

*Projet ariana**Problèmes Inverses en Observation de la
Terre et Cartographie**Sophia Antipolis*

THÈME 3B

 *R* **apport
d'Activité**

2002

Table des matières

1. Composition de l'équipe	1
2. Présentation et objectifs généraux	2
3. Fondements scientifiques	2
4. Domaines d'application	3
5. Logiciels	4
6. Résultats nouveaux	4
6.1. Méthodes probabilités	4
6.1.1. Estimation bayésienne dans les variétés	4
6.1.2. Etude de différentes discrétisations de la dynamique de Langevin	5
6.1.3. Analyse de texture dans l'espace hyperspectral par des méthodes probabilistes	5
6.1.4. Analyse intra-urbaine à partir d'images satellitaires par des approches de fusion de données.	
6	
6.1.5. Aide à la mise à jour cartographique des réseaux linéiques par processus Markov objet	6
6.1.6. Segmentation de milieux ruraux par processus Markov objet	7
6.1.7. Détection de bâtiments dans un Modèle Numérique d'Élévation par processus Markov objet	
8	
6.1.8. Rendu de scènes urbaines à partir d'une description par objets	9
6.2. Méthodes variationnelles	9
6.2.1. Γ -convergence d'une suite de fonctionnelles discrètes avec une régularisation non quadratique pour la classification d'image	9
6.2.2. Classification d'image par approche variationnelle	10
6.2.3. Fonction distance signée et solutions de viscosité d'équations de Hamilton-Jacobi	11
6.2.4. Remplissage d'image	11
6.2.5. Etude des méthodes par ensemble de niveau conservant la fonction distance	11
6.2.6. Modèles variationnels et EDP en interférométrie radar RSO : déroulement de phase	11
6.2.7. Contours actifs d'ordre supérieur et leur application à la détection de structures linéiques sur des images de télédétection	12
6.3. Action Colors	13
6.3.1. Déconvolution et débruitage d'images satellitaires et astronomiques	13
6.4. Projet européen Moumir	13
6.4.1. Segmentation d'image texturée par méthode adaptative	13
6.4.2. Evaluation de méthodes de segmentation variées pour l'indexation	13
6.4.3. Description et classification des textures par modèles de mélange de gaussiennes	14
6.4.4. Décomposition de Wold 2D et de distance de Kullback-Liebler pour l'indexation d'images texturées	16
6.4.5. Segmentation non supervisée d'images couleurs texturées en utilisant des arbres de Markov cachés et des ondelettes complexes	17
7. Contrats industriels	17
7.1. Contrat IGN Saint-Mandé	17
7.2. Contrat BRGM Orléans	17
7.3. Contrat DGA/CTA Arcueil	17
7.4. Contrat Alcatel Space Cannes	17
8. Actions régionales, nationales et internationales	17
8.1. Actions régionales	17
8.2. Actions nationales	19
8.3. Projets européens	19
8.4. Actions internationales	19

8.5. Actions bilatérales internationales	20
9. Diffusion des résultats	20
9.1. Animation de la communauté scientifique	20
9.2. Enseignement	21
9.3. Thèses	21
10. Bibliographie	22

1. Composition de l'équipe

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).

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]

Personnel Cnrs

Laure Blanc-Féraud [CR1]

Chercheurs doctorants

Jean-François Aujol [boursier AMN-ENS CACHAN]

Karen Brady [boursière PROJET EUROPÉEN MOUMIR]

Sébastien Drot [boursier CIFRE IGN jusqu'au 31 août 2002]

Caroline Lacombe [boursière MENESR jusqu'au 30 septembre 2002, puis DEMI-ATER]

Caroline Lacoste [boursière CENTRE INRIA/BRGM]

Mathias Ortner [boursier DGA/CNRS]

Guillaume Rellier [boursier RÉGION PACA/ALCATEL SPACE jusqu'au 30 octobre 2002]

Marie Rochery [boursière MENESR depuis le 1^{er} octobre 2002]

Emmanuel Villéger [boursier AMN-ENS CACHAN]

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

Chercheurs invités

Maurizio Falcone [professeur au département de mathématique de l'université de Rome « La Sapienza », Italie, un séjour d'une semaine en 2002]

Rami Haggiag [doctorant au département d'informatique et des sciences pour l'ingénieur, université Ben Gurion, Israël, un séjour de 2 semaines en octobre 2002]

Lothar Hermes [doctorant au département informatique de l'université de Bonn, Allemagne, du 1^{er} septembre au 30 novembre 2002]

Mark Klinger [doctorant au département d'informatique et des sciences pour l'ingénieur, université Ben Gurion, Israël, un séjour d'un mois en février/mars 2002]

Hamid Krim [professeur au département d'informatique et des sciences pour l'ingénieur de l'université de Caroline du Nord, Raleigh, Etats-Unis, 2 séjours de 6 semaines en 2002]

Robert Nowak [professeur au département d'électronique et d'informatique de l'université Rice à Houston, Etats-Unis, un séjour d'une semaine en juin 2002]

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 d'une semaine en avril 2002]

Radu Stoica [post-doctorant au centre de mathématiques du CWI à Amsterdam, Pays-Bas, un séjour d'une semaine en octobre 2002]

Marie-Colette van Lieshout [chercheur senior au centre de mathématiques du CWI à Amsterdam, Pays-Bas, un séjour d'une semaine en août 2002]

Elena Zhizhina [chercheur senior à l'Institut pour les problèmes de la transmission d'information de l'Académie des Sciences de Russie à Moscou, un séjour d'une semaine en avril 2002]

Collaborateurs extérieurs

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

Gérard Giraudon [DR1 INRIA, directeur 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

Frédéric Cerdat [stagiaire DEA, ENTPE, du 8 avril au 15 septembre 2002]

Marie Rochery [stagiaire DEA, UNSA, du 1^{er} avril au 30 septembre 2002]

Aurélien Vergnaud [stagiaire DEA, ENST Bretagne, du 15 mars au 15 septembre 2002]

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, modélisation de textures, segmentation, classification, stéréovision, imagerie radar,...). 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 quinze 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

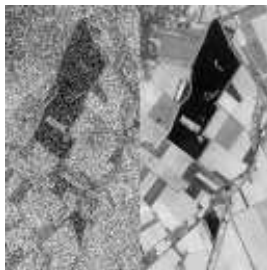
beaucoup étudiée, tant du point de vue mathématique que du point de vue algorithmique. Les termes de régularisation ainsi définis lissent la solution cherchée sur les zones homogènes de l'image, tout en préservant les contours. Cependant, ils ne prennent pas en compte de modèle sur les contours définis 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.

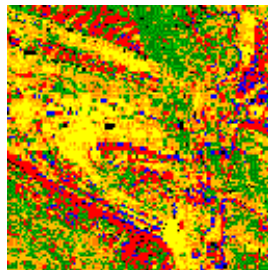
- **L'approche géométrie stochastique** : Le problème majeur de la segmentation, outre la recherche des classes et de leurs paramètres (moyenne, variance,...) et la recherche de paramètres texturaux discriminants, consiste à proposer des algorithmes robustes au bruit inhérent à tout capteur et qui préservent 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'application

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



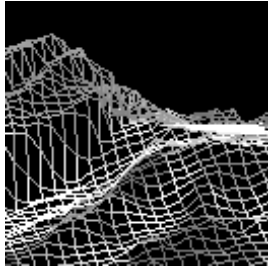
Classification



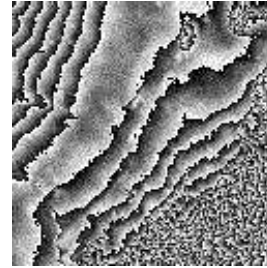
Détection de réseaux

Figure 1.

- **L'imagerie 2D** : L'amélioration de la qualité d'une image perturbée par du bruit ou floue (restauration ou amélioration d'images sont deux choses bien différentes) est un des pôles de recherche du projet Ariana. Le but est de pouvoir extraire de l'image satellitaire ou aérienne une information pertinente telle que l'ensemble d'un réseau routier, fluvial, ferroviaire ... (ce qui fait appel à la détection de lignes et au groupement perceptuel) ou bien l'ensemble des classes d'une image (ce qui fait appel à des techniques de segmentation et de classification) afin de pouvoir permettre à un opérateur ou à un système expert d'en faire une interprétation (ce dernier aspect n'étant pas traité dans le projet Ariana).



MNT



Interférométrie

Figure 2.

- **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

- Extension en 2002 à l'Europe, Israël, Etats-Unis, Canada et Japon, du brevet déposé à l'INPI en 2001 :
 - Procédé de traitement d'images numériques, notamment d'images satellitaires, N° 0110189 (A. Jalobeanu, L. Blanc-Féraud et J. Zerubia).
- Deux logiciels de déconvolution (aveugle ou non) ont été transférés en 2002 à l'Institut Pasteur à Paris et à l'INRA à Jouy en Josas pour des tests en microscopie confocale.

6. Résultats nouveaux

6.1. Méthodes probabilistes

6.1.1. Estimation bayésienne dans les variétés

Participant : Ian Jermyn.

Mots clés : variété, mesure, métrique, difféomorphisme, estimation, invariance.

Les méthodes d'estimation des paramètres continus les plus souvent utilisées en traitement d'image, MAP (*Maximum a Posteriori*) et MMSE (*Minimum Mean Squared Error*, en anglais), ne sont pas invariantes aux

changements des coordonnées. Cette situation signifie que les estimées sont mal définies. La résolution de ce problème nécessite l'introduction d'une métrique sur l'espace des paramètres. Nous avons montré [24] qu'une condition d'invariance rend unique le choix de cette métrique. Nous avons mis en évidence une relation avec les méthodes MML (*Minimum Message Length*, en anglais).

6.1.2. Etude de différentes discrétisations de la dynamique de Langevin

Participants : Xavier Descombes, Elena Zhizhina.

Mots clés : *Equations différentielles stochastiques, dynamique de Langevin, schémas d'Euler et de Taylor.*

Il s'agit d'étudier la simulation de champs de Gibbs comme solutions d'une équation différentielle stochastique. Du point de vue algorithmique, nous considérons différentes discrétisations de la dynamique de Langevin. Un schéma de recuit simulé est également étudié en vue d'obtenir des estimées par Maximum A Posteriori. L'application considérée pour mener les tests concerne la restauration d'images bruitées. Le but de cette étude est de voir dans quelle mesure les algorithmes étudiés permettent de concurrencer les algorithmes de type MCMC (*Monte Carlo Markov Chain*, en anglais).

Nous avons étudié deux schémas correspondant à des approximations du premier et second ordre. Des théorèmes de convergence permettent de montrer qu'il est possible de considérer des pas d'échantillonnage plus grands pour l'approximation du second ordre. En revanche, une itération de l'algorithme par approximation du second ordre est plus coûteuse en terme de temps de calcul que pour le premier ordre. Des simulations sont en cours pour confirmer ce résultat. Dans le cadre du recuit simulé, la qualité des résultats est comparable à celle obtenue par une dynamique de Metropolis. Nous étudions actuellement les possibilités d'accélération des différents algorithmes.

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une collaboration avec l'IITP (Moscou) soutenue par l'Institut Lyapunov.

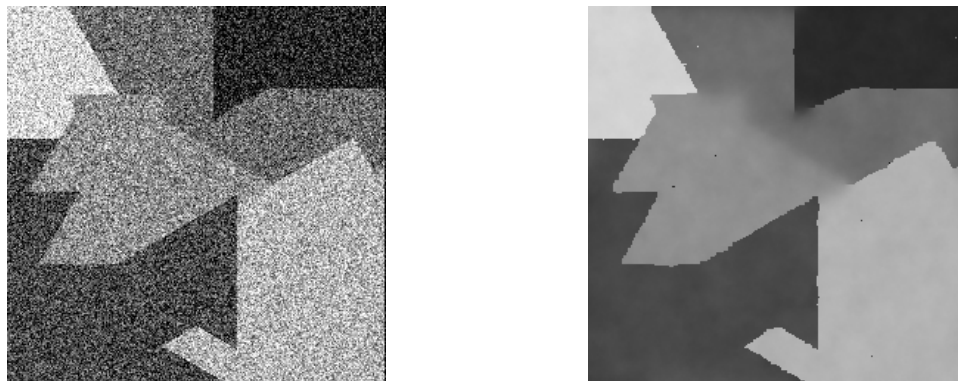


Figure 3. Image synthétique bruitée et restauration obtenue par une approximation du second ordre de la dynamique de Langevin.

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

Participants : Guillaume Rellier, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : *champs de Markov, réduction de dimension d'espace, poursuite de projection, analyse de texture, classification, image hyperspectrale.*

Le but de cette étude [2][15][28] est d'établir un modèle qui permette une analyse de texture prenant en compte conjointement l'aspect spatial et l'aspect spectral des images hyperspectrales. Ces images sont caractérisées par un nombre de canaux largement supérieur à celui des images multispectrales classiques (plus de 100). On désire tirer parti de l'information spectrale pour améliorer l'analyse spatiale.

Les textures sont modélisées par un champ de Markov gaussien vectoriel, permettant de prendre en compte les relations spatiales entre pixels, mais aussi les relations inter-bandes à l'intérieur d'un même pixel.

Ce champ est adapté aux images hyperspectrales par une simplification évitant l'apparition de problèmes d'estimation statistique dans des espaces de grande dimension.

Dans le but d'éviter ces problèmes, on effectue également une réduction de dimension des données grâce à un algorithme de poursuite de projection. Cet algorithme permet de déterminer un sous-espace de projection dans lequel une grandeur, appelée indice de projection, est optimisée. L'indice de projection est défini par rapport à la modélisation de texture proposée, de manière à ce que le sous-espace optimal maximise la distance entre les classes prédéfinies, dans le cadre de la classification.

La méthode d'analyse de texture est testée en classification supervisée. Pour ce faire, on a mis au point deux algorithmes que l'on compare avec des algorithmes classiques utilisant ou non l'information de texture. Des tests ont été réalisés sur des images hyperspectrales AVIRIS (cf. Fig. 4).

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

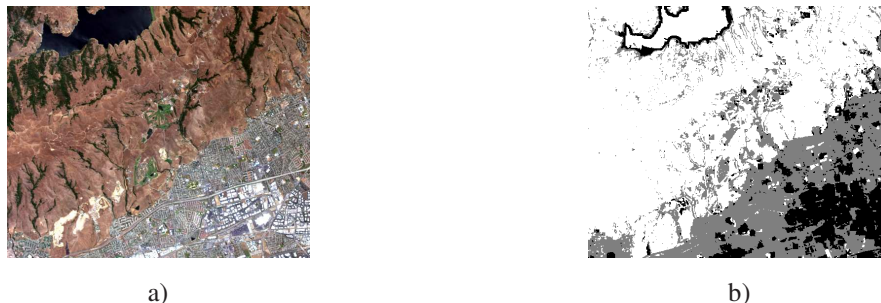


Figure 4. a) affichage en fausses couleurs d'un collage de textures extraites d'une scène AVIRIS (224 bandes), b) résultat de classification.

6.1.4. Analyse intra-urbaine à partir d'images satellitaires par des approches de fusion de données.

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

Mots clés : *champs de markov, matrice de confusion, fusion, classification.*

Nous cherchons à analyser des zones urbaines en utilisant des images satellitaires issues de capteurs optique et radar. Pour résoudre ce problème, des critères de qualité ont été utilisés dans un contexte de fusion de données [18][29]. Dans un premier temps, différentes représentations des images sont obtenues grâce aux descripteurs de texture, notamment la variance conditionnelle qui a été utilisée comme descripteur du milieu urbain.

Puis, une classification supervisée est faite sur chaque paramètre de texture ; pour chaque image, nous obtenons ensuite des paramètres permettant d'évaluer la qualité de la classification (valeur Kappa matrice de confusion). La probabilité d'erreur sur la classification est fournie par les matrices de confusion ainsi obtenues. Nous réalisons, ensuite, une régularisation de cette classification.

La classification de chaque pixel est finalement obtenue en fusionnant les différentes sources d'information à partir d'un critère bayésien.

6.1.5. Aide à la mise à jour cartographique des réseaux linéiques par processus Markov objet

Participants : Caroline Lacoste, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : *Processus ponctuels marqués, méthodes MCMC, extraction de réseaux linéiques.*

Dans une optique de mise à jour cartographique des différents réseaux linéiques tels que les routes, les rivières ou les réseaux subsurfaciques, nous cherchons à réaliser une extraction non supervisée du réseau linéique dans les images optiques ou radar. Nous nous plaçons dans un cadre stochastique et utilisons des processus Markov objet, encore appelés processus ponctuels marqués [3][20], comme modèles *a priori*. Cette modélisation nous

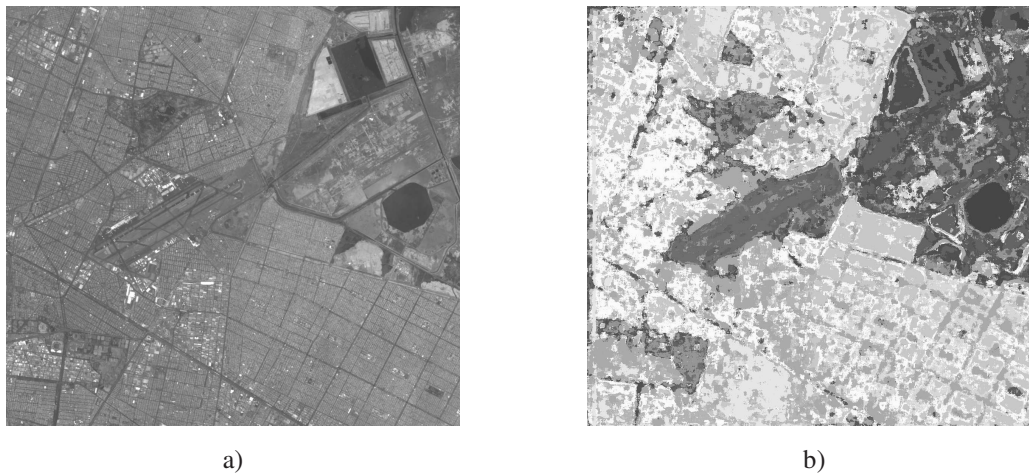


Figure 5. a) Ville de Mexico (SPOT 1995) ; b) Classification finale par critère bayésien à partir de la fusion des représentations texturales.

permet de manipuler des contraintes géométriques fortes tout en bénéficiant des propriétés des approches stochastiques, du type champs de Markov. Outre les propriétés géométriques du réseau, prises en compte dans la densité *a priori*, les propriétés radiométriques et de texture des données interviennent dans un terme d'attache aux données.

Nous nous sommes particulièrement intéressés à l'extraction du réseau routier [7] et à la définition d'un modèle *a priori* exploitant au mieux les propriétés géométriques de ce réseau (faible courbure, continuité du réseau, croisement des routes proche de l'angle droit...). Une étude comparative [26] de plusieurs modèles *a priori* a notamment été menée sur des images provenant de différents capteurs (SPOT, ERS et images aériennes). L'optimisation des différents modèles a été réalisée par un recuit simulé sur algorithme de type MCMC (*Monte Carlo Markov Chain*, en anglais) à sauts réversibles. Afin d'accélérer la convergence de cet algorithme, nous avons construit un noyau de proposition efficace.

Ce travail a été réalisé en collaboration avec le BRGM (N. Baghdadi).



Figure 6. A gauche : image aérienne IGN. A droite : réseau linéique extrait par processus ponctuel marqué

6.1.6. Segmentation de milieux ruraux par processus Markov objet

Participants : Sébastien Drot, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : processus ponctuels marqués, approche bayésienne, méthodes MCMC, segmentation d'image.

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

Avec des données de meilleure résolution (centimétriques) comme les images aériennes par exemple, les approches pixéliques sont insuffisantes car elles n'utilisent aucune information géométrique sur les objets recherchés. Il s'avère donc souhaitable de développer des méthodes assurant la prise en compte de ce type d'information. Pour conserver les atouts des approches bayésiennes tout en tenant compte de propriétés géométriques simples, nous proposons d'étudier les modèles de type processus ponctuels marqués [3].

Nous avons donc développé un modèle à base de triangles équilatéraux à orientation quelconque [1][9]. Le modèle contient des informations a priori favorisant les configurations (c'est à dire ici les collections d'objets) proches d'un pavage du plan et un terme d'attache aux données donnant une probabilité plus forte aux triangles recouvrant des zones ayant une texture homogène. Ce modèle est optimisé par un recuit-simulé fondé sur un algorithme de type MCMC à sauts réversibles. A ce stade, nous obtenons une sur-segmentation. Un post-traitement permet ensuite de fusionner les triangles recouvrant des zones de même texture. Cette approche a été appliquée avec succès à des images aériennes optiques ainsi qu'à des images radar. La Fig. 7 montre une portion d'image aérienne et le résultat obtenu.

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

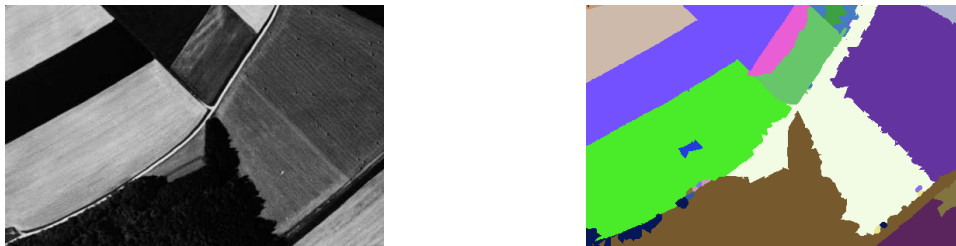


Figure 7. Portion d'image aérienne et segmentation obtenue par l'approche de processus ponctuel marqué

6.1.7. Détection de bâtiments dans un Modèle Numérique d'Élévation par processus Markov objet

Participants : Mathias Ortner, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

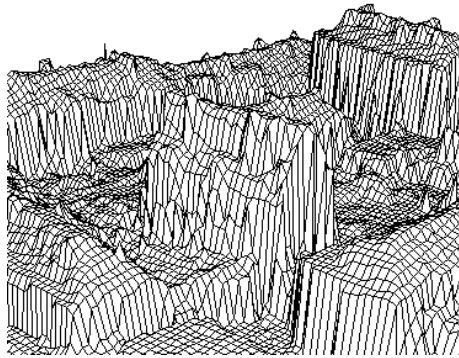
Mots clés : Processus ponctuels marqués, méthode MCMC, modèle numérique d'élévation, extraction de bâtiments.

Nous voulons détecter des bâtiments sur des Modèles Numériques d'Élévation (MNE) haute résolution. Pour ce faire, nous introduisons un processus ponctuel marqué [3][27] dont les points représentent les bâtiments. La densité de ce processus ponctuel se divise en deux parties :

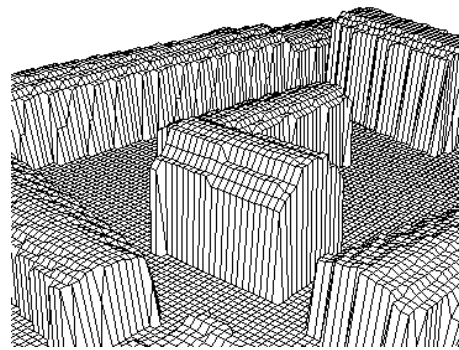
- la première est un modèle a priori utilisant des interactions entre les points pour introduire la connaissance que l'on a de la structure des bâtiments en zones urbaines,
- la seconde est un terme d'attache aux données pour assurer la cohérence entre les réalisations du processus ponctuel et le MNE.

Nous calculons ensuite une estimée de la zone urbaine à partir de cette densité en utilisant une simulation de type MCMC. Nous obtenons des résultats prometteurs sur un MNE d'Amiens (cf. Fig. 8). Nous travaillons actuellement sur des outils théoriques permettant d'accélérer la convergence de l'algorithme, d'être exhaustif et plus précis.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration avec l'IGN (H. Le Men) avec le soutien de la DGA (CTA Arcueil).



Partie d'un MNE fourni par l'IGN.



Régularisation obtenue.

Figure 8. Exemple de régularisation de MNE.

6.1.8. Rendu de scènes urbaines à partir d'une description par objets

Participants : Frédéric Cerdat, Xavier Descombes, Josiane Zerubia.

Mots clés : MNE, scènes urbaines, rendu 3D.

La modélisation urbaine 3D est un sujet en vogue de part ses nombreuses applications, incluant le tourisme et le marketing, l'architecture et la planification urbaine, l'analyse de la propagation sonore et de la pollution de l'air, les systèmes d'information géographique (SIG) et les applications militaires. La photogrammétrie est classiquement utilisée pour extraire l'information 3D. Néanmoins, il est maintenant clair que les techniques standard de photogrammétrie ne sont pas les plus efficaces en ce qui concerne le bâti dans les modèles urbains, car elles se fondent plus sur des mesures ponctuelles que sur des objets structurés.

Dans cette optique, nous avons développé une approche pour synthétiser des scènes urbaines à partir d'une description par objets. A partir de Modèles Numériques d'Élévation (MNE), nous extrayons les objets de la scène et les modélisons par des formes géométriques simples. Dans ce travail, nous avons également extrait les toits et les arbres. Pour extraire les toits, nous considérons les masques de bâtiments obtenus à partir du MNE par un processus ponctuel marqué (cf. 6.1.7). Sur ces masques, les lignes de crêtes du MNE sont extraites par un chapeau haut de forme, suivi d'une transformée de Hough. Un modèle par plans est alors déterminé. L'extraction des arbres est fondée sur un filtrage colorimétrique et l'information de hauteur du MNE.

Un outil 3D de rendu de scène a été développé qui permet de visualiser les objets extraits. Un système de navigation permet de se déplacer dans la scène dans les trois directions. Les tests ont été conduits sur la ville d'Amiens à partir d'un MNE fourni par l'IGN.

6.2. Méthodes variationnelles

6.2.1. Γ -convergence d'une suite de fonctionnelles discrètes avec une régularisation non quadratique pour la classification d'image

Participant : Laure Blanc-Féraud, Gilles Aubert, Riccardo March.

Mots clés : Γ -convergence, classification d'image, régularisation non quadratique.

Ce travail [21] porte sur la justification mathématique d'un des modèles variationnels précédemment proposés pour la classification supervisée dans le projet Ariana (cf. thèse de C. Samson en 2000). A partir des travaux effectués en mécanique des fluides pour les transitions de phase, nous avons développé un modèle de classification par minimisation d'une suite de fonctionnelles. Le résultat est une image de classes formée



Figure 9. Rendu 3D d'une partie de la ville d'Amiens

de régions homogènes séparées par des contours réguliers. Ce modèle diffère de ceux utilisés en mécanique des fluides car la perturbation utilisée n'est pas quadratique, mais correspond à une fonction de régularisation d'image préservant les contours. La Γ -convergence de cette nouvelle suite de fonctionnelles a donc dû être prouvée. Cela a nécessité la définition de fonctionnelles discrètes, dont le pas de discrétisation dépend du paramètre définissant la suite des fonctionnelles. La fonctionnelle limite, elle, reste définie de manière continue.

6.2.2. Classification d'image par approche variationnelle

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

Mots clés : Equations aux dérivées partielles, méthode d'ensemble de niveau, ondelettes, texture, classification.

L'approche la plus usuelle de la classification repose sur des méthodes stochastiques. Récemment une approche variationnelle a été proposée dans le projet Ariana (cf. thèse de C. Samson en 2000 pour la classification d'image optique mono ou multi-spectrale). Pour étendre ces travaux, nous avons pris en considération les aspects textures d'une image [23]. Pour ce faire, nous avons eu recours aux ondelettes, et plus précisément aux paquets d'ondelettes. Cela nous a permis de donner la caractérisation d'une texture à partir de son énergie dans les différentes sous-bandes de sa décomposition en paquets d'ondelettes. Nous avons ainsi pu étendre le modèle de C. Samson au cas des images texturées. La Fig. 10 donne un exemple de classification obtenue avec notre algorithme. Nous nous intéressons également au modèle proposé par Vese et Osher, inspiré des travaux d'Y. Meyer, à la fois sur le plan théorique et sur le plan pratique. Ce modèle permet d'étudier efficacement les textures présentes dans une image.

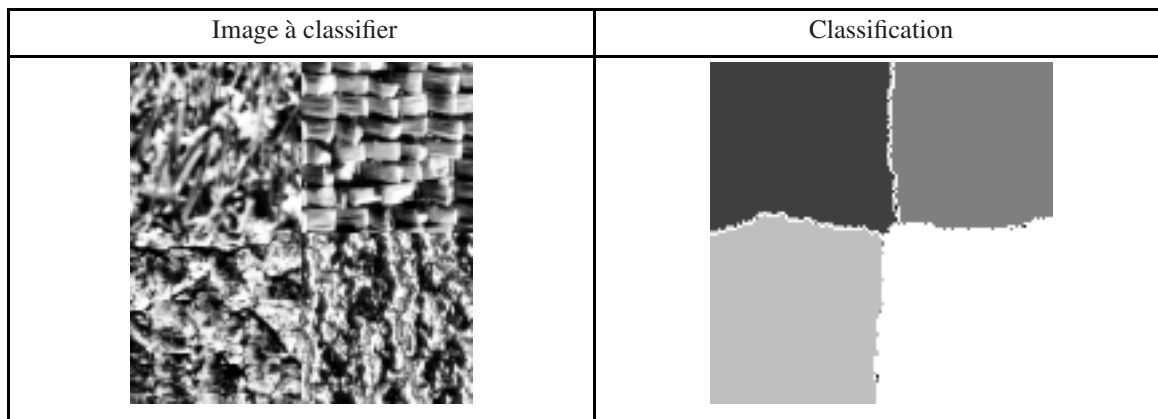


Figure 10. Classification d'une image synthétique par méthode variationnelle

6.2.3. Fonction distance signée et solutions de viscosité d'équations de Hamilton-Jacobi

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

Mots clés : *Equations aux dérivées partielles, fonction distance signée, solutions de viscosité, équations de Hamilton-Jacobi, méthode des contours actifs.*

Nous avons étudié un aspect théorique [22] de la méthode des contours actifs utilisée dans notre modèle de classification (cf. 6.2.2) : l'équation de réinitialisation d'une fonction en une fonction distance signée à son ensemble de niveau zéro. On l'effectue à l'aide de l'EDP suivante :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \text{signe}(u) (|Du| - 1) = 0 \quad (1)$$

Nous avons obtenu l'existence et l'unicité d'une solution de viscosité pour (1). Cette solution est donnée par une formule de type Hopf-Lax qui caractérise en particulier son comportement asymptotique. Nous avons ensuite étendu ses résultats à une classe d'opérateurs Hamiltoniens plus généraux.

6.2.4. Remplissage d'image

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

Mots clés : *équation aux dérivées partielles, remplissage d'image, interférométrie.*

Les images de phase obtenues par interférométrie en imagerie radar contiennent des zones parfois larges sans information. Différentes méthodes de remplissage existent pour remplir des régions dans des images (*Inpainting* en anglais).

Une de ces méthodes consiste à minimiser une fonctionnelle sur deux fonctions. L'une représente l'image et la deuxième l'orientation des lignes de niveau. L'information d'orientation est donc contenue dans une fonction. Le lien avec la fonction image est assuré par une contrainte lors de la minimisation. Une autre approche consiste à trouver la solution d'une EDP, la fonction obtenue est alors l'image en niveaux de gris. Dans ce cas, l'information d'orientation est extraite dans l'EDP par dérivation de l'inconnue. L'ordre de l'EDP est alors au moins trois.

La méthode sur laquelle nous travaillons est fondée sur une EDP d'ordre deux. Dans cette approche, l'information d'orientation est introduite à travers l'ajout d'une variable sur l'inconnue de cette EDP.

6.2.5. Etude des méthodes par ensemble de niveau conservant la fonction distance

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

Mots clés : *équation aux dérivées partielles, méthodes par ensemble de niveau, fonction distance.*

Les méthodes par ensemble de niveau servent pour déplacer des courbes. Ces méthodes consistent à faire agir une EDP sur une fonction dont l'ensemble de niveau 0 est la courbe elle-même. Le cœur de la méthode est de trouver une EDP sur la fonction à partir de celle sur la courbe de sorte que l'ensemble de niveau 0 de la fonction subissent la même action que la courbe de départ.

La fonction initiale couramment choisie est la fonction distance signée à la courbe initiale. Il existe alors un choix pour l'EDP sur la fonction qui pourrait assurer du moins formellement que celle-ci reste bien une fonction distance. Nous étudions cette EDP pour montrer l'existence et l'unicité de la solution et aussi qu'elle reste bien une fonction distance.

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

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

Mots clés : *modèle variationnel, BV, interférométrie, déroulement de phase.*

Beaucoup d'algorithmes de déroulement de phase en interférométrie radar RSO (Radar à Ouverture de Synthèse) ont été développés et formulés dans le domaine discret durant ces dix dernières années. Nous proposons une formulation variationnelle [14][25] pour résoudre le problème. Cette étude dans le domaine continu va nous permettre d'imposer quelques contraintes sur la régularité de la solution et une mise en oeuvre

efficace. Cette méthode a été étudiée dans le cas unidimensionnel, elle est en cours de test pour le cas réel en 2D.

De plus, un filtre variationnel adaptatif qui élimine le bruit sur une image interférométrique tout en préservant les structures de l'image, notamment les discontinuités, a été proposé.

Une partie de ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration avec le projet Odyssée (P. Kornprobst).

6.2.7. Contours actifs d'ordre supérieur et leur application à la détection de structures linéiques sur des images de télédétection

Participants : Marie Rochery, Ian Jermyn, Josiane Zerubia.

Mots clés : *contour actif, ensemble de niveau, description de forme, extraction de réseaux routiers.*

Les contours actifs ont été utilisés dans de nombreuses applications en traitement d'image et vision par ordinateur. Ils offrent une grande flexibilité pour la modélisation et peuvent être utilisés avec des algorithmes simples et rapides. Les énergies classiquement utilisées sont des énergies linéaires sur l'espace des chaînes. Ces énergies induisent des forces qui véhiculent une information essentiellement ponctuelle sur le contour. Le but de ce travail a été d'introduire des forces qui permettent de tenir compte d'une information globale sur le contour, et non plus locale comme c'est le cas pour les énergies classiquement utilisées. Pour ce faire, nous avons introduit des énergies quadratiques sur l'espace des chaînes. Ces énergies permettent de définir une interaction entre chaque paire de points du contour.

La première partie du travail consiste à étudier une énergie géométrique (interne) quadratique. Nous avons également développé des algorithmes adaptés pour le calcul de la force dérivée de l'énergie quadratique ainsi que pour l'évolution du contour, mettant en oeuvre une méthodologie par ensemble de niveau.

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés à la définition d'un terme énergétique quadratique faisant intervenir les données de l'image.

Nous montrons ci-dessous un premier résultat pour l'extraction de routes sur une image de télédétection (cf. Fig. 11).

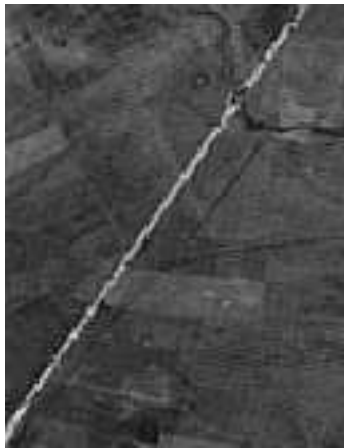


Image de départ.



Résultat.

Figure 11. Contours actifs d'ordre supérieur pour l'extraction de structures linéiques.

6.3. Action Colors

6.3.1. Déconvolution et débruitage d'images satellitaires et astronomiques

Participants : Aurélien Vergnaud, Laure Blanc-Féraud, Josiane Zerubia.

Mots clés : *Déconvolution, débruitage, images satellitaires et astronomiques, paquets d'ondelettes complexes, bruit de Poisson, transformée d'Anscombe.*

Ce travail a été effectué dans le cadre d'une action Colors avec A. Bijoui, astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA). Le but est de mettre en commun deux savoir-faire différents en déconvolution et débruitage d'images par transformée en ondelettes. La méthode précédemment développée dans le projet Ariana (cf. thèse d'A. Jalobeanu en 2001 et [11]) utilise des paquets d'ondelettes complexes qui conduisent à des algorithmes invariants par translation et rotation. Les images traitées sont satellitaires, ie. dégradées par un flou et un bruit gaussien [10]. La déconvolution est effectuée sans régularisation, puis l'image est débruitée dans le domaine des paquets d'ondelettes complexes.

La méthode développée à l'OCA utilise des ondelettes réelles avec un algorithme à trous. Les images traitées sont des images astronomiques, ie. dégradées par un flou et un bruit de Poisson. La déconvolution est effectuée par un algorithme itératif en même temps que le débruitage dans le domaine de la transformée en ondelettes. Une première phase du travail consiste à mettre au point un algorithme de débruitage d'images astronomiques dans le domaine des paquets d'ondelettes complexes. Pour ce faire, nous avons dû introduire une transformation d'Anscombe pas à pas afin de stabiliser la variance du bruit de Poisson inhérent aux images astronomiques. Par la suite, nous développerons une méthode dans le domaine des paquets d'ondelettes complexes où la déconvolution sera effectuée par inversion et régularisation de manière itérative.

6.4. Projet européen Moumir

6.4.1. Segmentation d'image texturée par méthode adaptative

Participants : Karen Brady, Ian Jermyn, Josiane Zerubia.

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

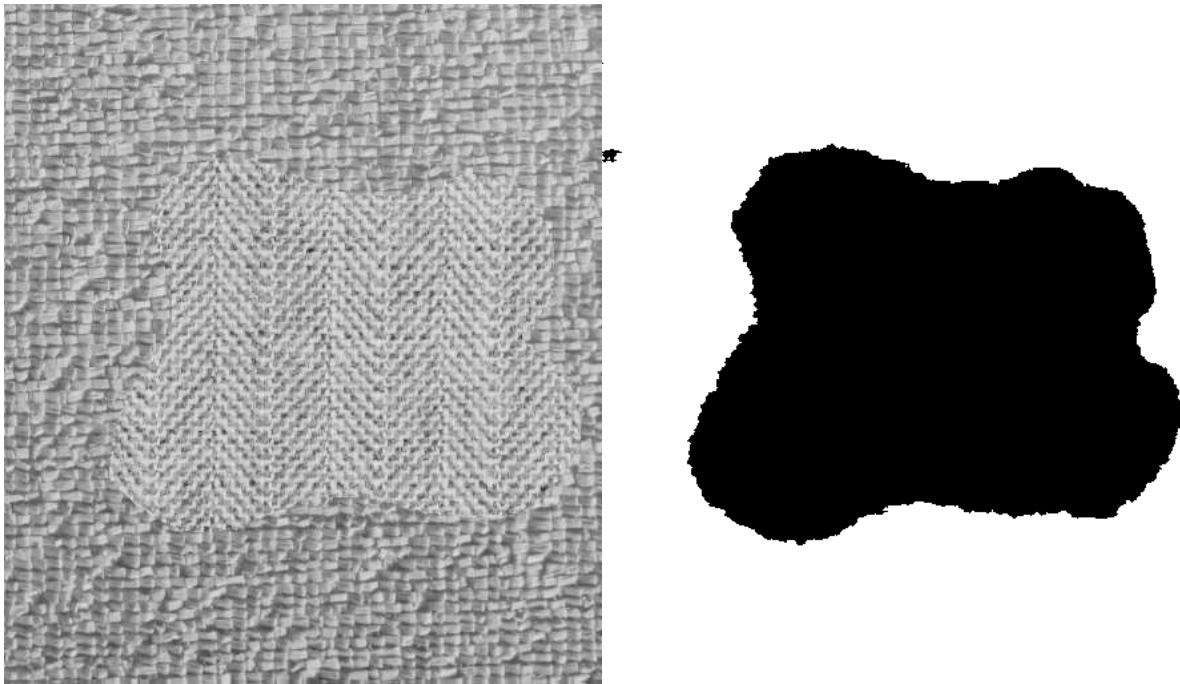
Un des attributs essentiels pour la segmentation d'image texturée est la probabilité des données dans une région arbitraire sachant qu'elles appartiennent à une classe spécifique. Les textures planaires et parallèles au plan de l'image sont par contre définies comme des mesures sur l'espace des images infinies. Il faut donc une marginalisation de la mesure. Dans le cas gaussien, la probabilité d'une région est également gaussienne, mais avec un opérateur qui est une fonction complexe de l'originale. Pour travailler sur cette mesure, il faut diagonaliser l'opérateur. Avec une restriction faible sur la forme de l'opérateur original, on peut diagonaliser approximativement cet opérateur pour une région en utilisant une base de paquets d'ondelettes adaptée aux propriétés de la texture permettant une caractérisation plus précise. La base d'ondelettes est également adaptée à la géométrie de la région considérée, permettant ainsi la résolution rigoureuse du problème des "bords de texture". L'estimation des paramètres des modèles et de la structure de la base est réalisé par MAP. Les modèles de texture résultants sont utilisés pour une classification pixélique, qui dépend des données des pixels voisins ainsi que de celle du pixel courant. Des tests ont été effectués sur des collages de Brodatz (cf. Fig. 12).

6.4.2. Evaluation de méthodes de segmentation variées pour l'indexation

Participants : Ian Jermyn, Cián Shaffrey, Nick Kingsbury.

Mots clés : *segmentation, indexation, évaluation psychovisuelle.*

Pour faire avancer les techniques de recherche d'image dans des bases de données, il faut avoir des méthodes d'évaluation méthodologiquement bien définies. Le but de cette étude [12] a été d'analyser le problème de l'évaluation de façon théorique, puis d'appliquer cette analyse à deux bases de données de nature complètement différente : une, fournie par l'IGN, constituée par des images aériennes de la région Ile-de-France, et une autre constituée par des images d'art de la « Bridgeman Art Library » de Londres. La



Mosaïque de textures.

Resultat.

Figure 12. Application de la méthode adaptative à un collage de Brodatz.

première étape a été une analyse méthodologique du problème de l'évaluation dans des situations différentes, utilisant une représentation abstraite d'une base de données, en mettant l'accent sur les méthodes utilisant la segmentation d'image comme indice. Cette analyse a conduit à l'utilisation de deux méthodes assez différentes pour les deux bases de données (cf. Fig. 13).

Pour la base de l'IGN, la vérité-terrain existe, elle peut donc être utilisée pour l'évaluation. Nous avons pu obtenir cette dernière avec l'aimable autorisation de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France (IAURIF). Le travail continue sur le recalage de la vérité-terrain aux données IGN. Une fois ce travail fini, on pourra utiliser des métriques assez simples pour déterminer si les méthodes de segmentation reproduisent la vérité-terrain et donc si elles fournissent des réponses correctes.

Pour la base de données BAL, il n'y a pas de vérité-terrain : les images sont trop complexes sémantiquement. L'analyse a conduit à l'utilisation d'expériences psychovisuelles [16] (réalisée conjointement avec l'université de Cambridge), pour l'évaluation des segmentations d'image. Les résultats de ces expériences indiquent qu'il y a des segmentations d'image qui sont objectivement meilleures que d'autres pour la recherche dans une base de données.

6.4.3. Description et classification des textures par modèles de mélange de gaussiennes

Participants : Ian Jermyn, Haim Permuter, Joseph Francos.

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

Ce travail, réalisé conjointement avec l'université Ben Gurion en Israël, utilise un mélange de gaussiennes avec des attributs variés pour caractériser les textures. Les attributs sont calculés à partir des sous-images et le modèle est appris en utilisant un algorithme EM. Après une étude de différents attributs, les énergies totales dans les bandes de fréquence dyadique obtenues par DCT, et les moyennes et la covariance des valeurs RGB, ont donné la meilleure performance parmi les attributs « structurels » et « couleurs » testés. On a trouvé

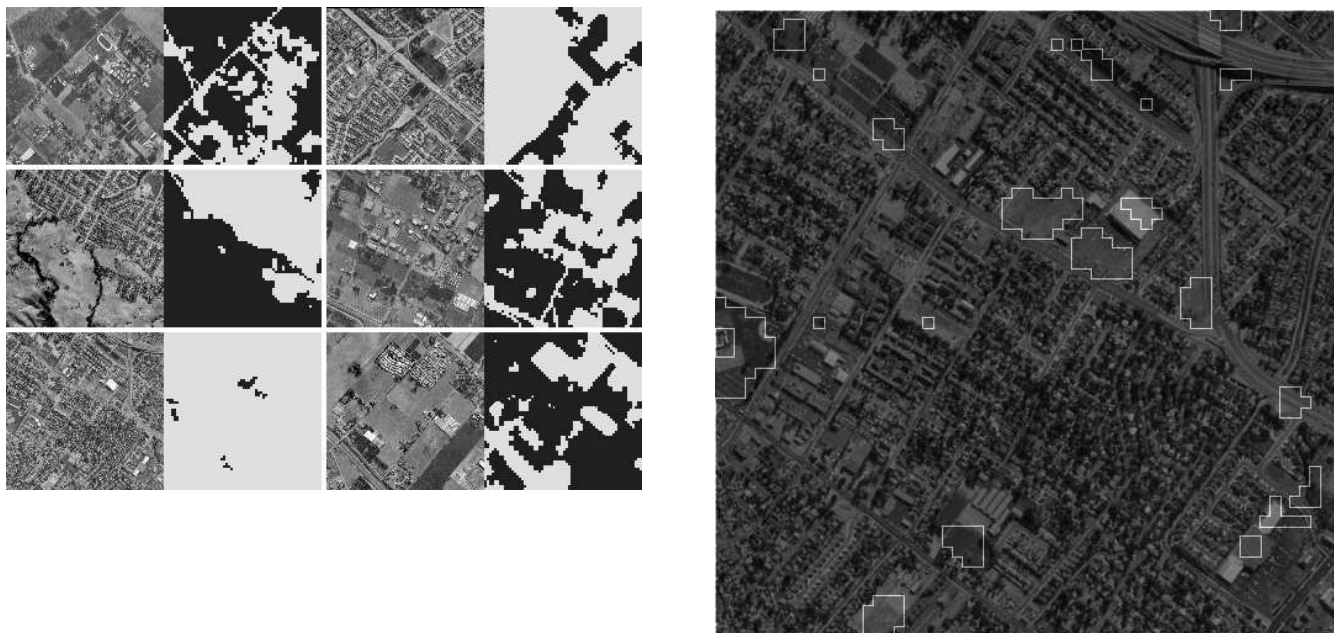


Image aérienne (IGN) ;
Vérité terrain (IAURIF).

Image d'art (BAL) ;
Ordre trouvé pour les méthodes de segmentation.

Figure 13. Indexation : tests sur 2 bases de données (IGN et BAL).

une nette amélioration de performance sur la base de données Vistex (MIT) par rapport à d'autres modèles classiques. Puis, le modèle a été testé sur des images aériennes de la baie de San Francisco (cf. Fig. 14) pour réaliser une classification en deux classes : « naturelle » et « artificielle ». D'autres images fournies par l'IGN seront testées dans un avenir proche.



Les images aériennes

et les vérités terrain correspondantes.

Résultat de la classification.

Figure 14. Les images aériennes testées et les zones « naturelles » découvertes dans une de ces images.

6.4.4. Décomposition de Wold 2D et de distance de Kullback-Liebler pour l'indexation d'images texturées

Participants : Ian Jermyn, Josiane Zerubia, Mark Kliger, Joseph Francos, Radu Stoica.

Mots clés : décomposition de Wold 2D, distance de Kullback-Liebler, images texturées, indexation.

La structure d'une texture est importante pour l'indexation d'image. La décomposition de Wold 2D permet d'analyser la mesure qui décrit une texture en des composantes qui représentent ses périodicités, ses directionnalités et sa partie lisse. Etant donné un exemple de texture, on apprend les paramètres des périodicités (nombre, fréquences, amplitudes) et de la partie lisse (supposé gaussienne) en utilisant un algorithme pour l'ordre du modèle et des estimées par maximum de vraisemblance pour les autres paramètres. Ces quantités paramétrisent la mesure associée à la texture. On définit une métrique sur l'espace des textures en utilisant la distance Kullback-Liebler symétrisée entre les mesures paramétrisées. Cette distance doit être minimisée sur l'espace des translations, rotations et changements d'échelle des textures, lesquelles s'expriment analytiquement en termes des paramètres. Des expériences sur des bases de données simples (Brodatz, VisTex) sont prometteuses. Des expériences sur une base de données de l'IGN constituée d'images aériennes sont en cours.

Ce travail a été initialisé dans le cadre d'une collaboration AFIRST (1996 à 1999) et étendu dans le cadre du projet européen MOUMIR.

6.4.5. Segmentation non supervisée d'images couleurs texturées en utilisant des arbres de Markov cachés et des ondelettes complexes

Participants : Ian Jermyn, Cián Shaffrey, Nick Kingsbury.

Mots clés : arbres de Markov cachés, ondelettes complexes, distribution de Rayleigh, texture, couleur, segmentation.

Une recherche par le contenu dans des bases de données image a pour but d'avoir accès à la sémantique de l'image sans annotation manuelle. Dans ce travail, nous proposons une technique pour la segmentation non supervisée [17]. Les résultats de la segmentation, qui incluent les modèles eux-mêmes, sont utilisés comme descripteurs du contenu dans un système de recherche en cours de développement à l'Université de Cambridge.

Les modèles de couleur et de texture sont appris à partir de l'image avant la segmentation, en utilisant la technique MSI (*Mean Shift Iterations*, en anglais). Les modèles de texture sont fondés sur des arbres de Markov cachés qui modélisent les amplitudes des coefficients d'ondelettes complexes de la composante L^* de l'espace couleur $L^*a^*b^*$, les distributions conditionnelles étant de Rayleigh. Les modèles de couleur sont des distributions gaussiennes indépendantes décrivant les coefficients d'échelle des composantes a^* et b^* . La classification est obtenue par maximum de vraisemblance, suivie par une fusion des données entre échelles (cf. Fig. 15).

7. Contrats industriels

7.1. 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.

7.2. Contrat BRGM Orléans

Mise à jour cartographique des réseaux linéiques en fusion de données par processus Markov objet, participants : C. Lacoste, X. Descombes, J. Zerubia, contrat no. 102E03800041624.01.2.

7.3. Contrat DGA/CTA Arcueil

Analyse urbaine à partir de modèles numériques d'élévation par processus Markov objet (convention de bourse DGA/CNRS), participants : M. Ortner, X. Descombes, J. Zerubia.

7.4. Contrat Alcatel Space Cannes

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

8. Actions régionales, nationales et internationales

8.1. Actions régionales

- Séminaires croisés entre les projets Ariana (exposé de K. Brady) et Epidaure (exposé de J. Stoekel) en Mars 2002.
- C. Lacombe a participé aux rencontres Nice-Toulon-Marseille de Mathématiques appliquées en avril 2002.
- M. Ortner a donné un séminaire à Alcatel Space à Cannes en Août 2002.
- L. Blanc-Féraud et J. Zerubia ont participé à une action Colors de l'INRIA avec l'Observatoire de la Côte d'Azur (A. Bijaoui), intitulée « Déconvolution d'images astronomiques et satellitaires par paquets d'ondelettes complexes » de mars à septembre 2002.
- J. Zerubia a présidé le jury du DEA SICIV en septembre 2002.

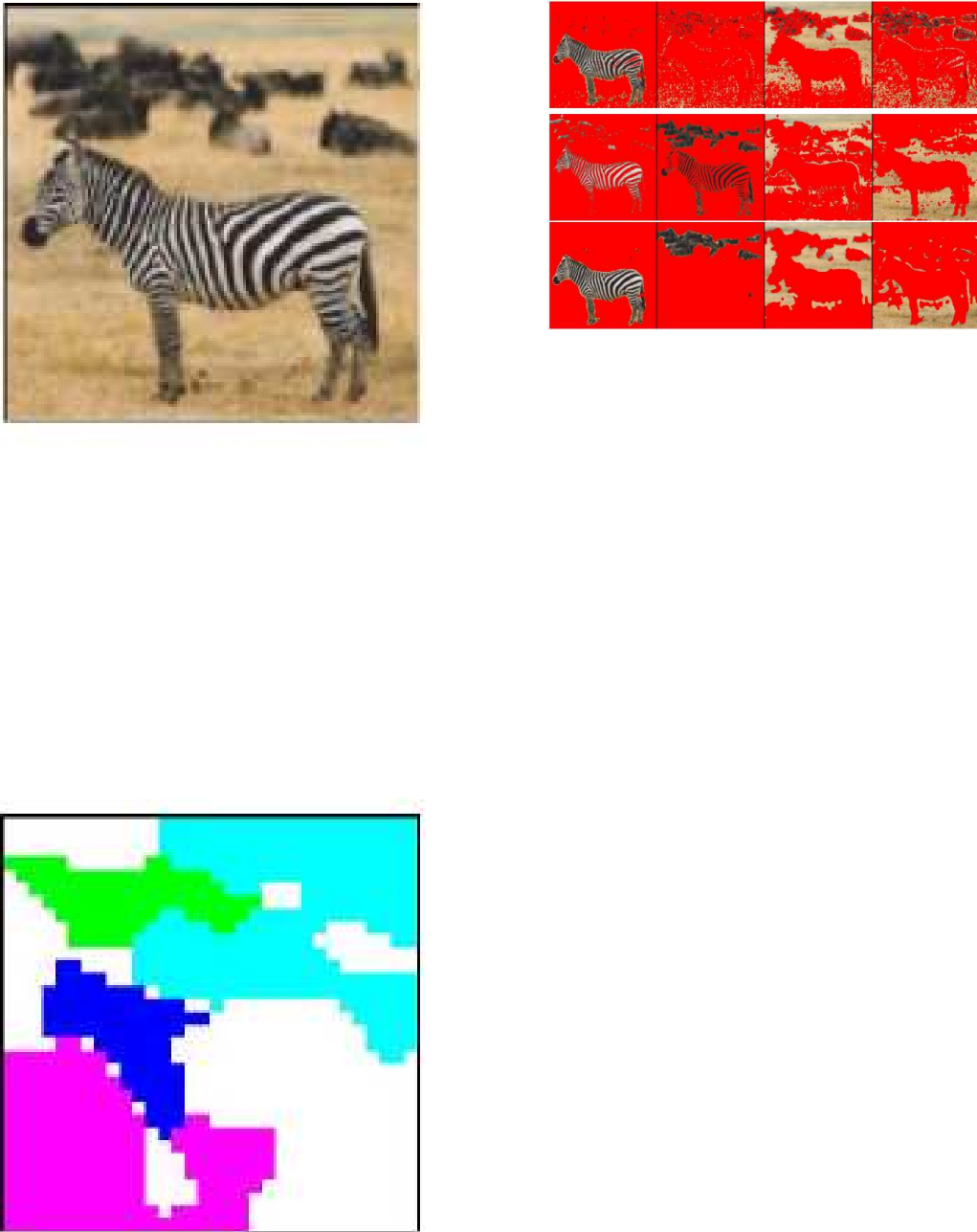


Figure 15. A gauche : image originale et régions trouvées par MSI. A droite : résultats (texture ; couleur ; couleur et texture).

8.2. Actions nationales

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

Comme les années précédentes, le projet Ariana a participé aux TIPE des classes préparatoires. Cette année, le thème traité était la télédétection et de la reconstruction 3D.

- Action Math/STIC du CNRS débutée fin 2001, intitulée « Annotations visuelles », rassemblant l'ENS Cachan (L. Younes, D. Geman), Paris XIII (A. Trouvé) et le projet Ariana (J. Zerubia, I. Jermyn).
- Action Math/STIC du CNRS débutée mi 2002, intitulée « Classification d'images par méthodes variationnelles et équations aux dérivées partielles », entre le Laboratoire Jean-Alexandre Dieudonné de l'Unsa (G. Aubert) et le projet Ariana (L. Blanc-Féraud).
- C. Lacoste a participé au MIA à Paris, en septembre 2002 et a fait un séminaire au BRGM à Orléans en octobre 2002.
- G. Rellier a fait un séminaire à la journée « imagerie hyperspectrale » à la DGA/CTA à Arcueil, en juin 2002.
- E. Villéger a participé au MIA à Paris, en septembre 2002.
- F. Cerdat a participé aux journées vision 3D organisées par l'IGN et l'ENSG à Marne la Vallée, en mai 2002.
- J.F. Aujol a participé au CANUM à Anglet en mai 2002, à un séminaire étudiant au MIP à l'Université Paul Sabatier Toulouse en mai 2002, au Cemracs : « Mathematical methods in image processing » à Paris en juillet 2002 et au MIA à Paris, en septembre 2002.
- M. Ortner a présenté un poster à la journée des thésards DGA au CTA à Arcueil en mars 2002, il a fait un séminaire au BRGM et a participé au MIA à Paris, en septembre 2002.
- C. Lacombe a participé au CANUM à Anglet en mai 2002.
- I. Jermyn a participé au MIA à Paris, en septembre 2002.
- X. Descombes a participé aux journées de l'IGN, en mars 2002.
- L. Blanc-Féraud a assisté au Colloque Autosimilarité et Applications organisé par le Cemagref à Clermont-Ferrand en mai 2002. Elle a donné un séminaire au Laboratoire d'Electronique, Informatique et Image (LE2I) à Dijon, en février 2002. Elle fait partie de l'Action Spécifique Fouille d'image acceptée par le CNRS en juillet 2002 pour un an.
- J. Zerubia a assisté à la journée « imagerie hyperspectrale » à la DGA/CTA à Arcueil, en juin 2002. Elle a également visité des laboratoires et/ou fait des séminaires à l'université de Bordeaux, à l'Institut Pasteur à Paris, chez Astrium à Toulouse, au CNES à Toulouse, chez Thalès à Bagneux et à Alcatel Space à Cannes.
- Le projet a participé activement aux visites des étudiants des grandes écoles à l'INRIA Sophia Antipolis (ENS, Ecole Polytechnique, Centrale, Sup'Aéro...).

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 Odyssée et Epidaure de l'INRIA.

8.4. Actions internationales

- C. Lacoste a passé une semaine et donné un séminaire au CWI (M.C. Van Lieshout) à Amsterdam aux Pays-Bas, en mai 2002.

- J.F. Aujol a participé au workshop sur les équations de Hamilton-Jacobi à Cortona en Italie, en juin 2002.
- K. Brady a assisté à une réunion du projet européen MOUMIR à Dublin en Irlande, en mars 2002 et elle a présenté un poster à la journée des thésards MOUMIR à Thessalonique en Grèce, en octobre 2002. (K. Brady était la responsable de l'organisation de cette journée pour le projet européen).
- E. Villéger a passé une semaine à l'université de Barcelone (V. Caselles) en Espagne, en novembre 2002.
- A. Vergnaud s'est rendu une semaine à l'université de Grenade (R. Molina) en Espagne, en juillet 2002.
- M. Ortner a assisté à la journée « radar RSO » organisée par le DLR et le CNES à Oberpfaffenhoffen en Allemagne, en octobre 2002.
- I. Jermyn a assisté à deux réunions du projet européen MOUMIR à Dublin en Irlande, mars 2002 et à Thessalonique en Grèce en octobre 2002. Il a assisté à une réunion du groupe de travail ERCIM « Image Understanding » à Vienne en Autriche, en juin 2002.
- X. Descombes s'est rendu 2 semaines à l'IITP à Moscou en Russie en juillet 2002 dans le cadre d'une collaboration soutenue par l'Institut Lyapunov. De plus, il a co-organisé le colloque IPRM (« Image Processing and Mathematical Related Fields ») qui s'est déroulé à l'Université d'Etat de Moscou du 1 au 5 juillet 2002.
- L. Blanc-Féraud a donné un séminaire au CNR Istituto per le Applicazioni del Calcolo à Rome en Italie, en avril 2002. Elle a assisté à la journée « radar RSO » organisée par le DLR et le CNES à Oberpfaffenhoffen en Allemagne, en octobre 2002.
- J. Zerubia a fait 2 séjours au CWI à Amsterdam aux Pays-Bas, en février et décembre 2002 pour assister à 2 réunions du groupe de travail ERCIM « Image understanding » et pour travailler avec M.C. Van Lieshout et R. Stoica dans le cadre de la collaboration soutenue par le NWO et l'INRIA. Elle a participé à la réunion du projet européen MOUMIR à Dublin en mars 2002, elle a passé une semaine à l'université d'Etat de Moscou et à l'IITP (Académie des Sciences de Russie), en juillet 2002 dans le cadre d'une collaboration soutenue par l'Institut Lyapunov. Elle s'est rendue à l'université de Venise à Mestre en Italie, en octobre 2002. Elle a été invitée à donner une conférence plénière à la conférence européenne EUSIPCO à Toulouse en septembre 2002. Enfin, elle a présenté les travaux du projet Ariana lors d'une visite du Dr Masato Tanaka, du « Communications Research Laboratory » (Organisme sous la tutelle du Ministère des Télécoms du Japon), en novembre 2002.

8.5. Actions bilatérales internationales

- Collaboration avec le centre de mathématiques appliquées CWI, Pays-Bas, soutenue par le NWO et l'INRIA (ERCIM), responsable : J. Zerubia.
- Collaboration avec l'IITP et l'université d'Etat de Moscou, Russie, soutenue par l'Institut Lyapunov, responsable : J. Zerubia.
- Collaboration avec l'UNAM de Mexico, Mexique, soutenue par le CONACYT responsable : X. Descombes.

9. Diffusion des résultats

9.1. Animation de la communauté scientifique

Le projet Ariana a organisé un séminaire de traitement d'image au cours de l'année 2002. 17 professeurs ou chercheurs invités ont été accueillis provenant des pays suivants : Canada, Etats-Unis, Allemagne, Portugal, Suisse, Pays-Bas, Belgique, Espagne, France. Pour plus d'informations sur ces séminaires, consulter le site internet : <http://www.inria.fr/ariana/>.

- I. Jermyn est membre du Comité du Suivi Doctoral de l'INRIA Sophia Antipolis, relecteur pour les revues IEEE PAMI, IEEE IP, IEEE SP et pour les conférences ECCV'02, ICIP'02 et ACIVS'02.
- X. Descombes est membre du comité Colors de l'INRIA Sophia Antipolis et relecteur pour les revues IEEE IP, IEEE TMI, IEEE PAMI et Traitement du Signal.
- L. Blanc-Féraud est membre du comité des projets du laboratoire I3S et membre de la CSE 61ème section de l'Unsa. Elle est membre du comité de pilotage du RTP 25 du CNRS. Elle est relecteur pour les revues IEEE PAMI, IEEE IP, Signal Processing, Traitement du Signal, Journal of computational Physics et pour les conférences ECCV'02, ICIP'02, ACIVS'02.
- J. Zerubia a été nommée « Chevalier de l'Ordre National du Mérite » sur proposition du ministre de la recherche, en mai 2002 et « IEEE Fellow » en novembre 2002. Elle est membre du comité des projets de l'INRIA Sophia Antipolis. Elle est membre du comité technique IMDSP de l'IEEE SP Society », membre du « Board of Governors » de l'IEEE SP Society. Elle a été éditeur associé d'IEEE IP de 1998 à 2002, elle sera « Area Editor » d'IEEE IP en 2003, elle est « guest editor » d'un numéro spécial de IEEE PAMI à paraître en 2003. Elle est membre du comité de rédaction du bulletin de la SFPT, relecteur pour les revues IJCV, IEEE SP, IEEE PAMI, IEEE IP, Pattern Recognition, Signal Processing et Traitement du Signal. Josiane Zerubia a fait partie des comités de programme et été relecteur des conférences suivantes : ICASSP'02, ECCV'02, ICIP'02. Elle a été présidente de session à ICASSP'02, EUSIPCO'02 et ICIP'02 et a été « general co-chair » du colloque IPRM (« Image Processing and Related Mathematical Fields ») qui s'est déroulé à Moscou en Russie en juillet 2002.

9.2. Enseignement

- C. Lacombe : TD DEUG de mathématiques informatique (64h), TD ESSI (30h) et DESS IMAFA à l'ESSI (13h)
- E. Villéger : TD de mathématiques à l'IUT de Nice (64h).
- C. Lacoste : TP de traitement d'image à l'ESINSA Sophia Antipolis (10,5h).
- J.F. Aujol : TD de mathématiques pour le traitement d'image à l'IUT de Nice (33h).
- M. Rochery : TP de Matlab à l'ESINSA de Sophia Antipolis (24h).
- I. Jermyn : ESINSA (6h), Sup'Aéro (2,5h).
- X. Descombes : DEA Astrophysique de l'UNSA (9h), DEA environnement tropical à l'UAG (17h), ESINSA (15h), Sup'Aéro (15h).
- J. Zerubia : DEA SIC de l'UNSA Nice, responsable du module sur les champs de Markov en traitement d'image (15h enseignées) ; DEA Astrophysique et Sciences de l'Univers de l'UNSA Nice, responsable du module sur la télédétection (15 heures dont 6h enseignées) et participation au module sur la classification (3h enseignées), DEA environnement tropical à l'UAG, responsable du cours sur les champs de Markov et la télédétection (17h enseignées) ; Sup'Aéro Toulouse : responsable du cours « Filtrage et Segmentation » (40h dont 20h enseignées) et participation aux « méthodes variationnelles en traitement d'image » (2,5h enseignées).
- X. Descombes a été membre de 2 jurys de thèse de doctorat.
- L. Blanc-Féraud a été rapporteur de 2 thèses de doctorat.
- J. Zerubia a été membre de 2 jurys de thèse et rapporteur de 2 thèses de doctorat.

9.3. Thèses

Le projet est équipé d'accueil de doctorants ou stagiaires de DEA des formations doctorales suivantes : DEA SICIV (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, soutenance prévue en 2004.

2. Karen Brady, *Segmentation d'image texturée par modèles stochastiques multi-échelle*, université de Nice-Sophia Antipolis, soutenance prévue en 2003.
3. Caroline Lacombe, *Interférométrie radar RSO par méthodes variationnelles*, université de Nice-Sophia Antipolis, soutenance prévue en 2003.
4. Caroline Lacoste, *Mise à jour cartographique des réseaux linéiques en fusion de données par processus Markov objet*, université de Nice-Sophia Antipolis., soutenance prévue en 2004
5. Mathias Ortner, *Analyse urbaine à partir de modèles numériques d'élévation par processus Markov objet*, université de Nice-Sophia Antipolis, soutenance prévue en 2004.
6. Marie Rochery, *Contours actifs d'ordre supérieur et leur application à la détection de linéiques sur des images de télédétection*, université de Nice-Sophia Antipolis, soutenance prévue en 2005.
7. Emmanuel Villéger, *Evolution de sous-variétés de R^n à l'aide de la fonction vecteur distance*, université de Nice-Sophia Antipolis, soutenance prévue en 2004.
8. 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, soutenance prévue en 2003.

Thèses soutenues en 2002 :

1. Guillaume Rellier, *Analyse de texture dans l'espace hyperspectral par méthodes probabilistes multi-échelle*, université de Nice-Sophia Antipolis, (08/11/02)
2. Sébastien Drot, *Segmentation d'images d'observation de la Terre par des techniques de géométrie stochastique*, université de Nice-Sophia Antipolis, (05/12/02)

10. Bibliographie

Thèses et habilitations à diriger des recherche

- [1] S. DROT. *Segmentation d'images d'observation de la Terre par des techniques de géométrie probabiliste*. thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, décembre, 2002.
- [2] G. RELIER. *Analyse de texture dans l'espace hyperspectral par des méthodes probabilistes*. thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, novembre, 2002.

Articles et chapitres de livre

- [3] X. DESCOMBES, J. ZERUBIA. *Marked Point Processes in Image Analysis*. in « IEEE Signal Processing Magazine », numéro 5, volume 19, 2002.
- [4] H. FOROOSH, J. ZERUBIA, M. BERTHOD. *Extension of phase correlation to subpixel registration*. in « IEEE Trans. on Image Processing », numéro 3, volume 11, 2002.
- [5] A. JALOBEANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA. *Hyperparameter estimation for satellite image restoration using MCMC Maximum Likelihood method*. in « Pattern Recognition », numéro 2, volume 35, 2002.
- [6] G. RELIER, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA. *Local registration and deformation of a road cartographic database on a SPOT Satellite Image*. in « Pattern Recognition », numéro 10, volume 35, 2002.
- [7] 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 through applications », WITPress, 2002.

- [8] J. ZERUBIA, A. JALOBÉANU, Z. KATO. *Markov random fields in image processing, application to remote sensing and astrophysics*. in « Journal de Physique, EDP Sciences », numéro 12, volume IV, 2002.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [9] S. DROT, X. DESCOMBES, H. LE MEN, J. ZERUBIA. *Object Point Processes for Image Segmentation*. in « ICPR », Québec, Canada, août, 2002.
- [10] A. JALOBÉANU, L. BLANC-FÉRAUD, J. ZERUBIA. *Estimation of blur and noise parameters in remote sensing*. in « ICASSP », Orlando, USA, mai, 2002.
- [11] A. JALOBÉANU, R. NOWAK, J. ZERUBIA, M. FIGUEIREDO. *Satellite and aerial image deconvolution using an EM method with complex wavelets*. in « ICIP », Rochester, USA, septembre, 2002.
- [12] I. JERMYN, C. SHAFFREY, N. KINGSBURY. *Evaluation Methodologies for Image Retrieval Systems*. in « ACIVS », Ghent, Belgique, septembre, 2002.
- [13] F. KRUGGEL, C. CHALOPIN, X. DESCOMBES, V. KOVALEV, J. RAJAPAKSE. *Segmentation of Pathological Features in MRI Brain Datasets*. in « ICONIP, invited paper », Singapore, novembre, 2002.
- [14] L. LACOMBE, P. KORNPBST, G. AUBERT, L. BLANC-FÉRAUD. *A variational approach to one dimensional phase unwrapping*. in « ICPR », Québec, Canada, août, 2002.
- [15] G. RELIER, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, F. FALZON. *A Gauss-Markov Model for Hyperspectral Texture Analysis of Urban Areas*. in « ICPR », Québec, Canada, août, 2002.
- [16] C. SHAFFREY, I. JERMYN, N. KINGSBURY. *Psychovisual Evaluation of Image Segmentation Algorithms*. in « ACIVS », Ghent, Belgique, septembre, 2002.
- [17] C. SHAFFREY, N. KINGSBURY, I. JERMYN. *Unsupervised Image Segmentation via Markov Trees and Complex Wavelets*. in « ICIP », Rochester, USA, septembre, 2002.
- [18] O. VIVEROS-CANCINO, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, N. BAGHDADI. *Fusion of Radiometry and Textural Information for SIRC Image Classification*. in « ICIP », Rochester, USA, septembre, 2002.
- [19] S. WILSON, J. ZERUBIA. *Unsupervised segmentation of textured satellite and aerial images with Bayesian methods*. in « EUSIPCO », Toulouse, France, septembre, 2002.
- [20] J. ZERUBIA. *Image processing for high resolution satellite and aerial data*. in « conférence plénière EUSIPCO », Toulouse, France, septembre, 2002.

Rapports de recherche et publications internes

- [21] G. AUBERT, L. BLANC-FÉRAUD, R. MARCH. *Γ -Convergence of Discrete Functionals with non Convex Perturbation for Image Classification*. rapport de recherche, numéro 4560, Inria, septembre, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4560.html>.

-
- [22] J. AUJOL, G. AUBERT. *Signed distance functions and viscosity solutions of discontinuous Hamilton-Jacobi Equations*. rapport de recherche, numéro 4507, Inria, juillet, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4507.html>.
- [23] J. AUJOL, G. AUBERT, L. BLANC-FÉRAUD. *Supervised classification for textured images*. rapport de recherche, numéro 4640, Inria, novembre, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4640.html>.
- [24] I. JERMYN. *On Bayesian Estimation in Manifolds*. rapport de recherche, numéro 4607, Inria, novembre, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4607.html>.
- [25] C. LACOMBE, G. AUBERT, F. BLANC-FÉRAUD. *Mathematical statement to one dimensional phase unwrapping : a variational approach*. rapport de recherche, numéro 4521, Inria, juillet, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4521.html>.
- [26] C. LACOSTE, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA. *A Comparative Study of Point Processes for Line Network Extraction in Remote Sensing*. rapport de recherche, numéro 4516, Inria, juillet, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4516.html>.
- [27] M. ORTNER, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA. *Building Extraction from Digital Elevation Model*. rapport de recherche, numéro 4517, Inria, juillet, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4517.html>.
- [28] G. RELIER, X. DESCOMBES, F. FALZON, J. ZERUBIA. *Analyse de texture hyperspectrale par modélisation markovienne*. rapport de recherche, numéro 4479, Inria, juin, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4479.html>.
- [29] O. VIVEROS-CANCINO, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA. *Analyse intra-urbaine à partir d'images satellitaires par une approche de fusion de données sur la ville de Mexico*. rapport de recherche, numéro 4578, Inria, octobre, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4578.html>.