification sous-optimale ou optimale pour une certaine énergie. Un modèle d'énergie est proposé : le modèle de Potts, que nous améliorons pour le rendre adaptatif aux classes présentes dans l'image.

L'étude de la texture dans l'image initiale permet d'introduire des critères artificiels qui s'ajoutent à la radiométrie de l'image en vue d'améliorer la classification. Ceci permet de bien segmenter les zones périurbaines, la forêt, la campagne, dans le cadre d'un plan d'occupation des sols.

Trois images hyperspectrales et une vérité terrain, fournies par Astrium, ont été utilisées pour réaliser des tests, afin de mettre en évidence les méthodes et le paramétrage adéquats pour obtenir les résultats les plus satisfaisants.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un contrat avec Astrium.



a)

b)

- a) Image hyperspectrale des environs de Boigneville (capteur MIVIS) ©Astrium
b) résultat de la classification

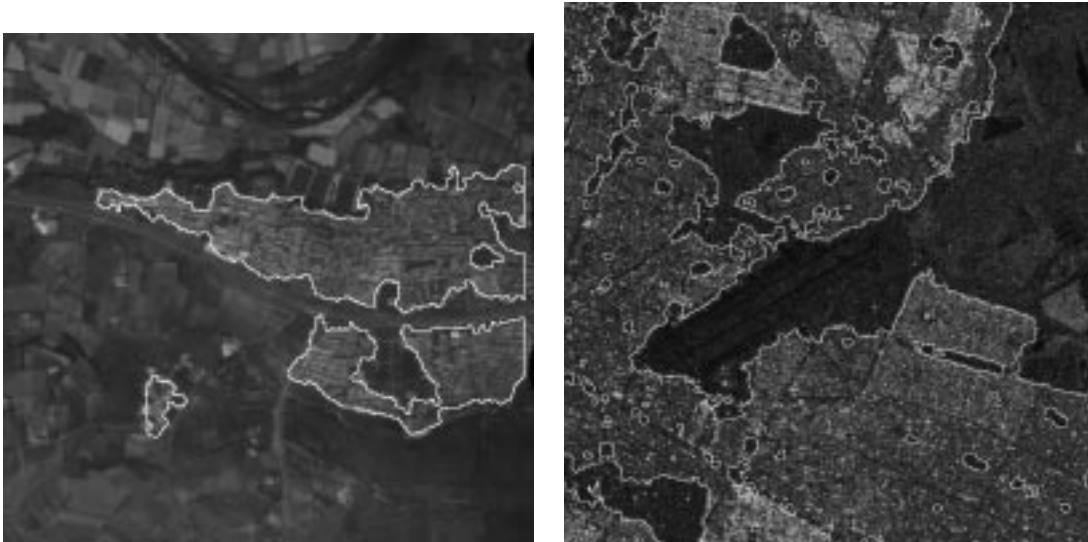
6.5 Fusion de données par approche stochastique multi-échelle, application à l'étude des zones urbaines

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

Mots clés : Fusion, segmentation, classification, champs de Markov, multi-échelle.

Ce projet, réalisé dans le cadre d'une collaboration avec l'Unam au Mexique, consiste en une étude de zones urbaines en prenant compte des images issues de plusieurs capteurs (ERS, SPOT, images aériennes). Le but est d'analyser la croissance d'une ville en tenant compte de la texture ; nous utiliserons des images de la ville de Mexico pour effectuer les tests.

Dans un premier temps, il faut recalibrer les images. Ensuite, nous effectuons une estimation des paramètres de texture d'un modèle markovien en calculant la variance conditionnelle par la méthode des queues de comètes, puis en choisissant les valeurs minimale et médiane. Enfin, nous classifions l'image en utilisant un critère d'entropie. Une dernière étape permet d'éliminer les fausses alarmes.



Masque urbain a) Canet en Rousillon (SPOT) ©CNES b) Ville de Mexico (ERS) ©ESA)

6.6 Restitution de paramètres instrumentaux en imagerie satellitaire

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

Mots clés : paramètres instrumentaux, déconvolution aveugle, maximum de vraisemblance, MCMC.

Le but de cette étude est l'estimation des paramètres du bruit et de la fonction de flou en

imagerie satellitaire. En effet, ces images sont dégradées par le système optique et par un bruit additif lié au capteur. Les paramètres instrumentaux, connus lors du lancement du satellite, peuvent évoluer au cours du temps. Il est alors nécessaire de pouvoir les estimer à partir des images observées, afin de pouvoir corriger ces images, par déconvolution, dans les meilleures conditions.

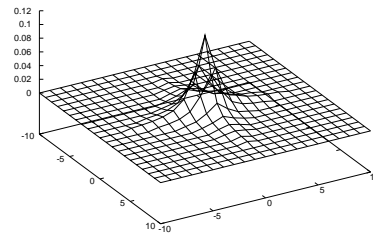
Le noyau de convolution est paramétré par une fonction traduisant la physique du système imageur étudié. Il s'agit d'estimer les paramètres du noyau, ainsi que la variance du bruit, qui est supposé blanc et gaussien.

Pour la déconvolution à paramètres fixés, nous utilisons une approche qui consiste à minimiser une énergie traduisant l'attaché aux données et la régularisation de l'image cherchée, interdisant ainsi l'amplification du bruit tout en préservant les contours.

La méthode proposée repose essentiellement sur deux étapes. Le bruit est estimé en utilisant un filtre passe-bande au moyen d'une transformée en cosinus. Ensuite, l'estimation conjointe du paramètre de régularisation et des paramètres du noyau est effectuée par Maximum de Vraisemblance (MV), en utilisant une méthode de Monte Carlo par Chaînes de Markov (MCMC). Des tests ont été effectués sur des simulations SPOT 5 et Pleïades fournies par le CNES dans le cadre d'un contrat.



a)



b)

a) image SPOT 5, floue et bruitée ©CNES, b) réponse impulsionnelle estimée

6.7 Processus α -stable en imagerie radar RSO

Participants : Ercan Kuruoglu, Josiane Zerubia.

Mots clés : image radar RSO, texture, processus alpha-stable, distribution de Rayleigh généralisée.

Le but de ce travail a été d'étendre au cas 2D, pour des applications en imagerie radar

RSO, la modélisation par processus α -stable. La première étude a porté sur une généralisation du modèle de la distribution de Rayleigh pour le bruit de chatoiement (“speckle” en anglais) en utilisant un processus α -stable. Des tests ont été effectués sur des images ERS 1 fournies par le CNES et les résultats obtenus sont très prometteurs. La seconde étude a consisté à modéliser des textures en imagerie radar RSO par des processus α -stables et à estimer les paramètres correspondants. Des tests permettant une synthèse de texture ont également été réalisés. Une évaluation des résultats est à l'étude. L'ensemble de ces travaux a été effectué grâce à un soutien de l'ERCIM.

6.8 Processus ponctuels de Gibbs pour l'extraction des réseaux routiers

Participants : Radu Stoica, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : extraction des réseaux routiers, processus ponctuel, test d'hypothèse, MCMC à sauts réversibles.

Notre méthode s'appuie sur la théorie des processus ponctuels et les techniques de type MCMC pour simuler de tels processus. Nous considérons que les réseaux routiers dans les images satellitaires et aériennes forment des réseaux linéiques.

Le réseau est alors considéré comme la réalisation d'un processus ponctuel marqué. L'énergie de ce processus a deux termes : l'énergie d'attache aux données et l'énergie d'interaction.

Les segments ne doivent pas se superposer et ils doivent être connectés et bien alignés. Ces contraintes sont prises en compte par le terme d'interaction (“Candy” modèle). L'emplacement du réseau est déterminé par l'attache aux données. Ce terme est construit à partir de tests d'hypothèse.

L'estimateur du réseau est trouvé en minimisant une fonction d'énergie. Pour éviter les minima locaux, nous utilisons un algorithme de type recuit simulé utilisant une dynamique de type MCMC à sauts réversibles. Nous avons obtenus des résultats très intéressants sur des images SPOT, aériennes et radar.

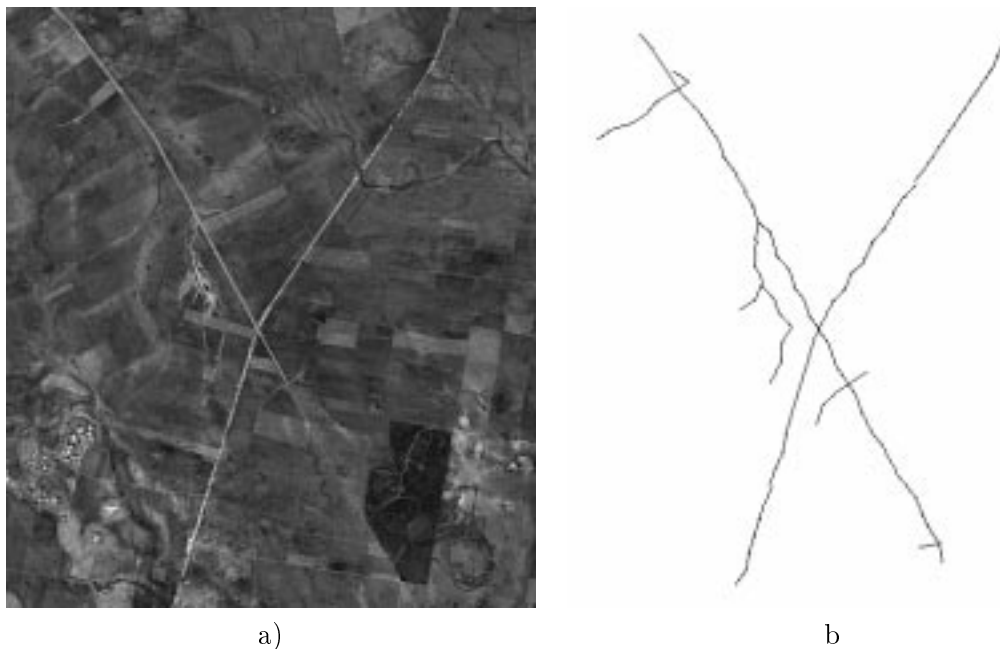
Ce travail a été soutenu par le Ministère des Affaires Étrangères et l'UR de l'Inria Sophia Antipolis.

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

Participants : Sébastien Drot, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : segmentation d'image, géométrie probabiliste, méthode MCMC.

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 grâce notamment à la prise en compte des statistiques du bruit et d'information a priori sur la segmentation recherchée. Ces méthodes se sont avérées particulièrement pertinentes principalement sur les données basse ou moyenne résolution.



a) image originale SPOT 3 ©CNES, b) réseau linéique détecté

Avec des données plus résolues (centimétriques) comme les images aériennes ou satellitaires haute-résolutions, 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 des modèles de type processus objets.

Des modèles à base de triangles équilatéraux sont actuellement à l'étude. Des modèles pertinents dans le cadre de la segmentation d'image de synthèse ont été obtenus, notamment en limitant le nombre d'orientations des objets. Des modèles plus généraux à orientation quelconque sont actuellement à l'étude dans le cadre de la segmentation d'image réelles fournies par l'IGN.

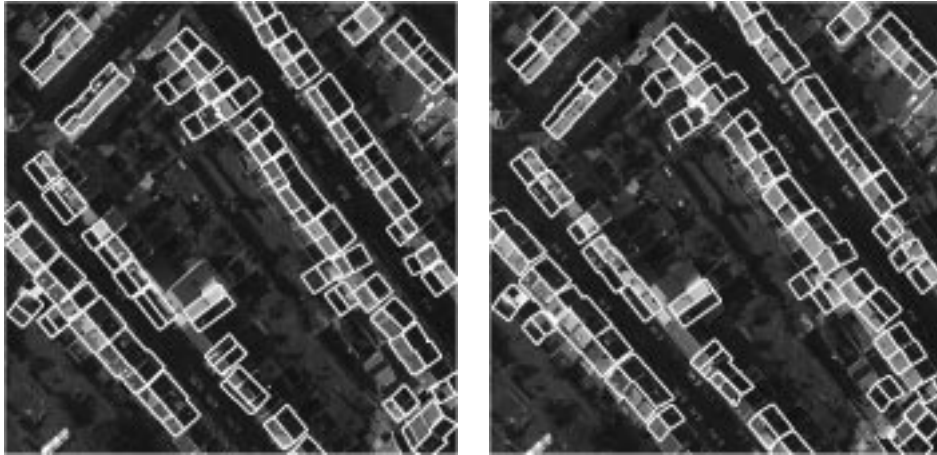
Ce travail a été conduit grâce à une bourse Cifre avec l'IGN.

6.10 Détection de bâtiments par processus Markov objet

Participants : Laurent Garcin, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : détection de bâtiments, images stéréo haute résolution, géométrie stochastique, processus Markov objet, méthode MCMC.

Le but de ce travail est la détection de bâtiments sur des couples stéréoscopiques de photos aériennes numériques fournies par l'IGN. Nous définissons d'abord un modèle 3D de bâtiment, puis nous modélisons un ensemble de bâtiments par ce que nous appelons une configuration



Extraction des bâtiments sur un couple stéréoscopique par processus Markov objet

d'objets. Nous définissons alors un processus ponctuel sur l'ensemble des configurations d'objets qui se scinde en deux parties :

- l'une introduit un modèle a priori sur les configurations faisant intervenir des interactions entre les objets (i.e. les bâtiments),
- l'autre reflète l'attache aux données, c'est-à-dire la cohérence avec les deux images du couple stéréoscopique.

Nous cherchons alors la configuration qui maximise la distribution ainsi définie. A cet effet, nous utilisons une simulation de type MCMC - à savoir un algorithme de Metropolis-Hastings-Green - couplée à un recuit simulé. Nous testons ensuite cette méthode sur des images synthétiques et sur des images réelles. Les premiers résultats sont très prometteurs.

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une collaboration avec l'IGN.

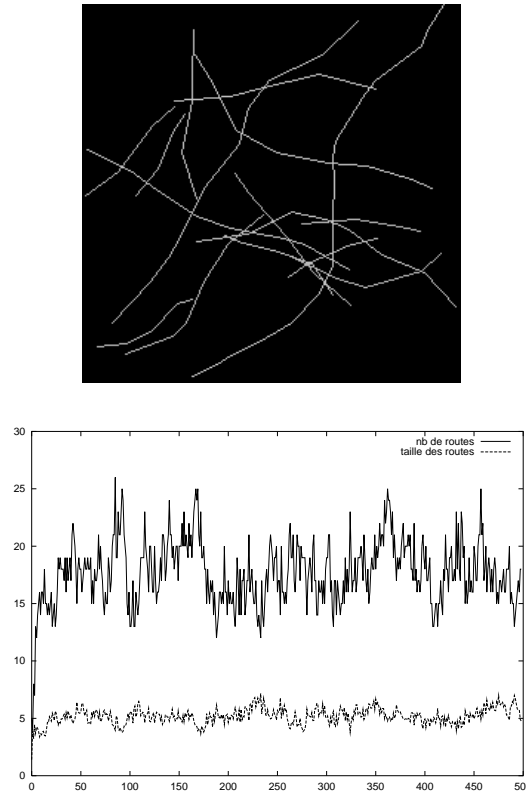
6.11 Etude d'un algorithme MCMC pour la simulation d'un processus ponctuel de Markov, application à des réseaux linéiques

Participants : Maximilien Rzepka, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : réseau linéique, processus ponctuel marqué, RJMCMC.

Nous avons développé un algorithme MCMC à sauts réversibles (encore appelé de Metropolis-Hastings-Green) et étudié sa convergence. Le modèle test consiste en un processus objet (processus ponctuel de Markov) visant à simuler un réseau routier. Les objets sont constitués d'un ensemble de points représentant une ligne brisée. Nous avons étudié les différents mouvements entre configurations qu'il est possible d'inclure dans le noyau de transition de la chaîne de Markov associée à l'algorithme, ainsi que leur influence sur la vitesse de convergence.

Des premières simulations du modèle a priori ont été obtenues.



Simulation d'un modèle a priori de réseau linéique

6.12 Classification d'image satellitaire multispectrale par approche variationnelle et équations aux dérivées partielles

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

Mots clés : classification, image satellitaire multispectrale, EDP, calcul des variations, Gamma convergence, ensemble de niveau.

Ce travail est consacré au développement ainsi qu'à l'implantation de deux modèles variationnels pour la classification d'image satellitaire multispectrale.

Le premier modèle que nous proposons repose sur la minimisation d'une famille de critères dont la suite de solutions converge vers une partition des données composée de classes homogènes séparées par des contours réguliers. Cette approche entre dans le cadre des problèmes à discontinuité libre et fait appel à des notions de convergence variationnelle telle que la théorie de la Γ -convergence. La famille de fonctionnelles que nous proposons de minimiser contient un terme de régularisation, ainsi qu'un terme de classification. Lors de la convergence de cette suite de critères, le modèle change progressivement de comportement en commençant

par restaurer l'image avant d'entamer le processus d'étiquetage des pixels.

Parallèlement à cette approche, nous avons développé un second modèle de classification mettant en jeu un ensemble de régions et contours actifs. Nous utilisons une approche par ensemble de niveaux pour définir le critère à minimiser. Chaque classe, et son ensemble de régions et contours associé, est définie à travers une fonction d'ensemble de niveaux. Le critère contient des termes reliés à l'information sur les régions ainsi qu'à l'information sur les contours. Nous aboutissons à la résolution d'un système d'équations aux dérivées partielles couplées et plongées dans un schéma dynamique. L'évolution de chaque région est guidée par un jeu de forces permettant d'obtenir une partition de l'image composée de classes homogènes et dont les frontières sont lisses.

Nous avons mené des expériences sur de nombreuses données synthétiques ainsi que sur des images satellitaires SPOT XS. Une comparaison avec un modèle stochastique proposé dans le projet Vista a été réalisée sur des images de la Baie de Lannion avec des vérités de terrain fournies par le Costel (pour plus de détails cf. thèse de C. Samson, 2000).

Une partie de ce travail a été réalisée dans le cadre de notre collaboration avec le CNR de Rome.

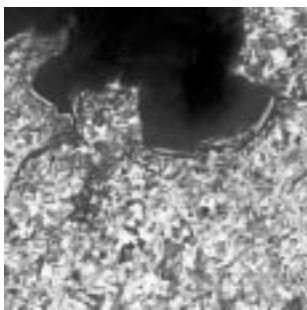
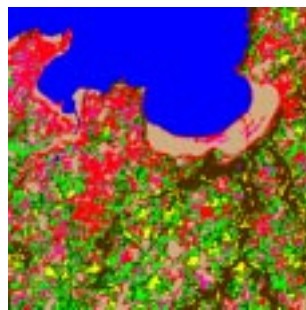
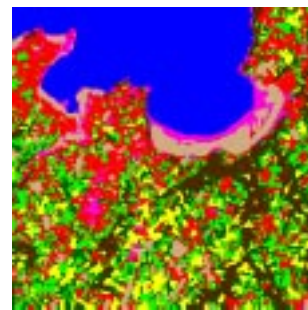


Image canal XS3 ©SPOT



Classif.: 1er modèle



Classif.: 2ème modèle

Données multispectrales SPOT 2 (3 bandes: XS1, XS2 et XS3) de la baie de Lannion et résultats de classification obtenus par les deux modèles variationnels

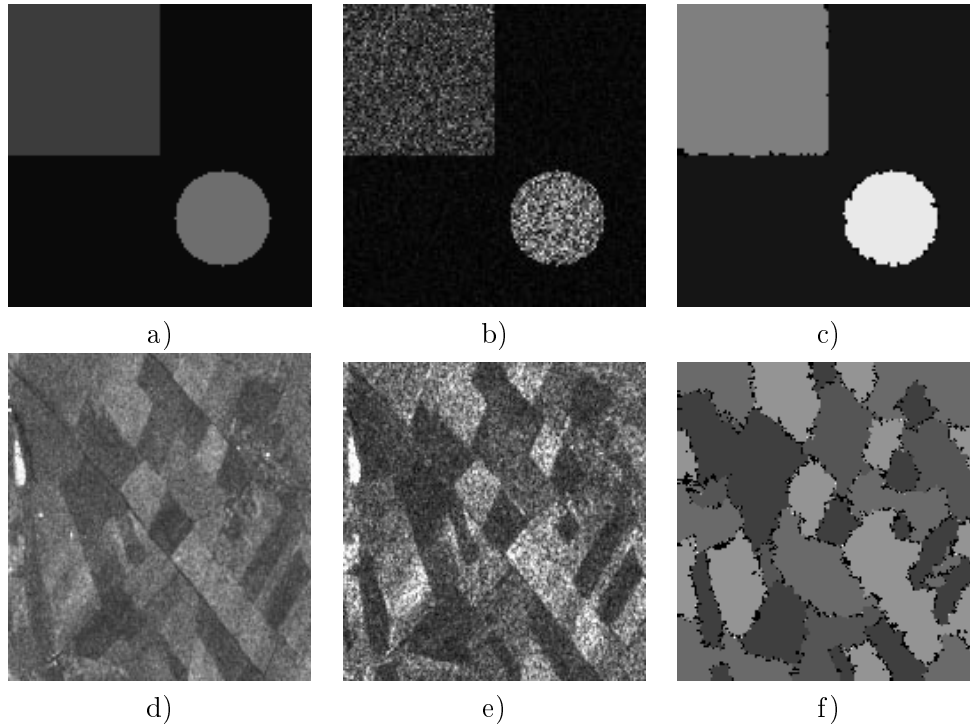
6.13 Classification d'image radar satellitaire RSO

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

Mots clés : imagerie radar RSO, bruit de chatoiement, classification supervisée, contours actifs, ensemble de niveaux, calcul de variations, EDP.

Nous proposons un modèle de classification supervisée pour les images radar fondé sur une approche variationnelle. Nous souhaitons obtenir une partition de l'image constituée de classes homogènes séparées par des interfaces régulières. La démarche utilisée consiste à représenter les régions définies par les classes ainsi que leurs interfaces par des fonctions d'ensemble de niveaux. Une fonctionnelle sur ces ensembles de niveaux est introduite, fonctionnelle dont le

minimum correspond à une partition optimale. Le terme d'attache aux données a été défini à partir de l'étude théorique du bruit de chatoiement ("speckle" en anglais) des images radar RSO. Une étude de quelques filtres classiques et de différents termes d'attache aux données a été effectuée. Enfin, nous nous sommes intéressés à la fonction distance signée qui joue un rôle important dans l'approche par courbes de niveaux. Nous l'avons étudiée d'abord sous un angle classique (continuité, différentiabilité), ce qui nous a amené à définir le squelette d'une courbe du plan. Nous avons utilisé ces premiers résultats pour présenter une autre approche des contours actifs. Puis, nous avons donné une caractérisation plus précise de la fonction distance signée, notamment à l'aide des solutions de viscosité.



a) image synthétique non bruitée, b) image synthétique correspondante bruitée ("speckle"),
 c) résultat de la classification, d) image de référence ©CNES
 e) image observée réelle ©CNES, f) résultat de la classification

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

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

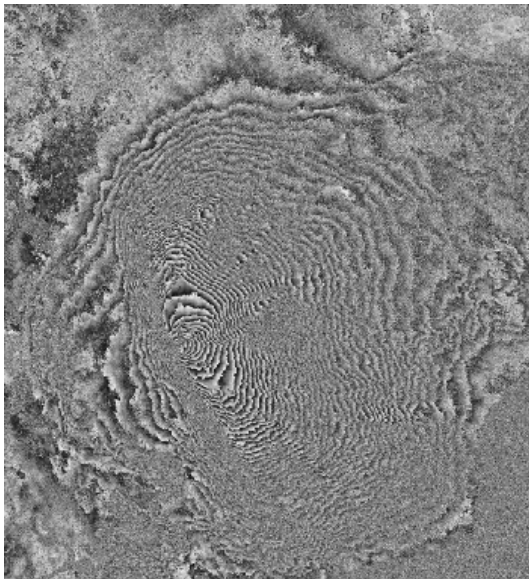
Mots clés : imagerie radar RSO, interférométrie, déroulement de phase, modèle variationnel.

À la différence des systèmes imageurs optiques, le radar est lui-même sa source d'éclaire-

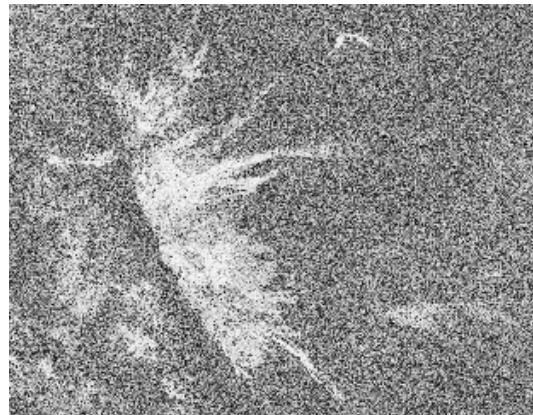
ment, ce qui le soustrait à toute dépendance aux conditions climatiques. Outre son utilisation fréquente dans le domaine des micro-ondes, une de ses spécificités est que la source est cohérente, ce qui peut faire apparaître des phénomènes d'interférences.

L'interprétation des images radar passe par la compréhension des différentes étapes menant à leur construction. Dans un premier temps, nous nous sommes donc intéressés aux problèmes liés à l'acquisition des images radar RSO. Nous avons reformulé mathématiquement le procédé de formation d'images RSO.

Nous savons qu'une image de phase ne peut être exploitée directement. Cependant, si on la combine avec celle d'une autre image acquise sous des angles de visées différents, l'information de phase représente une information très importante. Le principe général est que deux images sous des angles de vues proches vont avoir une phase qui ne va se différencier que par la phase de trajet. L'interférométrie radar RSO utilise les différences de phase d'image pour estimer l'altitude des points de l'image. La difficulté est de lever l'ambiguïté des phases observées, connues modulo 2π , et donc d'estimer le nombre $k(x,y)$ de cycles de chaque point de l'image. Nous avons commencé à développer un modèle décrit par des EDP permettant, à partir d'une fonction ϕ_m discontinue connue modulo 2π , de retrouver la véritable phase déroulée régulière ϕ .



a)



b)

- a) interférogramme issu de 2 images du Cameroun prises sous des angles différents
- b) image de cohérence à partir de 2 images d'amplitude prises sous des angles différents

6.15 Modèles unifiés pour l'indexation d'image et l'extraction d'information multimédia

Participants : Ian Jermyn, Karen Brady, Josiane Zerubia.

Le projet européen Moumir a pour but le développement et l'évaluation de modèles unifiés pour l'indexation et l'extraction d'information multimédia : images fixes, vidéo et audio. Le projet Ariana s'occupe des images fixes.

Une partie importante du projet Moumir consiste à évaluer des méthodes de segmentation d'image, utilisant des modèles de texture et de couleur, dans le contexte des bases de données très variées. Les partenaires industriels du projet ont fourni de nombreuses images pour cette évaluation. La "Bridgeman Art Library" en Grande-Bretagne a proposé des images d'art, alors que l'IGN en France a fourni des images aériennes "quicklook". Le premier travail, effectué en collaboration avec l'université de Cambridge, a été la sélection d'une base de test pertinente pour l'évaluation des différentes techniques de segmentation proposées par les différents partenaires.

L'autre partie du travail effectué dans le projet Ariana, en collaboration avec l'université Ben Gurion en Israël, est une extension de la décomposition de Wold pour la description des textures en dimension 2. Un travail antérieur a utilisé comme propriété essentielle un ordre total du domaine du processus stochastique. Le premier but est d'enlever cette restriction. Ceci utilise une analyse des représentations isométriques des semi-groupes dans un espace de Hilbert pour généraliser au cas d'un semi-groupe possédant un ordre partiel avec certaines propriétés. En même temps, la description des processus stochastiques est généralisée pour supprimer l'emploi des ordres totaux de la description de certaines contraintes. La prochaine étape est la généralisation de la décomposition aux processus vectoriels, pour la description simultanée de la couleur et de la texture.

6.16 "Paint brushing" et modélisation stochastique

Participants : Tamas Sziranyi, Josiane Zerubia.

Mots clés : paint brushing, algorithme de Metropolis-Hastings.

Ce travail a consisté à étendre la méthode de "paint brushing", initialement proposée par Sziranyi et al. à Sztaki, en étudiant les deux points suivants :

- utilisation d'une modélisation stochastique pour la technique de "paint brushing",
- simulation d'une série de coups de pinceau ("strokes") à l'aide d'un algorithme de Metropolis-Hastings.

Les premiers tests effectués sur des images synthétiques donnent de bons résultats. Une étude plus poussée est prévue sur des images réelles, satellitaires et aériennes, dans le cadre du projet européen Imavis.

Ce travail a été soutenu par le Ministère de la Recherche via une bourse de type "haut niveau", destinée à des chercheurs seniors.



Une image de la “Bridgeman Art Library” © et une de l’IGN ©

6.17 Extraction de routes par analyse multi-échelle

Participants : Fabien Antoine, Xavier Descombes, Grégoire Malandain.

Mots clés : réseau linéique, analyse multi-échelle, transformée de Hough, chaîne de Markov.

Nous traitons ici le problème de l’extraction des routes. Nous avons adapté un algorithme de filtrage multi-échelle développé précédemment au sein du projet Epidaure pour l’extraction des vaisseaux sanguins. L’aspect multi-échelle permet une détection des routes indépendamment de leur épaisseur. Une transformée de Hough locale effectuée sur le résultat du filtrage permet de définir des segments candidats. L’étape finale consiste à définir un processus markovien monodimensionnel sur chacun de ces segments. L’algorithme de Viterbi permet alors d’effectuer l’optimisation. Cette dernière étape permet de régulariser le résultat en évitant les interruptions dues au bruit.

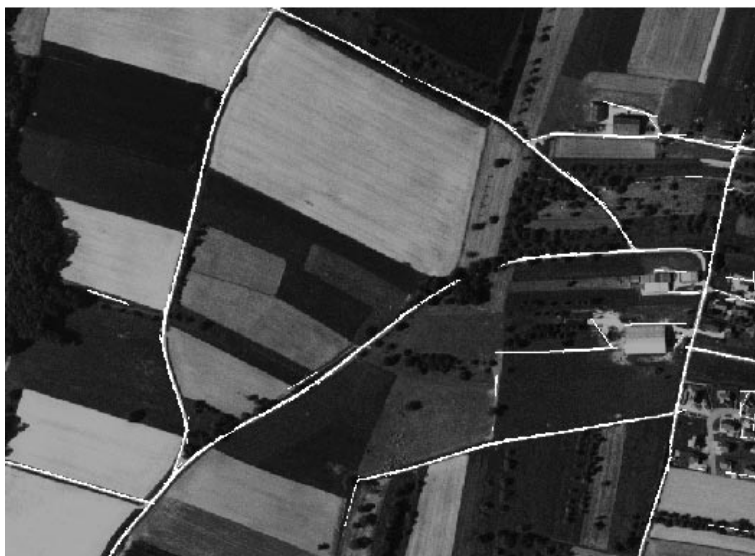
L’expérimentation et la validation ont été effectuées sur des images SPOT et des images aériennes fournies par l’IGN.

6.18 “Shape from Shading” et recuit simulé

Participants : Xavier Descombes, Jean-Denis Durou.

Mots clés : forme à partir de l’ombrage, radarclinométrie, recuit simulé.

Les approches classiques pour résoudre l’équation Eikonale du “Shape from Shading” sont



Extraction de routes (en blanc) sur une image aérienne ©IGN

déterministes. Elles permettent d’avoir 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 ce projet, soutenu par le GdR Isis dans le cadre des projets “jeunes chercheurs”, nous étudions l’apport des algorithmes stochastiques, notamment du recuit simulé, au problème du “Shape from Shading”. Sur un cas d’école consistant en une calotte sphérique bruitée, nous avons montré que le recuit simulé permet de retrouver le relief indépendamment de l’initialisation. Si les méthodes traditionnelles donnent de bons résultats à partir d’un cône comme initialisation, leurs performances chutent dans le cas d’un relief initial aléatoire. Ceci représente un inconvénient majeur pour des applications qui visent à produire un Modèle Numérique de Terrain (MNT).

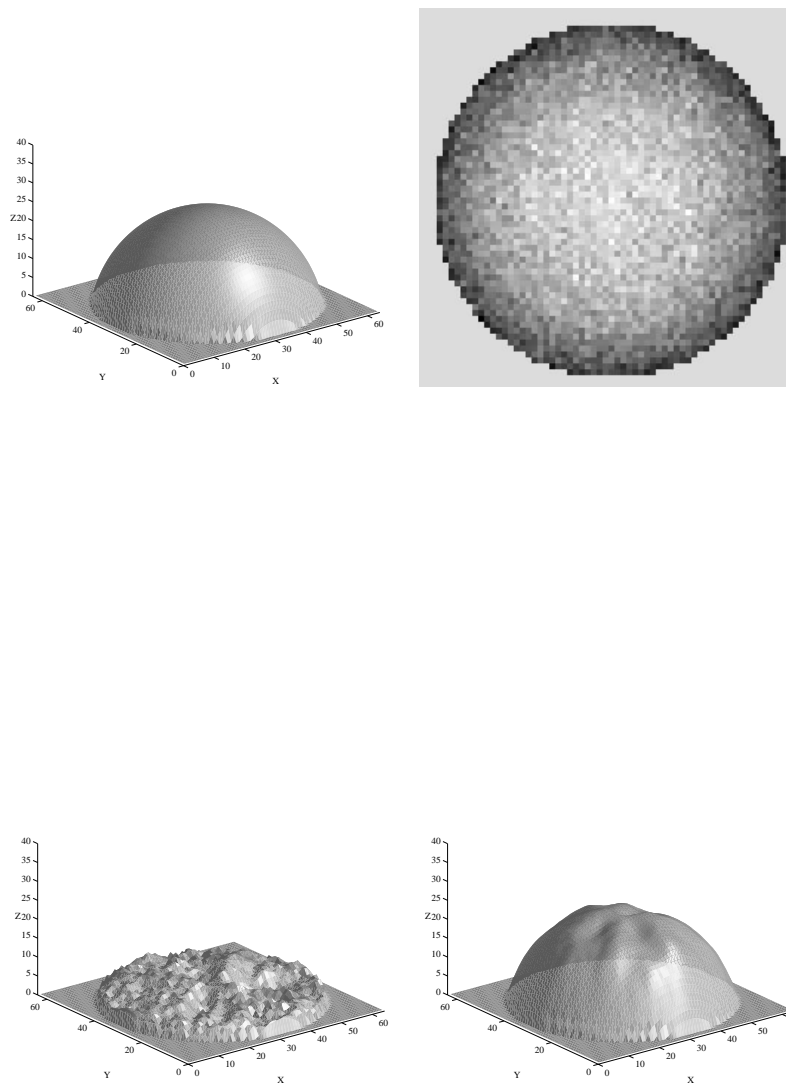
Cette étude a pour but d’évaluer la faisabilité d’une reconstruction du relief par radarclinométrie.

Calotte sphérique et données d’éclairage associées bruitées

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Contrat Cnes Toulouse

Déconvolution et restauration d’images satellitaires haute résolution, participants : A. Jablobeau, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia, contrat No 199E4260041624131-706.2.



Relief initial et relief reconstruit par recuit simulé

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/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, R. Stoica et G. Rellier, contrat 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 Alcatel Space Industries Toulouse

Extraction de zones urbaines en imagerie radar, participants : O. Viveros-Cancino, X. Descombes et J. Zerubia, contrat No 300E04700041624012-751.1.

7.6 Contrat Astrium Toulouse

Classification d'images satellitaires hyperspectrales en zone rurale et périurbaine, participants : O. Pony, X. Descombes et J. Zerubia, contrat No 40398NL.

7.7 Contrat Sagem Cergy Pontoise

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

- Les membres du projet ont participé à la journée I3S/INRIA le 30 mai 2000.
- Comme l'an dernier, le projet Ariana a participé aux TIPE des classes préparatoires aux grandes écoles du Lycée Massena à Nice dans le cadre d'une application en déconvolution d'image.
- A. Jalobeanu a fait une présentation de ses travaux dans le cadre de la Semaine de la Science en octobre 2000.
- A. Jalobeanu a présenté les travaux du projet Ariana au stand I3S à IST2000 à Nice en novembre 2000.

8.2 Actions nationales

- Les membres du projet participent activement au GdR-PRC ISIS et au GdR MSPCV.
- C. Samson, A. Jalobeanu et G. Rellier ont donné des séminaires dans le cadre du GdR-PRC Isis.
- S. Drot a participé aux journées IGN à Saint Mandé en mars 2000.
- A. Jalobeanu a donné des séminaires à l'École de printemps de la Grande Motte (CNRS) en mai 2000 et au CNES dans le cadre des CCT "Traitement du Signal et des Images" et "Calcul Scientifique et Modélisation" en mai 2000.
- I. Jermyn a participé à une journée sur l'indexation et le "data mining" en imagerie spatiale à Toulouse (avec Alcatel Space Industries, le CNES et DLR) en novembre 2000.
- X. Descombes a donné un séminaire à l'université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand en février 2000, à l'université de Marseille en mars 2000, il s'est rendu à l'Irit à Toulouse en juillet 2000 dans le cadre d'un projet "jeune chercheur" (financé par le GdR-Isis) dont il est responsable. Enfin, il a présenté les résultats des travaux du groupe de travail "fusion de données" qu'il anime dans le cadre du projet radar RSO soutenu par le PNTS à l'ENST en décembre 2000.
- J. Zerubia a fait des séminaires et visité des laboratoires au Cesta à Bruz, au Celar à Bruz, à l'École Navale à Brest, chez Astrium à Toulouse, chez Alcatel Space Industries à Toulouse, chez Spot Image à Toulouse, chez Scot à Toulouse, à l'ENSEEIH à Toulouse et au CTA à Arcueil.
- J. Zerubia a co-organisé une journée au CNES en mai 2000 sur les méthodes MCMC en traitement du signal et des images dans le domaine spatial (dans le cadre des CCT "Traitement du Signal et des Images" et "Calcul Scientifique et Modélisation"). Elle a également fait un séminaire lors de cette journée.

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

- A. Jalobeanu a passé un mois dans le groupe de traitement du signal, du département des sciences pour l'ingénieur de l'université de Cambridge, Grande-Bretagne, en juillet 2000 et a fait un séminaire dans le cadre de la collaboration Alliance.

- I. Jermyn a passé une semaine à l’université de Cambridge, Grande-Bretagne, en octobre 2000, et a fait un séminaire dans le cadre du projet européen Moumir.
- C. Samson s’est rendu une semaine au CNR à Rome, Italie, dans l’équipe de R. March en octobre 2000 et a présenté ses travaux dans le cadre de la collaboration Galilée.
- R. Stoica a donné un séminaire à l’Institut Max Planck à Leipzig, Allemagne, en juillet 2000.
- O. Viveros-Cancino a passé 1 semaine à Depfi-Unam avec le Dr. M. Moctezuma et a donné un séminaire à l’Université Nationale Autonome de Mexico, Mexique, en décembre 2000.
- X. Descombes s’est rendu 2 semaines à l’Ipit (Moscou) en juin 2000 dans le cadre d’une collaboration financée par l’Institut Lyapunov, Russie, et a fait un séminaire.
- J. Zerubia s’est rendue une semaine à l’université de Cambridge, Grande-Bretagne, dans le cadre de la collaboration Alliance en juin 2000 et 2 semaines à Trinity College à Dublin, Irlande, en août 2000 dans le cadre du projet européen Moumir.
- J. Zerubia a participé aux réunions du projet européen Moumir les 13 et 14 avril 2000 à Dublin, Irlande, et les 9 et 10 octobre 2000 à Cambridge, Grande-Bretagne.
- J. Zerubia a donné des séminaires à T.U. Delft (Pays-Bas), CWI à Amsterdam (Pays-Bas), l’université de Cambridge (Grande-Bretagne), Trinity College à Dublin (Irlande) et l’université de Colombie Britannique à Vancouver (Canada).
- J. Zerubia a été invitée à donner un “tutorial” au workshop EURANDOM sur les statistiques spatiales et la géométrie probabiliste à Eindhoven, Pays-Bas, en avril 2000.

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 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 2000. 16 professeurs ou chercheurs invités ont été accueillis provenant des pays suivants :

Irlande, Russie, Grande-Bretagne, Hongrie, Etats-Unis, Italie, France, Turquie. Pour plus d'informations sur ces séminaires, consulter le site internet : <http://www-sop.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 IP.
- 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 et relecteur pour les revues IJCV, IEEE IP, IEEE PAMI, IEEE MI, Traitement du Signal.
- J. Zerubia est membre du comité des projets et présidente du comité des bourses 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 : RFIA'00, ICPR'00, ICIP'00. Elle a présidé des sessions à RFIA'00 et ICIP'00.
- J. Zerubia a organisé une session invitée sur les méthodes MCMC en traitement du signal et des images à MCMC'00 à Monaco en juillet 2000. Elle a également présidé cette session.
- J. Zerubia a effectué la revue d'un projet de recherche pour ISF en Israël en mai 2000 et d'un autre pour le CNPq au Brésil en janvier 2000.
- J. Zerubia a effectué la revue d'un livre sur les réseaux de neurones en mars 2000.

9.2 Enseignement

- C. Lacombe: Unsa Nice, Algèbre en Deug de Mathématiques 1^{ère} année (52h de TD), analyse en Deug de Mathématique-Informatique 2^{ème} année (18h de TD), intervention en analyse en Deug sciences de la vie et de la terre.
- C. Samson : Esinsa Sophia Antipolis, module de traitement d'images en 5^{ème} année (12h de TP).
- G. Rellier : Esinsa Sophia Antipolis, module de traitement d'images en 5^{ème} année (21h de TP)
- L. Blanc-Féraud : Esinsa, 4^{ème} année, module Transformées unitaires (15h de cours , 9h de TD) ; DEA Aravis de l'Unsa, module de reconstruction et segmentation d'image (15h) ; Sup'Aéro Toulouse (6h).

- X. Descombes : DEA Astrophysique de l’Unsa Nice (9h), Sup’Aéro Toulouse (15h), Esinsa, responsable du module image de 5ème année (15h).
- J. Zerubia : DEA Aravis de l’Unsa, responsable du module sur les champs de Markov en traitement d’image (15h) ; DEA Astrophysique et Sciences de l’Univers de l’Unsa, responsable du module sur la télédétection (15 heures dont 6h enseignées), participation au module sur la classification (3h enseignées) ; Esinsa (6h) ; Ensta (6h) ; Ecole Navale (6h) ; Sup’Aéro : responsable de 2 cours “Filtrage et Segmentation” (40h dont 18h enseignées) et “méthodes variationnelles en traitement d’image” (10h dont 3h enseignées)
- J. Zerubia a donné un cours sur les champs de Markov en imagerie spatiale à l’Ecole de Printemps du CNRS de la Grande Motte en mai 2000 (6h enseignées).
- J. Zerubia a participé à 2 Habilitations à diriger des Recherches, dont 1 en tant que rapporteur, et à 5 Thèses de Doctorat, dont 3 en tant que rapporteur (une des trois thèses étant de l’université de Cambridge).

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).

Thèses en cours :

1. Karen Brady, *Segmentation d’image texturée par modèles stochastiques multi-échelle*, université de Nice-Sophia Antipolis,
2. Sébastien Drot, *Segmentation de milieux ruraux à partir d’images aériennes par des techniques de géométrie probabiliste*, université de Nice-Sophia Antipolis,
3. André Jalobeanu, *Estimation de paramètres de modèles variationnels en restauration d’image satellitaire*, université de Nice-Sophia Antipolis,
4. Caroline Lacombe, *Interférométrie radar RSO par méthodes variationnelles*, université de Nice-Sophia Antipolis,
5. Guillaume Rellier, *Analyse de textures dans l’espace hyperspectral par méthodes probabilistes multi-échelle*, université de Nice-Sophia Antipolis,
6. Radu Stoica, *Processus ponctuels pour l’extraction des réseaux dans les images satellitaires et aériennes*, 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 2000 :

1. Laure Blanc-Féraud, *Sur quelques problèmes inverses en traitement d'image*, Habilitation à diriger des Recherches, université de Nice-Sophia Antipolis, (07/07/00).
2. Christophe Samson, *Contribution à la classification d'images satellitaires par approche variationnelle et équations aux dérivées partielles*, université de Nice-Sophia Antipolis, (26/09/00).

10 Bibliographie**Thèses et habilitations à diriger des recherches**

- [1] L. BLANC-FÉRAUD, *Sur quelques problèmes inverses en traitement d'image*, Habilitation à diriger des recherches, université de Nice-Sophia Antipolis, juillet 2000.
- [2] C. SAMSON, *Contribution à la classification d'images satellitaires par approche variationnelle et équations aux dérivées partielles*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, septembre 2000.

Articles et chapitres de livre

- [3] C. HIVERNAT, X. DESCOMBES, S. RANDRIAMASY, J. ZERUBIA, « Mise en correspondance et recalage de graphes : application aux réseaux routiers extraits d'un couple carte/image », *Traitement du Signal* 17, 1, 2000, p. 21–32.
- [4] A. JALOBÉANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, « Hyperparameter estimation for satellite image restoration using a MCMC Maximum Likelihood method », *Pattern Recognition*, à paraître en 2000.
- [5] A. LORETTE, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, « Texture analysis through a Markovian modelling and fuzzy classification: Application to urban area Extraction from Satellite Images », *IJCV* 36, 3, 2000, p. 221–236.
- [6] C. SAMSON, L. BLANC-FÉRAUD, G. AUBERT, J. ZERUBIA, « A Level Set Model for Image Classification », *IJCV*, à paraître en 2000.
- [7] C. SAMSON, L. BLANC-FÉRAUD, G. AUBERT, J. ZERUBIA, « A variational model for image classification and restoration », *IEEE Transactions on PAMI* 22, 5, mai 2000, p. 460–472.
- [8] T. SZIRÁNYI, J. ZERUBIA, L. CZÚNI, D. GELDREICH, Z. KATO, « Image segmentation using Markov random field model in fully parallel cellular network architectures », *Real Time Imaging* 6, 3, juin 2000, p. 195–211.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [9] L. BLANC-FÉRAUD, C. SAMSON, G. AUBERT, J. ZERUBIA, « Multiphase evolution and variational image classification », in : *Congress SIMAI*, Ischia, Italie, juin 2000.
- [10] A. JALOBÉANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, « Estimation of adaptive parameters for satellite image deconvolution », in : *ICPR*, Barcelone, Espagne, septembre 2000.

- [11] A. JALOBEANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, «Satellite image deconvolution using complex wavelet packets», *in*: *ICIP*, Vancouver, Canada, septembre 2000.
- [12] E. KURUOGLU, J. ZERUBIA, «Modelling SAR images with a generalisation of the Rayleigh distribution», *in*: *Asilomar Conference*, Pacific Grove, USA, octobre 2000.
- [13] A. LORETTE, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, «Fully unsupervised fuzzy clustering with entropy criterion», *in*: *ICPR*, Barcelone, Espagne, septembre 2000.
- [14] A. LORETTE, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, «Modélisation markovienne multi-directionnelle: Application à l'extraction des zones urbaines», *in*: *RFIA*, Paris, France, février 2000.
- [15] C. MOLINA, J. ZERUBIA, «Regularisation by convolution in probability density estimation is equivalent to jittering», *in*: *IEEE International Workshop on Neural Networks for Signal Processing*, Sydney, Australie, décembre 2000.
- [16] G. RELIER, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, «Deformation of a Cartographic Road Network on a SPOT Sattelite Image», *in*: *ICIP*, Vancouver, Canada, septembre 2000.
- [17] C. SAMSON, L. BLANC-FÉRAUD, G. AUBERT, J. ZERUBIA, «Une approche variationnelle pour la classification d'images par régions actives», *in*: *RFIA*, Paris, France, février 2000.
- [18] R. STOICA, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, «Road extraction in remote sensed images using a stochastic geometry framework», *in*: *MaxEnt*, Gif sur Yvette, France, juillet 2000.

Rapports de recherche et publications internes

- [19] M. IMBERTY, X. DESCOMBES, «Simulation de processus objets: Etude de faisabilité pour une application à la segmentation d'image», *rapport de recherche n° 3881*, Inria, février 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3881.html>.
- [20] A. JALOBEANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, «Adaptive parameter estimation for satellite image deconvolution», *rapport de recherche n° 3956*, Inria, juin 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3956.html>.
- [21] A. JALOBEANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, «Étude de la restitution des paramètres instrumentaux en imagerie satellitaire», *rapport de recherche n° 3957*, Inria, juin 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3957.html>.
- [22] A. JALOBEANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA, «Satellite image deconvolution using complex wavelet packets», *rapport de recherche n° 3955*, Inria, juin 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3955.html>.
- [23] O. PONY, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, «Classification d'images satellitaires hyperspectrales en zone rurale et périurbaine», *rapport de recherche n° 4008*, Inria, septembre 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4008.html>.
- [24] G. RELIER, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, «Local registration and deformation of a road cartographic database on a SPOT satellite image», *rapport de recherche n° 3939*, Inria, mai 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3939.html>.
- [25] C. SAMSON, L. BLANC-FÉRAUD, G. AUBERT, J. ZERUBIA, «Classification d'Images Multibandes par Modèles Variationnels», *rapport de recherche n° 4010*, Inria, septembre 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4010.html>.

- [26] R. STOICA, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, «A Markov point process for road extraction in remote sensed images», *rapport de recherche n° 3923*, Inria, avril 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3923.html>.