
Projet PASTIS

Projet d'Analyse de Scènes et Traitement d'Images Symboliques

Localisation : *Sophia Antipolis*

Mots-clés : analyse de scène, reconnaissance de forme, vision 3D, système à base de connaissances, champs de Markov, réseaux neuromimétiques, télédétection, interprétation de scène, observation de la terre, cartographie.

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Josiane Zerubia, DR Inria

Secrétaire

Françoise Gouttier, TR, à temps partiel, jusqu'au 1^{er} juillet 1996
Corinne Zuzia, à temps partiel depuis le 1^{er} juillet 1996

Personnel Inria

Marc Berthod, DR, à temps partiel
Véronique Clément, CR, jusqu'au 31 décembre 1995
David Geldreich, IR
Gérard Giraudon, DR, à temps partiel
Shan Yu, CR

Chercheurs invités

Laszlo Czuni, SZTAKI, Académie des Sciences de Hongrie (hu), 12 jours en juillet
Tamás Szirányi, SZTAKI, Académie des Sciences de Hongrie (hu), 12 jours en novembre
Michael Unser, chercheur au NIH, Bethesda, USA, 2 mois en juin-juillet

Ingénieurs experts

Frédéric Falzon, jusqu'au 1^{er} septembre 1996
Sandrine Mathieu-Marni, jusqu'au 31 décembre 1995

Chercheurs post-doctorants

Xavier Descombes, boursier post-doc Inria du 1/01/96 au 30/09/96
Robin Morris, boursier HCM jusqu'en octobre 1996
Fadi Sandakly, post-doc industriel ILOG jusqu'en avril 1996

Chercheurs doctorants

Jean-Michel Benharrosh, boursier CIFRE AÉROSPATIALE depuis février 1995
 Stéphane Dupont, boursier CIFRE ISTAR
 Jérôme Kalifa, boursier INRIA
 David Labrousse, boursier INRIA jusqu'en septembre 1996
 Jean-Luc Lotti, boursier PACA-INRIA jusqu'en février 1996
 Bruno Serra, ingénieur Aérospatiale jusqu'en avril 1996
 Hassan Shekarforoush, boursier MENESR
 Stéphane Tavitian, boursier HCM
 Sabine Urigo, boursière MENESR jusqu'en janvier 1996
 Espen Volden, boursier du gouvernement Norvégien
 Bruno Vaselle, boursier X jusqu'en décembre 1995
 Eric Zekri, boursier INRIA

Collaborateur extérieur

Konrad Weigl, consultant extérieur

Autres personnels

Erik Carletti, stagiaire de DEA jusqu'en juin 1996
 Sébastien Drot, stagiaire de DEA jusqu'en août 1996
 Laurent Gatineau, stagiaire de DEA jusqu'en juin 1996
 Anne Lorette, stagiaire de DEA jusqu'en septembre 1996
 Renaud Savalle, scientifique du contingent jusqu'en 31 octobre 1996

2 Présentation du projet

Le domaine de recherche du projet PASTIS est l'interprétation d'images. Il s'agit en fait d'extraire l'information symbolique des images, en utilisant un certain niveau de raisonnement conscient : une image est de ce point de vue une base de données qu'on tente d'interroger. Les problèmes posés sont ceux de la vision préattentive, de la mise en œuvre de systèmes à base de connaissances; et plus généralement de l'intégration de ces différents niveaux et de leur contrôle pour la mise en œuvre de processus de *vision intentionnelle*.

Le thème prioritaire d'application est l'imagerie naturelle, plus particulièrement l'observation de la terre avec une grande variété de capteurs (visible, IR, radar) et de résolutions (images satellitaires et aériennes).

L'interprétation d'images satellitaires pose des problèmes à différents niveaux :

- l'extraction de caractéristiques locales pertinentes dans les images en fonction des buts recherchés, qui constitue la première étape de tout processus de perception visuelle,
- l'interprétation proprement dite, à partir de ces caractéristiques locales extraites d'images provenant éventuellement de capteurs différents, et en utilisant si possible des connaissances a priori, de nature symbolique, sur la nature des objets à extraire (ce qui met en jeu des processus de raisonnement expert, et implique de la fusion de données).

De manière générale, le lien entre le raisonnement de haut niveau et la vision préattentive, à travers le choix des caractéristiques à extraire et le paramétrage des algorithmes d'extraction, constitue la problématique centrale du projet. Par ailleurs, comme dans tout processus de vision, les données images sont une représentation bidimensionnelle d'une réalité tridimensionnelle. La reconstruction, en général nécessaire, de cette dimension perdue (le relief du sol, en l'occurrence) pose aussi des problèmes particuliers.

Les thèmes de recherche abordés par l'équipe Pastis sont ainsi les suivants :

- modélisation par champs de Markov, et élaboration de critères objectifs permettant de formaliser les problèmes comme des problèmes inverses (débouchant sur des techniques de régularisation puis d'optimisation),
- analyse multi-échelle des formes,
- méthodes s'inspirant de la psychologie de la vision (en particulier groupage perceptuel), et plus généralement neuromimétiques,
- formalisation de connaissances expertes ayant trait aux stratégies d'interprétation, aux objets physiques et au paramétrage des algorithmes, pour le raisonnement en vision.

3 Actions de recherche

3.1 Reconstruction du relief

3.1.1 Stéréovision haute résolution et groupement pour l'extraction de facettes

Participants : Erik Carletti, Gérard Giraudon, Jean-Luc Lotti

Mots-clés : vision 3D, analyse de scène, observation de la terre.

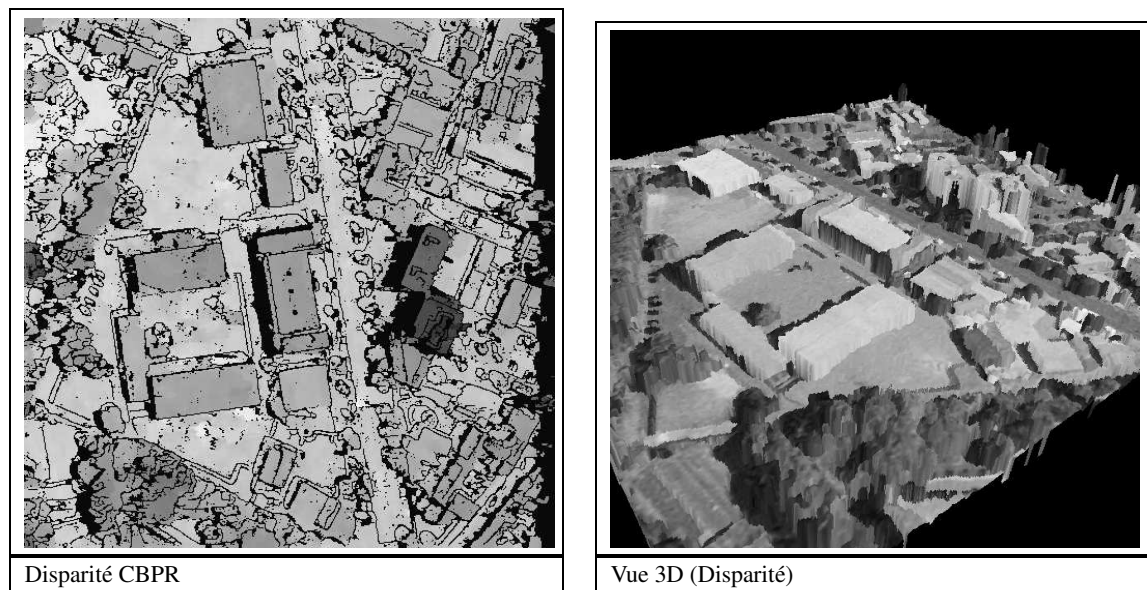


Figure 1: Résultat sur Montreuil (Source IGN)

Il est clairement évident que le besoin en données tridimensionnelles très haute résolution de la surface terrestre va aller en très forte croissance. Or, aujourd'hui, aucun système automatique n'est apte à résoudre totalement le problème de la création automatique de *MNT (Modèle Numérique de Terrain)* en milieu urbain, de résolution sub-métrique avec une bonne localisation des ruptures d'altitude. Le but de la thèse de J.L. Lotti était de contribuer à apporter des solutions à ce problème en utilisant d'une part une approche combinant les méthodes d'appariement basée-surface (MBS) et basée-primitive (MBP) et d'autre part des fenêtres multiples de forme et de taille adaptatives pour la réalisation de cartes denses de disparité destinées à la réalisation de MNT urbain.

La fin du travail de J.L. Lotti a consisté à améliorer l'utilisation du code existant et à faire tourner le programme sur un très grand nombre d'exemples afin d'avoir des résultats quantitatifs conséquents. Les derniers résultats obtenus sont montrés dans les figures 1, 2 et 4.

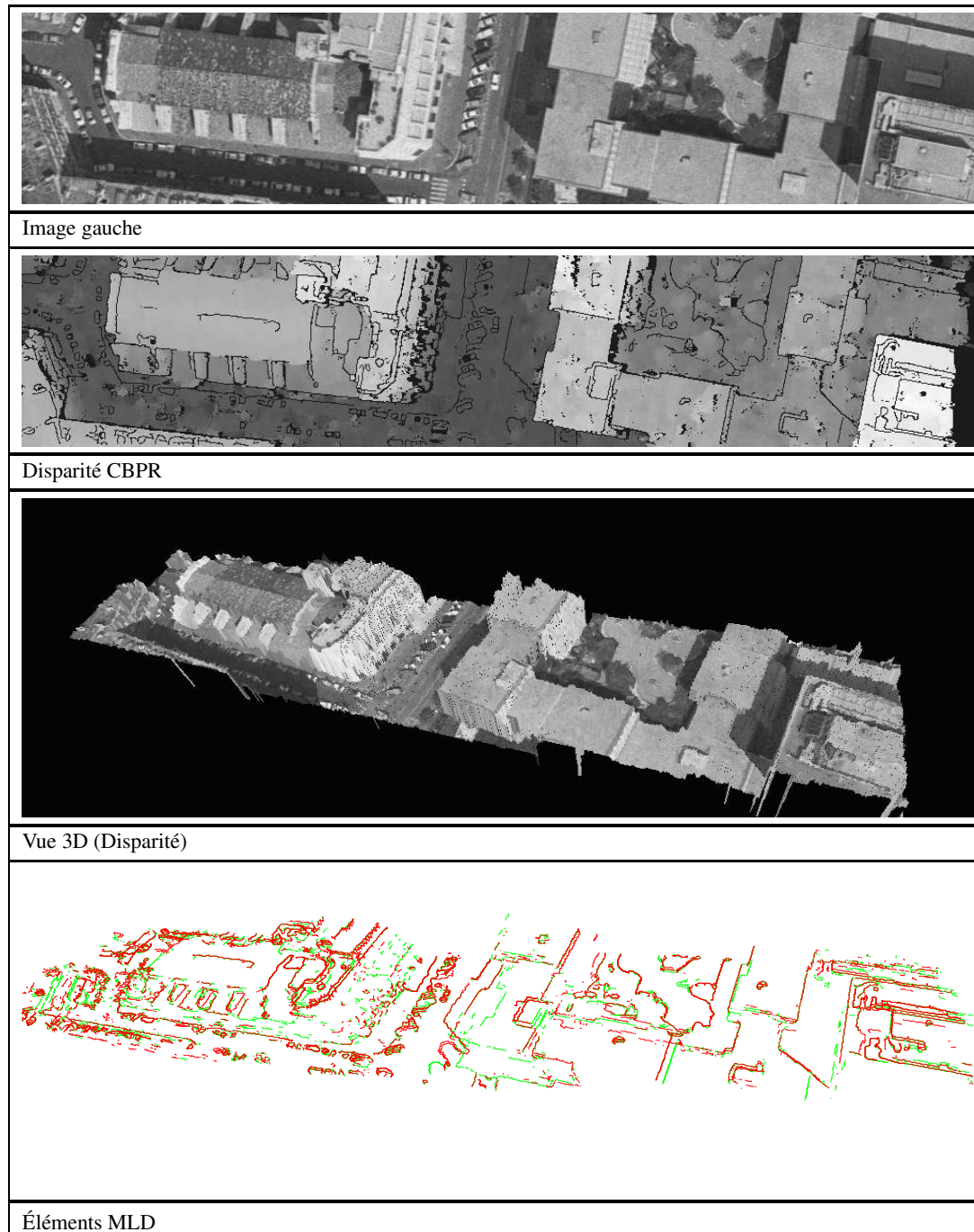


Figure 2: Résultat sur Marseille (Source ISTAR)

Le but du stage de DEA de E. Carletti était d'essayer d'extraire à partir de ces informations tridimensionnelles (MNT dense et chaînes de contour 3D) des informations symboliques comme les toits des bâtiments. Deux choix étaient possibles : soit effectuer une segmentation du MNT avec un critère d'homogénéité d'altitude, soit effectuer un groupement géométrique à partir des contours 3D. Compte tenu de la présence possible de toit en pente, il nous a semblé préférable de commencer par essayer de mettre en œuvre la deuxième approche puis de valider les groupements obtenus en utilisant l'information dense du MNT.



Figure 3: Paire d'images stéréoscopiques (ISPRS/Flat)

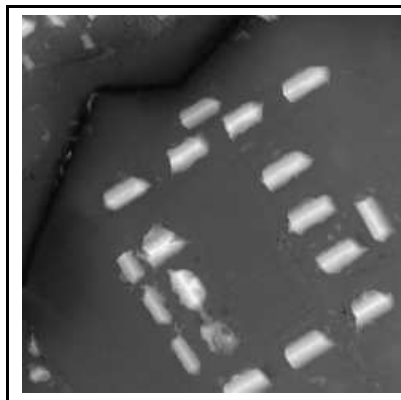


Figure 4: Carte de disparité (ISPRS/Flat)

3.1.2 Déroulement de phase en interférométrie SAR

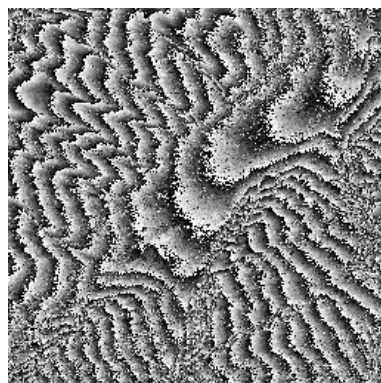
Participants : Marc Berthod, David Labrousse

Mots-clés : vision 3D, champs de Markov, observation de la terre.

Le déroulement de phases interférométriques SAR (Synthetic Aperture Radar) constitue, d'un point de vue algorithmique, l'étape la plus importante dans la chaîne de traitement qui produit des MNT à partir de données SAR. L'approche markovienne permet de redéfinir de manière probabiliste les deux contraintes du problème (*régularité* et *congruence*). Ainsi, le problème admet toujours au moins une solution, appelée configuration optimale, déterminée à l'aide d'algorithmes de recuit simulé. La contrainte de régularité correspond à un modèle de reconstruction de surfaces, avec le problème classique des ruptures de continuité et la contrainte de congruence correspond à un modèle d'attache aux données (i.e. un interférogramme).

Cette application, apparemment classique, des champs de Markov se caractérise par le fait que le terme d'attache aux données est de nature périodique (de période 2π) et non, comme c'est généralement le cas, de nature quadratique, ce qui rend la fonction d'énergie à optimiser plus chaotique et donc la recherche d'une configuration optimale plus problématique.

Le travail a donc consisté à concevoir des algorithmes de relaxation stochastiques adaptés au problème (approche « gradient », approche « région » et approche « multigrille »). Nous avons également défini de nouveaux modèles (modèle en « croix » ou en « carré ») ou des modèles adaptatifs utilisant des données spécifiques au SAR (images de cohérence) [584].



Interférogramme ERS-1 (Interlaken, Suisse (ch))

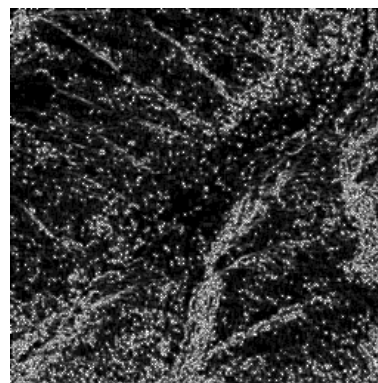
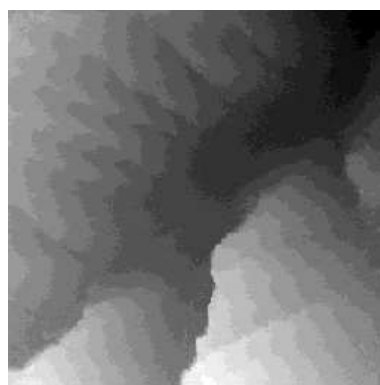


Image de cohérence



Phase déroulée

Figure 5: Résultats du déroulement de phases interférométriques

Ces différentes améliorations ont permis d'obtenir des résultats de déroulement de phases (voir figure 5) particulièrement intéressants, rendant l'approche markovienne tout à fait crédible par rapport aux autres méthodes proposées dans la littérature.

3.1.3 Simulation et amélioration de la génération de modèles numériques de terrain par interférométrie radar

Participants : Marc Berthod, Stéphane Dupont

Mots-clés : vision 3D, observation de la terre.

Un simulateur interférométrique, nommé SAMI (Simulateur Appliqué à la Modélisation Interférométrique), a été développé dans le cadre d'une bourse CIFRE avec la société ISTAR (P. Nonin, L. Renouard). Il est capable de générer à partir d'un MNT et de paramètres de prise de vue un *produit interférométrique* : une image d'amplitude moyenne du couple interférométrique, une image de différence de phases (appelée interférogramme) et une image de la cohérence de la phase entre les deux acquisitions. Il permet, par exemple, de tester les méthodes de reconstruction radar (voir [586]) ou de déroulement de phase (voir 3.1.2). Une dernière application consiste à recalibrer les orbites à l'échelle de la longueur d'onde en minimisant, par rapport aux paramètres de prise de vue, l'écart de phases déroulées entre l'interférogramme simulé et l'interférogramme réel correspondant (voir figure 6).

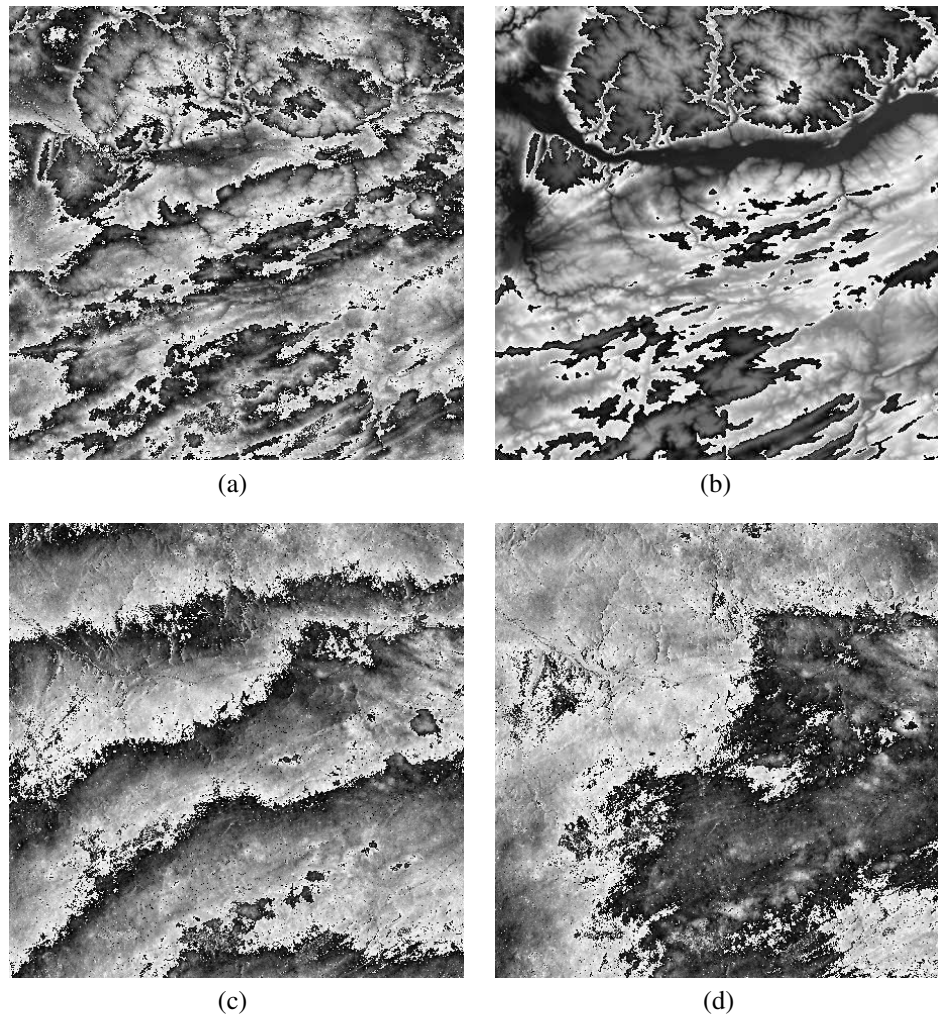


Figure 6: Exemple de recalage orbitale utilisant l'image des phases déroulées: (a) Interférogramme réel. (b) Interférogramme simulé. (c&d) Différence entre l'interférogramme réel et simulé avant et après le recalage. Les franges résiduelles sont vraisemblablement dues à des modifications entre les deux prises de vue du milieu atmosphérique traversé.

3.1.4 Prise en compte des discontinuités dans un algorithme de super-résolution

*Participant*es : Anne Lorette, Josiane Zerubia

Mots-clés : vision 3D, champs de Markov, observation de la terre.

Un algorithme de super-résolution a déjà été développé au sein du projet Pastis par H. Shekarforoush et al. pour la reconstruction d'images haute résolution (cf. rapport d'activité 95). Plus précisément, il permet de retrouver les informations 3D de la scène que sont l'albédo et l'altitude à partir d'une séquence d'images basse résolution présentant un décalage sous-pixélique. Cependant, le modèle défini ne tient pas compte des discontinuités présentes dans l'image. Nous avons donc introduit cette notion dans le modèle a priori afin d'améliorer la qualité de l'image. Pour cela, nous avons utilisé divers ϕ -modèles au lieu du modèle gaussien classiquement employé pour la régularisation. Nous avons donc modifié les contraintes imposées à la solution. La figure 7 donne un exemple des résultats obtenus sur l'albédo à partir d'une séquence de quatre images basse résolution bruitées à 15 dB.

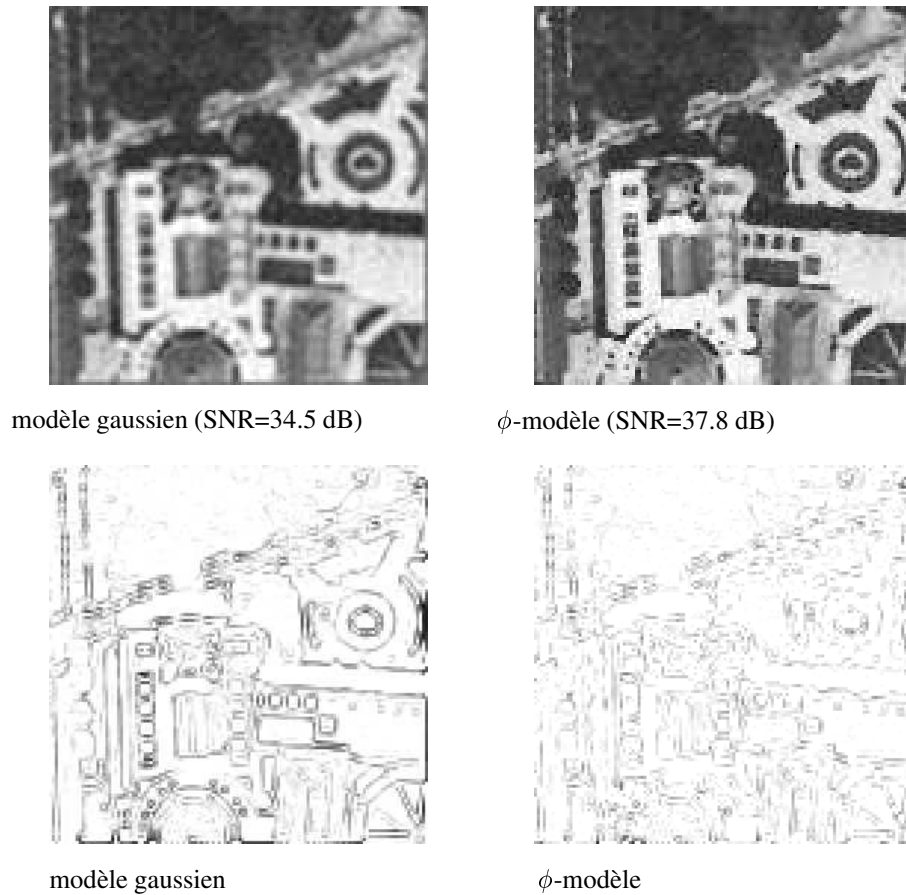


Figure 7: Reconstruction (en haut) et images des erreurs sur les discontinuités (en bas)

3.1.5 Mise en correspondance sous-pixélique par l'estimation de la somme des composantes polyphases

Participants : Marc Berthod, Hassan Shekarforoush, Josiane Zerubia

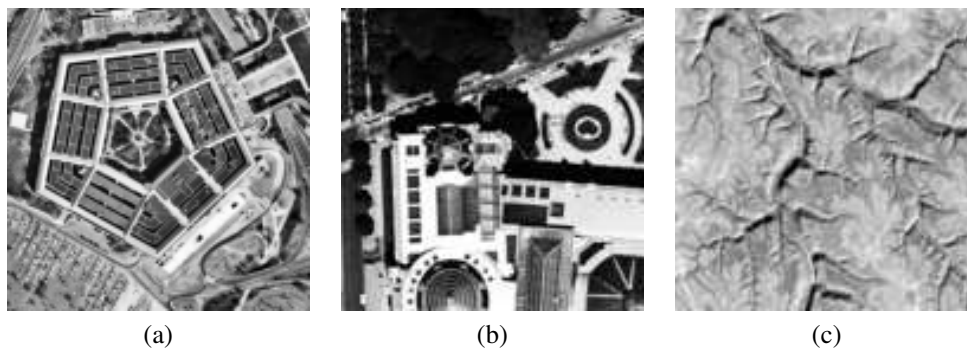


Figure 8: Exemples d'images utilisées pour la simulation: (a) & (b), images aériennes du Pentagone et de Paris, (c) image SPOT

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à une mise en correspondance sous-pixélique d'images aériennes ou satellitaires, sans avoir recours à l'interpolation. Cette recherche, qui se situe dans le cadre de la super-résolution (voir les rapports d'activités de 1994 et 1995), est une étape cruciale qui permet

Image	$(\Delta x, \Delta y)$	Estimées
Pentagone	(0.50, -0.50)	(0.48, -0.51)
	(0.25, 0.50)	(0.28, 0.49)
	(-0.25, -0.50)	(-0.25, -0.52)
	(0.0, 0.75)	(0.0, 0.80)
Paris	(0.167, -0.5)	(0.152, -0.49)
	(0.67, 0.25)	(0.69, 0.33)
	(-0.33, -0.167)	(-0.32, -0.15)
	(0.33, 0.33)	(0.325, 0.32)
SPOT	(0.83, 0.25)	(0.84, 0.28)
	(0.33, -0.50)	(0.34, -0.52)
	(-0.83, 0.167)	(-0.83, 0.151)
	(0.25, 0.33)	(0.30, 0.33)

Tableau 1: Tableau des résultats

l'application du théorème d'échantillonnage non-uniforme de Papoulis pour la fusion d'informations à basse résolution. La méthode de mise en correspondance sous-pixélique proposée est fondée sur la corrélation de phase, qui offre une robustesse remarquable au bruit corrélé et à la variation de luminance. Nous avons démontré que le spectre de puissance croisé de deux images sous-échantillonnées et contenant des décalages sous-pixéliques est une décomposition polyphase de la fonction de Dirac filtrée par un filtre passe-bas idéal. Les décalages sous-pixéliques sont donc obtenus en estimant la somme des composantes polyphases.

La figure 8 et le tableau 1 montrent un exemple des résultats obtenus sur des images aériennes et satellitaires.

3.2 Modélisation par champs de Markov

3.2.1 Groupement perceptuel de contours par méthode markovienne

Participants : Marc Berthod, Sabine Urago, Josiane Zerubia

Mots-clés : champs de Markov, analyse de scène, observation de la terre.

Nous avons mis au point un algorithme de restauration d'images de contours incomplets utilisant une modélisation markovienne. Cette méthode présente une coopération entre les contours, obtenus à l'aide du détecteur de Canny-Deriche, et les régions définies à partir d'un algorithme « fusion-éclatement ».

Nous définissons certains critères à minimiser afin de compléter les parties manquantes et nous les insérons dans une fonction d'énergie. Cet algorithme de prolongation des lignes de contours a pour contrainte de ne pas prolonger un contour dans une zone homogène.

De plus, pour justifier le choix de ces constantes, nous déterminons des contraintes sur les constantes incluses dans la fonction d'énergie, à l'aide de la méthode des « boîtes qualitatives ».

Pour optimiser la fonction d'énergie, nous mettons en œuvre des méthodes d'optimisation stochastique (l'échantillonneur de Gibbs) ou déterministe (ICM), qui permettent d'aboutir à une configuration stable dans laquelle les contours sont complétés.

Cette méthode a été mise en œuvre sur une machine à connexions (CM200). Elle a été testée sur différentes images satellitaires (SPOT) et permet d'obtenir des résultats de bonne qualité (cf. figure 9).

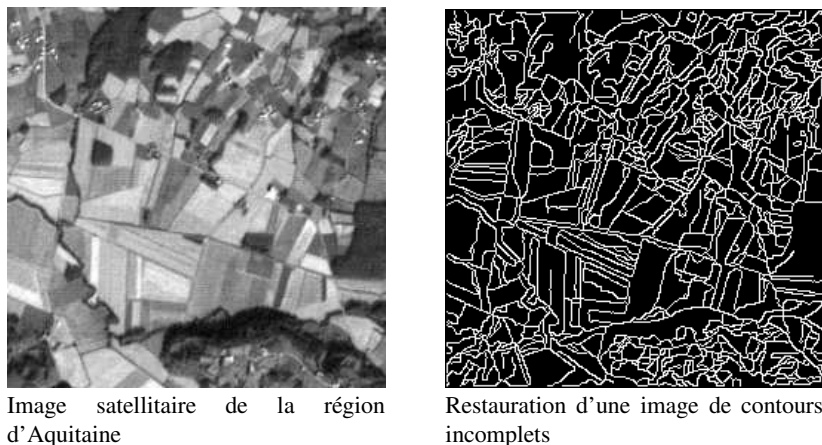


Figure 9: Groupement perceptuel par modèle markovien

3.2.2 Étude d'un modèle markovien hiérarchique pour la segmentation supervisée d'images SPOT

Participant : Xavier Descombes, Robin Morris, Josiane Zerubia

Mots-clés : champs de Markov, analyse de scène, observation de la terre.

Nous avons étudié différents aspects du modèle hiérarchique proposé par Z. Kato et al. (cf. rapport d'activité 95). En premier lieu, nous avons développé un algorithme d'optimisation fondé sur une dynamique de Swendsen-Wang. Les temps de calcul ont pu être ainsi considérablement réduits. Nous avons mis en évidence à partir de simulations un phénomène de transition de phase dans le modèle. Une approximation des paramètres critiques a été obtenue.

Par ailleurs, nous avons proposé et développé une procédure d'estimation des paramètres associés à ce modèle (voir 3.2.3).

3.2.3 Estimation au sens du Maximum de Vraisemblance pour la segmentation non-supervisée d'images SPOT

Participants : Xavier Descombes, Robin Morris, Josiane Zerubia

Mots-clés : champs de Markov, analyse de scène, observation de la terre.

Nous avons utilisé de récents développements en statistiques pour obtenir des estimateurs au sens du maximum de vraisemblance des paramètres associés au champ de Markov utilisé comme modèle *a priori* en segmentation d'images. Nous avons proposé un algorithme pour obtenir ces estimateurs et l'avons appliqué à quatre modèles : le modèle de Potts, une version inhomogène du modèle de Potts, le modèle hiérarchique de Z. Kato et al. et le chien-modèle de X. Descombes et al.

Cette étude a permis de mettre en évidence les contraintes réellement injectées à la solution par les différents modèles. En outre, les limites du modèle de Potts ont pu être mises à jour. L'algorithme d'estimation a été validé dans le cadre de la segmentation non-supervisée d'images SPOT.

L'implantation actuelle nécessite un temps de calcul relativement long (de quelques minutes pour le modèle de Potts à plusieurs heures sur une SS20 pour le Chien-modèle). Néanmoins, le temps de calcul est dû pour plus de 99 pourcent aux différents échantillonnages effectués au cours de l'algorithme. Une base de données contenant les quantités évaluées sur les échantillons permettrait de réduire le temps de calcul à moins d'une minute quel que soit le modèle.

3.2.4 Modélisation de la redondance d'images et application à la classification d'image

Participants : Marc Berthod, Gérard Giraudon, Renaud Savalle, Espen Volden

Mots-clés : champs de Markov, analyse de scène, observation de la terre.

Après avoir élaboré plusieurs modèles de la redondance de deux images satellitaires (cf. rapport d'activité 95), nous avons continué, cette année, le travail de recherche selon deux axes. Premièrement, nous avons abordé une application directement exploitable en télédétection, à savoir l'utilisation des modèles de redondance pour la classification d'image. Deuxièmement, nous avons travaillé sur le logiciel afin de le rendre plus robuste et d'en faire un outil transférable industriellement.

La redondance comme outil de classification :

l'idée de base est qu'une bonne classification doit contenir une grande partie de l'information contenue dans l'image d'origine, et que l'image et la classification doivent alors être fortement redondantes.

Après avoir formulé le cadre théorique, nous nous sommes intéressés à l'interprétation de cette méthode en termes de multiseuillage de l'histogramme. Nous avons effectué ensuite une étude empirique de l'influence des paramètres du modèle. L'algorithme s'est avéré stable pour de faibles variations du paramètre qui détermine la force relative des termes du lissage (champ de Markov) et de l'attache aux données (la redondance). Nous avons pu utiliser pour ce paramètre une seule valeur qui donne des résultats satisfaisants pour l'ensemble des images satellitaires testées. L'étude de l'influence de l'ordre du champ de Markov nous a amenés à choisir un champ markovien du premier ordre pour obtenir le meilleur rapport qualité/temps de calcul.

L'extension que nous avons faite de la méthode à la classification d'un ensemble d'images de la même scène est valable si l'erreur de recalage des images est au niveau d'un pixel. La classification de triplets SPOT XS1, XS2 et XS3 donne de bons résultats, mais rajouter une image ERS (SAR) avec une erreur de recalage de plusieurs pixels n'apporte aucune amélioration.

Développements logiciel :

Nous avons tout d'abord organisé les différents modèles de calcul de la redondance sous forme d'une bibliothèque facile à mettre en œuvre. Ces modèles diffèrent essentiellement par la prise en compte du voisinage des points considérés et par l'optimisation que permet une analyse combinatoire des données. Nous avons ensuite utilisé cette bibliothèque afin d'intégrer le critère de redondance dans des algorithmes de classification connus et utilisés dans l'équipe. Le portage a été réalisé d'une part sur Inrimage (développé par l'Inria) et d'autre part sur Khoros, un package de vision par ordinateur développé par l'université du Nouveau Mexique.

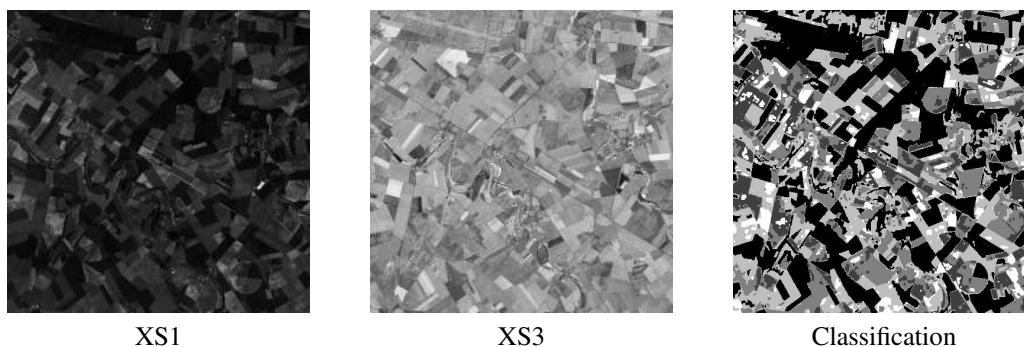


Figure 10: Résultat de la classification d'un triplet d'images SPOT XS1, XS2, XS3

3.2.5 Analyse d'images satellitaires par une méthode de fusion de données en utilisant des connaissances cartographiques et des contraintes d'utilisateurs

Participante : Shan Yu

Mots-clés : champs de Markov, cartographie, observation de la terre.

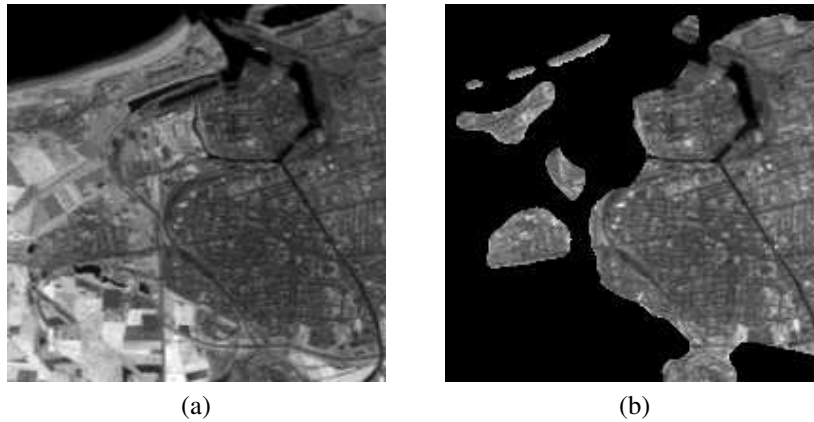


Figure 11: (a): Une image SPOT (XS3) de la région Calais. (b): Le résultat de détection des zones urbaines.

Nous considérons le problème de la classification d'images satellitaires avec des connaissances cartographiques.

Nous nous intéressons ainsi au problème de classification avec comme connaissances a priori les informations venant des cartes géographiques d'une part, et comme contraintes certaines demandes typiques d'utilisateurs d'autre part. La méthode que nous avons conçue est composée de deux parties : prétraitement des données images et classification. La première partie a pour but d'augmenter la discrimination entre différentes classes. La deuxième partie utilise des informations cartographiques et des contraintes d'utilisateurs pour trouver, d'une manière fiable, la relation entre un pixel et une classe. La figure 11 montre le résultat d'une expérimentation dont la connaissance a priori de la scène provient d'une carte IGN, la demande d'utilisateurs est d'extraire le mieux possible les zones urbaines.

3.3 Réseaux neuromimétiques

3.3.1 Mise en œuvre de modèles markoviens sur réseaux de neurones cellulaires pour la classification d'image

Participants : David Geldreich, Josiane Zerubia

Mots-clés : réseaux neuromimétiques, champs de Markov.

Dans le cadre du programme MAE « Balaton » et en collaboration avec Tamás Szirányi et Lazlo Czuni de l'Académie des Sciences de Hongrie (SZTAKI), nous avons prolongé l'étude menée l'an dernier [597][613] par l'adaptation d'un modèle markovien multiéchelle proposé par Z. Kato et *al.* aux réseaux de neurones cellulaires (CNN). Plusieurs problèmes ont été résolus : passage d'un calculateur digital SIMD (CM200) à un réseau de neurones cellulaire analogique, mise en œuvre d'un algorithme pseudo-stochastique sur CNN (Algorithme de Metropolis Modifié, MMD) avec la création d'un générateur de nombres aléatoires dont on peut choisir la distribution. Malheureusement, nous avons dû abandonner l'adaptation du modèle hiérarchique en raison de sa formulation qui se prête mal au CNN (de petite taille: 32x32 ou 64x64) sur lesquels nous travaillons (chips VLSI développés par le Pr. Chua à UC Berkeley).

Nous avons testé cet algorithme sur des images synthétiques (cf. figure 12) et sur des images réelles satellitaires. Cette collaboration (« Balaton ») devrait prendre fin cette année. Elle a permis de montrer

qu'il était possible d'utiliser des modèles markoviens pour faire de la classification avec des temps de calcul de l'ordre de quelques millisecondes.

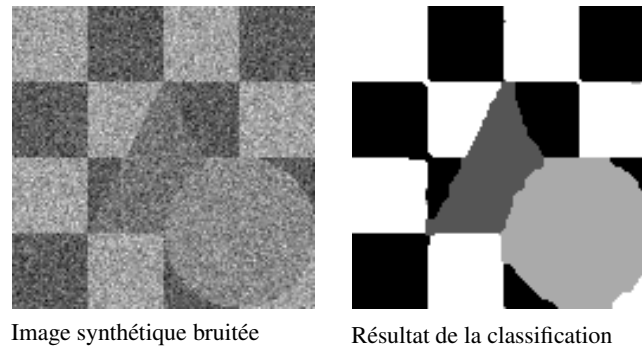


Figure 12: Classification MMD sur réseau de neurones cellulaires.

3.3.2 Modèle probabiliste de perception de la régularité dans une forme

Participants : Marc Berthod, Xavier Descombes, Sébastien Drot

Mots-clés : réseaux neuromimétiques, analyse de scène, reconnaissance de forme.

Le but final est de proposer un modèle probabiliste de la perception de régularité dans une forme. Des liens très forts avec le groupement perceptuel, la géométrie probabiliste et la géométrie stochastique sont envisagés. Le présent travail de DEA a consisté à concevoir et mettre en œuvre un test psychovisuel pour mettre en évidence des seuils de perception d'une droite représentée par la réalisation d'un processus ponctuel dans un environnement bruité.

3.3.3 Catégorisation par réseaux de neurones en vision par ordinateur

Participant : Stéphane Tavitian

Mots-clés : réseaux neuromimétiques, analyse de scène.

Qu'elle soit le fait d'un système artificiel ou naturel, l'interprétation d'une scène passe par l'identification des objets qui la composent comme appartenant à certaines *catégories*.

Dans ce domaine, les réseaux de neurones artificiels sont encore loin d'égaliser notre système visuel, que ce soit en robustesse ou en flexibilité. Dans la plupart des cas, l'apprentissage repose sur la modification différenciée et progressive d'un facteur de transmission entre les différentes unités connectées du réseau.

À la lumière de récentes études électrophysiologiques menées à l'université Catholique de Louvain (KUL), il semblerait que ce modèle de l'*efficacité synaptique* soit incomplet. En effet, les variations à court-terme des réponses neuronales du cortex inféro-temporal à des stimuli visuels suggèrent une modulation de cette efficacité acquise par l'intensité récente de la transmission synaptique.

Du point de vue du traitement visuel, cette modulation tendrait à masquer les caractéristiques visuelles les plus fréquentes au profit de celles apportant davantage d'information relativement au contexte.

Le travail réalisé repose sur l'hypothèse d'une coopération entre renforcement à long-terme et modulation à court-terme, ces deux processus cohabitant au niveau synaptique.

Cette année, en collaboration avec un laboratoire de systèmes adaptatifs hongrois (Institut des Isotopes, Académie des Sciences, Budapest), nous avons pu vérifier, par le biais de simulations, que la modulation synaptique permettait d'étendre au temps-réel les capacités d'apprentissage de réseaux de neurones non supervisés, classiquement contraintes par un entraînement aléatoirement ordonné. Des applications sont également envisagées dans d'autres domaines où les corrélations temporelles entre les exemples

sont susceptibles d'empêcher l'apprentissage de converger vers une solution stable (e.g. apprentissage de filtres de régularisation pour images satellitaires).

3.4 Analyse multiéchelle en traitement d'images

3.4.1 Débruitage et déconvolution d'images satellitaires

Participants : Frédéric Falzon, Jérôme Kalifa

Mots-clés : analyse de scène, observation de la terre.

Ce travail, effectué en collaboration avec S. Mallat de l'Ecole Polytechnique, est la suite des travaux commencés l'an dernier (cf. rapport d'activité 95). Il s'inscrit dans le cadre d'un contrat CNES.

L'étude [604], porte plus particulièrement sur une opération de filtrage inverse régularisé à l'aide d'un seuillage des coefficients d'une transformée en ondelette redondante spécialement adaptée au problème de la déconvolution. Plus précisément, un pré-filtrage de l'image permet d'atténuer le bruit qui a explosé numériquement. Le bruit restant est, quant à lui, supprimé à l'aide d'un seuillage adaptatif du module de la transformée en ondelette. Nous prenons ainsi en considération la répartition spatiale des structures de l'image (voir figure 13). À la suite de ces travaux et des divers résultats obtenus, nous nous orientons vers la recherche d'une base optimale permettant de discriminer l'information et le bruit après filtrage inverse.

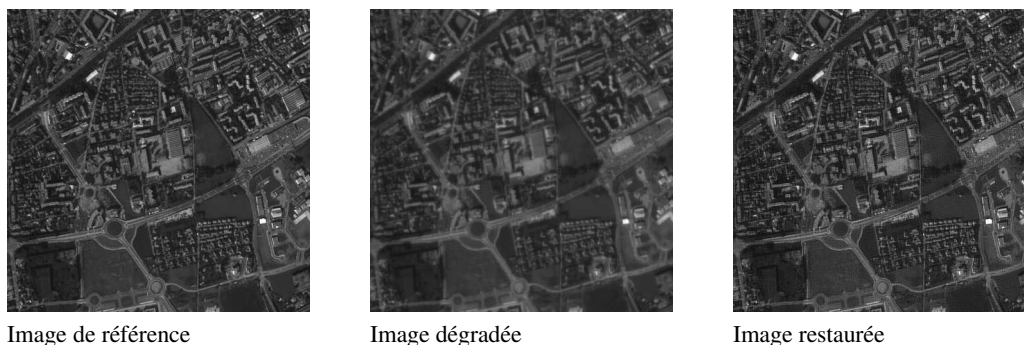


Figure 13: Débruitage et déconvolution d'images satellitaires

3.4.2 Compression d'images et approximation non linéaires d'images satellitaires

Participant : Frédéric Falzon

Mots-clés : analyse de scène, observation de la terre.

Toujours dans le cadre de notre collaboration avec S. Mallat de l'Ecole Polytechnique, nous nous sommes attachés à montrer que la base de Karhunen-Loeve n'est pas appropriée pour le codage d'image. Dans un deuxième temps, nous avons montré que les performances de compression dépendent essentiellement de la précision de l'approximation non-linéaire de l'image sur une base orthogonale choisie. Nous avons ensuite dérivé les expressions analytiques de la fonction $D(R)$ (Distortion (Rate)) du codage par transformée, ainsi que celles des codes *enfouis* (*embedded codes*). Cette étude a été validée sur des exemples et va donner lieu à une publication.

3.4.3 Étude d'un lissage adaptatif pour la génération de Quick-Looks

Participants : Jean-Michel Benharrosh, Marc Berthod

Mots-clés : observation de la terre, cartographie.

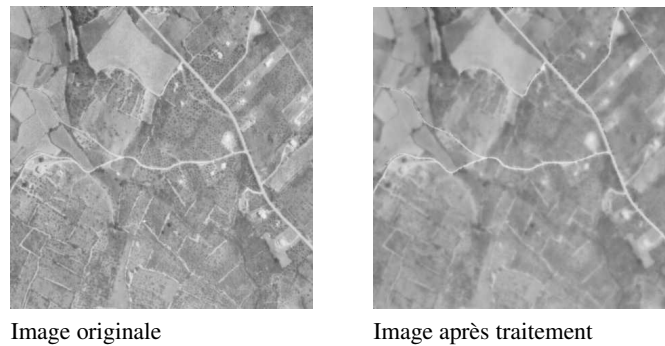


Figure 14: Lissage adaptatif pour la génération de Quick-Looks

Les images satellitaires ou aériennes à très haute résolution offrent de par leur finesse de détails de nombreux avantages pour le ROIM (Renseignement d'Origine Image). En revanche, elles ne permettent pas d'appréhender une scène dans son ensemble, de connaître l'environnement général et de sélectionner rapidement des zones d'intérêt, ce qui est possible avec des images basse résolution. Pour produire de telles images, appelées panoramas ou quick-looks, on se borne bien souvent à sous-échantillonner l'image haute résolution.

Le but de cette étude est donc de proposer des méthodes de création d'images basse résolution conservant, voire soulignant certains thèmes d'occupation des sols utiles à la structuration du paysage et au repérage de l'utilisateur. On distingue 3 grandes étapes : la première est liée à l'extraction du thème retenu, la seconde s'attache à la compression sélective et adaptative de l'image, la troisième enfin consiste en la réduction du support image (génération du Quick-Look adaptatif).

L'extraction peut s'effectuer de façon simple (saisie manuelle par le photo-interprète) ou de façon plus complexe (algorithme automatique ou semi-automatique). En ce qui concerne la dégradation de l'image, la compression sélective et adaptative, deux méthodes ont été étudiées [600]. La première méthode est fondée sur une transformée en ondelettes à trous. La seconde méthode utilise le concept de diffusion anisotropique. Ce travail constitue le prolongement d'une étude menée par F. Falzon (cf. rapport d'activité 94). La méthode s'appuie sur une analogie entre l'image et un réseau électrique, dans lequel certaines résistances représentent des coefficients de diffusion et d'autres, des coefficients représentatifs du poids d'attache aux données. Cette méthode, contrairement aux méthodes anisotropiques classiques de type Saint-Marc, Chen, Medioni ou Perona et Malik présente l'avantage de conserver une attache aux données. Une étude théorique suivie d'une validation expérimentale ont été menées. La figure 14 donne un exemple de résultat obtenu avec cette méthode sur une image aérienne de résolution métrique.

3.4.4 Théorie d'échantillonnage multicanal sans contrainte de bande limitée

Participants : Michael Unser, Josiane Zerubia

Mots-clés : analyse de scène.

Nous avons considéré le problème de la reconstruction d'une fonction continue en temps, à partir d'échantillons des réponses obtenues par filtrage de m systèmes linéaires invariants au décalage, avec un échantillonnage à la fréquence $1/m$ ème du taux de reconstruction. Le théorème de Papoulis sur la théorie de l'échantillonnage a été étendu suivant 2 aspects. Premièrement, la classe des signaux admissibles est plus vaste que celle du sous-espace des fonctions à bande limitée. Secondement, nous utilisons une spécification plus générale pour le sous-espace de reconstruction, afin que la sortie du système puisse être une fonction à bande limitée, une fonction spline ou des ondelettes. L'élargissement de l'ensemble des signaux acceptables se traduit par l'abandon de l'idée d'une reconstruction exacte du signal au sens de Shannon et Papoulis. Cependant, nous avons proposé un algorithme qui permet d'obtenir une approximation du signal qui donne exactement les mêmes mesures que celles qui seraient

obtenues avec la fonction exacte. Nous avons étudié la stabilité et les performances du système de façon théorique et une illustration a été faite sur de nombreux exemples. Ces travaux s'appliquent sans problème au traitement d'image.

3.5 Recherches d'origine appliquée

3.5.1 Étude d'un système de vision embarqué pour les phases de descente des missions planétaires

Participants : Gérard Giraudon, Eric Zekri

Mots-clés : analyse de scène, reconnaissance de forme, cartographie.

Cette étude est dédiée au développement d'une méthode opérationnelle et temps-réel d'évitement d'obstacles, dans le cadre des phases de descente des véhicules d'exploration planétaire. Elle s'inscrit dans le cadre d'un contrat avec l'Agence Spatiale Européenne. Nous nous sommes plus particulièrement axés sur la mission d'exploration lunaire LEDA¹, qui présente la caractéristique majeure d'être une mission autonome (le traitement étant effectué à bord). Les contraintes de type capteur embarqué et de type visibilité du site d'alunissage nous ont conduits à définir la méthode générique suivante :

- Détecter les obstacles potentiels à partir d'une seule image CCD du site.
- Choisir un site par fusion des résultats de la détection et des contraintes de navigation.

Un obstacle est défini comme une irrégularité de la surface observée, c. à d. comme une singularité spatiale de l'image. Nous nous sommes fixés deux axes principaux de recherche, qui ont pour caractéristique commune l'exploitation des composantes de la fonction image dans l'espace échelle.

Le premier axe étudié consiste à caractériser la régularité d'une surface, par le comportement de ses composantes dans l'espace échelle. La description obtenue est alors du type texture.

Le deuxième axe consiste en l'étude des deux points suivants :

- Estimation de la longueur d'onde locale du signal-image, par un procédé qui présente l'avantage de supprimer les intégrations spatiales et recherches de maxima locaux dans l'espace échelle usuellement utilisés pour l'estimation de fréquence locale.
- Caractérisation de la surface examinée soit par la régularité spatiale de la longueur d'onde locale, soit par la régularité de facteurs de forme dérivés de cette longueur d'onde.

Le problème de fusion des résultats de la détection d'obstacles et des contraintes de navigation est actuellement examiné en ce qui concerne les aspects modélisation et représentation de l'information en terme de variables.

Dans cette étude, nous nous sommes attachés à respecter les contraintes induites par la nature embarquée de la mission.

Les algorithmes développés à ce jour sont adaptés au type d'architecture employée à bord. Nous avons implanté sur une architecture représentative², deux méthodes de détection d'obstacles dérivées de notre premier axe de recherche (régularité en termes de texture). Les tests de validation tendent à démontrer que ces deux méthodes sont suffisamment

- robustes - *i*) aux changements d'illumination, *ii*) aux différents aspects (structure ou texture) de la scène observée,
- et rapides (les temps de calcul sont inférieurs à 3.5 secondes pour une image de 768x576 pixels)

pour être acceptables vis-à-vis des contraintes imposées pour la mission.

¹Lunar European Demonstration Approach: Mission définie par l'Agence Spatiale Européenne

²Mono-DSP Stellar board, 25Mhz clock 75Mflops 32bits floating point processor, 4Mbits/chip DRAM, 256Kbits/chip SRAM

3.5.2 Étude de la faisabilité de l'application de la bibliothèque COCKTAIL au traitement d'images satellitaires relatives aux océans

Participante : Sandrine Mathieu-Marni

Mots-clés : analyse de scène, cartographie, observation de la terre.

Le but de ce travail de recherche est de déterminer si la bibliothèque de programmes COCKTAIL mise au point dans le projet Pastis pour le traitement de mélange de végétation dans les pixels peut être appliquée à l'étude d'images satellitaires multispectrales des océans. Notre partenaire industriel a été la société Acri de Sophia Antipolis.

Le nombre de classes à traiter dépassant les limites théoriques imposées par le nombre de canaux, l'étude s'est déroulée en deux étapes principales :

- pré-segmentation grossière en sous-domaines spectraux grâce à l'utilisation des programmes de la librairie COCKTAIL pour détacher les grands thèmes principaux d'occupation de sol,
- classification affinée dans chacune des zones déterminée au cours du premier passage, suivie de l'extraction des pourcentages de mélanges dans chacun des pixels de la scène multispectrale.

Cette étude a pu mettre en évidence que la bibliothèque COCKTAIL, mise en œuvre dans le cadre d'étude de mélanges de végétation, peut aussi être utilisée dans des milieux océaniques.

3.5.3 Extraction de caractéristiques fluviales en imagerie SPOT par une approche géométrique

Participants : Laurent Gatineau, Gérard Giraudon

Mots-clés : interprétation de scène, système à base de connaissances.

Dans le cadre de l'interprétation de scène SPOT, utilisant la fusion de capteurs mise en œuvre dans l'architecture MESSIE, nous possédions une méthode d'extraction d'éléments fluviaux (fleuves, rivières) se fondant sur des caractéristiques radiométriques qui donnait de bons résultats à partir d'images XS3 (proche infrarouge). L'objectif de ce stage de DEA a été de mettre au point un algorithme d'extraction de ce type d'objets en se fondant uniquement sur des caractéristiques géométriques. À la résolution à laquelle nous travaillons, les fleuves sont vus comme des objets surfaciques linéiques qui traversent l'image et dont les berges sont régulières. Avec ces hypothèses, nous avons établi une méthode de type « coarse to fine » qui recherche des fleuves dans une image de contours obtenue à partir d'une image SPOT. Cette méthode est fondée sur l'émission d'hypothèses de présence d'éléments fluviaux à basse résolution (en utilisant l'information directionnelle des gradients) puis sur une technique de programmation dynamique pour estimer le chemin le plus vraisemblable à pleine résolution, parmi l'ensemble des hypothèses émises. Les résultats obtenus montrent que nous sommes capables de savoir rapidement (une dizaine de secondes sur un SUN SPARC 10) si un fleuve traverse l'image ou non. Dans le cas où un fleuve est présent, nous obtenons un chemin qui suit le réseau fluvial.

3.5.4 Fonctions auxiliaires en programmation dynamique pour la reconnaissance de routes

Participants : Nicolas Merlet, Josiane Zerubia

Mots-clés : analyse de scène, télédétection, observation de la terre.

La forme est un critère important de reconnaissance de routes lorsque les caractéristiques photométriques ne permettent pas de distinguer la route du reste de l'image. Elle est définie de manière globale, et il est donc difficile de la prendre en compte dans le potentiel local utilisé en programmation dynamique. Nous avons auparavant (cf. rapports d'activité 95 et 94) défini ce potentiel sur k pixels successifs pour y intégrer la courbure, mais la complexité est exponentielle en k .

Nous proposons une autre solution : au cours de l'intégration du potentiel, nous conservons dans une image auxiliaire une information sur la forme du plus court chemin trouvé à ce stade. Cette information

est alors prise en compte dans le potentiel d'une part, et d'autre part mise à jour chaque fois qu'un minimum de l'énergie est trouvé. Le principe d'optimalité n'est plus vérifié, mais les routes sont régularisées sans augmenter la complexité.

Nous avons appliqué cette méthode à deux types d'information de forme : la direction globale, et la courbure globale. La globalité est liée à un paramètre de mémoire, et la contrainte de forme est pondérée par un paramètre de régularité.

Lorsque nous conservons la direction $\vec{V}(M)$, le potentiel au point M est la somme d'un potentiel photométrique $\phi_1(M, N)$, où N est un voisin de M , et d'un potentiel de forme qui croît avec l'angle formé par $\vec{V}(N)$ et $N\vec{M}$. Les pixels qui prolongent le plus court chemin sont ainsi favorisés.

Lorsque la nouvelle valeur de l'énergie est plus petite que l'ancienne, $\vec{V}(M)$ est mis à jour comme combinaison linéaire de $\vec{V}(N)$ et $N\vec{M}$: M modifie la direction globale.

Dans le deuxième cas, nous conservons le centre du cercle tangent à la courbe, qui est alors approximée par des arcs de cercle (cf. figure 15).



Figure 15: Reconnaissance de routes

3.5.5 Portage de MESSIE

Participants : Gérard Giraudon, Fadi Sandakly

Mots-clés : interprétation de scène, système à base de connaissances.

Dans le cadre d'un post-doc industriel avec la société ILOG, nous avons commencé une étude sur la *migration* de l'architecture de MESSIE vers des outils industriels en vue de sa validation par des applications de grande nature. Cette étude devait porter sur l'adéquation d'un blackboard parallèle en cours de développement chez ILOG. Compte tenu du retard sur ce projet, nous avons commencé par une évaluation de l'adéquation des outils C++ d'ILOG (*Ilog Rules*, *Ilog Server* et *Ilog Broker*) au problème d'interprétation de scène. Ces outils nous sont apparus inadaptés à l'expression des connaissances nécessaires. Cette inadaptation vient uniquement des limitations intrinsèques au langage C++ dans le domaine de représentation des connaissances. Une alternative serait l'utilisation des outils d'ILOG équivalents en technologie *Lisp* (*Ilog Talk*, *Ilog Power Classes* et *Ilog Control*). Une étude d'évaluation de ces outils doit être effectuée, suivie d'une proposition d'architecture d'intégration de MESSIE se basant sur ces outils.

4 Actions industrielles

4.1 Coordination VRI

G. Giraudon s'occupe de la coordination nationale de la valorisation et des relations industrielles à la direction de l'Inria.

4.2 Projet Imagine

Les projets Pastis (G. Giraudon) et Air (I. Herlin) ont organisé la participation des projets Inria à un consortium regroupant le groupe technologique Inria, THOMSON/SYSECA et l'IGN dont l'objectif est le développement de technologies clés dans les applications de l'exploitation automatique de l'imagerie tridimensionnelle pour les besoins militaires.

4.3 Contrat CNES

Le projet Pastis (J. Zerubia) coordonne la participation de trois projets Inria (Air, Syntim et Pastis) à un contrat CNES sur l'extraction d'information dans les images satellitaires (SPOT, ERS, NOAA).

4.4 Contrat ESA-ESTEC

Le sujet du contrat est : « Etude d'une mesure d'estimation de longueur d'onde via l'espace échelle en vue de la détection d'obstacles pour les alunissages des prochaines missions lunaires ». Transfert de 2 logiciels à l'ESA.

4.5 Contrat CNES

Un autre contrat CNES sur le « débruitage et la déconvolution d'images satellitaires » est en cours, en collaboration avec l'Ecole Polytechnique. Transfert de logiciel au CNES.

4.6 Contrat ACRI (Sophia Antipolis)

Un contrat sur « l'application de la bibliothèque COCKTAIL au traitement d'images satellitaires relatives aux océans » a été effectué. Transfert de logiciel à ACRI.

4.7 Contrat ILOG et convention PDI

Le Post-Doc Industriel avec la société ILOG consistait au portage de MESSIE (système d'interprétation de scènes) mis au point chez Pastis sur les outils à base de connaissances qui sont en cours de développement chez ILOG. Ce développement n'est pas arrivé à son terme du fait du retard de livraison des outils d'ILOG et de la démission en avril 96 de F. Sandalky qui a trouvé un poste d'ingénieur au CSTB.

4.8 Convention Aérospatiale (Magny les Hameaux)

Le projet Pastis collabore avec l'Aérospatiale (Magny) sur « la mise en correspondance subpixel en vue d'un système de recalage pour la navigation à partir de séquences d'images FLIR (Forward Looking Infra Red) ». Transfert de logiciel à l'Aérospatiale.

4.9 Convention Aérospatiale (Cannes)

Dans le cadre d'une bourse CIFRE, le projet Pastis collabore également avec l'Aérospatiale (Cannes) sur « la réalisation de quick-looks adaptatifs ».

4.10 Convention ISTAR

Dans le cadre d'une bourse CIFRE, le projet travaille avec la société ISTAR sur « la réalisation de MNT grande surface par interférométrie ». Stéphane Dupont a participé au développement du simulateur interférométrique SAMI.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

- Les membres du projet Pastis participent activement (séminaires, co-responsable de GT, ...) au GdR ISIS (4 GT : segmentation, champs de Markov, interprétation-fusion, SAR) ainsi qu'au GdR Mathématiques des systèmes perceptifs et cognitifs et au PRC CHM.
- J. Zerubia collabore, dans le cadre d'un contrat DRED sur l'étude des champs de Markov hiérarchiques, avec C. Graffigne (univ. de Paris-Descartes), F. Heitz (ENSPS, Strasbourg), M. Sigelle (ENST, Paris), P. Perez (projet TEMIS, IRISA, Rennes), F. Prêteux (INT, Evry).

5.2 Actions internationales

- S. Yu a effectué un séjour scientifique à Rutgers University pendant deux mois. Elle a aussi rendu visite aux Bell Labs (Murray Hill, us) et à Siemens Corporate Research (Princeton, USA). Plusieurs séminaires ont été donnés pendant ces visites.
- J. Zerubia a donné des séminaires à SRI (Palo Alto, us), à HPLabs (Palo Alto, USA), à la NASA (Ames Research Center, us) et à l'université de Cambridge (GB).
- J. Zerubia a été responsable d'un contrat de recherche Franco-Israélien (soutenu par l'AFIRST) sur la parallélisation d'algorithmes en vision bas-niveau (coopération avec le dépt. d'informatique de l'université Hébraïque de Jérusalem, il) : participation de Marc Berthod, Hassan Shekarforoush et Josiane Zerubia du coté français et de N. Merlet et M. Werman du coté israélien.
- J. Zerubia a été responsable d'un contrat MAE (programme « Balaton ») sur la mise en œuvre de champs markoviens hiérarchiques sur réseaux de neurones cellulaires (coopération avec l'institut SZTAKI, de l'Académie des Sciences de Hongrie, hu, et membre de l'ERCIM) : participation de David Geldreich et Josiane Zerubia du coté français et de Laszlo Czuni et Tamás Szirányi du coté hongrois.
- J. Zerubia a participé au projet ESPRIT 21042 sur le traitement d'image et la télédétection (coopération avec l'Académie Royale Militaire de Belgique, be, l'université Libre de Bruxelles, l'université Brunel-UK, EC-JRC Ispra, l'institut Lyapunov Moscou et l'université d'état de Moscou, RU)
- J. Zerubia a été rapporteur pour l'évaluation de propositions ou de projets : EPSRC (GB), ISF (IL).
- J. Zerubia est relectrice régulière de journaux (IEEE Trans. (SMC, PAMI, SP, IP), TS, TSI, Signal Processing, CVIU, GMIP, IJCV, Pattern Recognition).

- M. Berthod est relecteur régulier pour IJCV, IEEE-Signal Processing, IEEE Image Processing, CVGIP.
- G. Giraudon est membre des comités de lecture des journaux: SFPT, IEEE-PAMI, et est relecteur régulier de journaux (IEEE-PAMI, JRAS, IEEE Robotics and Automation, CVGIP, Signal Processing, IJCV, Pattern Recognition, TS, TSI, SFPT).

6 Diffusion des résultats

6.1 Enseignement

- Marc Berthod : DEA ARAVIS de l'UNSA: 9 heures.
- Stéphane Dupont : GDTA Toulouse: 3 heures.
- Gérard Giraudon : Ecole des Mines : 3 heures, ENSTA : 3 heures.
- Josiane Zerubia : cours sur les champs de Markov hiérarchiques au DEA ARAVIS de l'UNSA (15 heures); cours de traitement d'image à l'ESINSA à Sophia Antipolis (6 heures).
- Des membres du projet Pastis (M. Berthod, G. Giraudon, J. Zerubia) ont été rapporteurs de 13 thèses et ont, de plus, participé à 6 thèses en tant que membres du jury.
- G. Giraudon fait partie du conseil d'administration de l'ESSI.
- M. Berthod fait partie du conseil scientifique de DEA ARAVIS de l'UNSA.

6.2 Participation à des conférences et colloques

- R. Morris et X. Descombes ont eu une bourse européenne pour assister au Séminaire Européen de Statistiques, Toulouse, mai 96.
- Les membres de l'équipe ont participé à de nombreuses conférences et de nombreux *workshops* ; on se reportera à la bibliographie pour en avoir la liste exhaustive.

6.3 Organisation de colloques et de cours

- X. Descombes a donné une conférence invitée à SMAI 96 (Toulouse, septembre 96)
- J. Zerubia a été membre du comité des programmes du workshop COMPARES (CEE) en juil. 96, co-chair de la conf. SPIE « Application of New Image Processing Techniques » en juin 96, membre du comité des programmes et présidente d'une session de la conf. IEEE ICIP en sept. 96.
- G. Giraudon a fait partie des comités scientifiques des conférences suivantes : MFI'96 (Workshop on Multi-sensor Fusion and Integration), Europto'96 (Conf. on Image and Signal Processing for Remote Sensing)

6.4 Diffusion de produits

Transfert de nombreux logiciels (cf. chapitres 3 et 4).

6.5 Autre

- Présentation de nos résultats au grand public lors de journées *Sciences en fête* organisées par le ministère de la recherche.
- David Geldreich a représenté Pastis et l'Inria Sophia Antipolis lors du CEBIT'96 à Hannovre (de).
- G. Giraudon a été, comme les fois précédentes, rédacteur en chef du dernier numéro spécial du journal Club-HiTech Côte d'Azur sur l'observation de la Terre et de l'Environnement.
- J. Zerubia et S. Mathieu ont fait une présentation de quelques résultats du projet Pastis sur France2 (Journal de 13h) en janv. 96.
- Marc Berthod est conseiller auprès de la SAGEM.

7 Publications

Thèses

- [584] D. LABROUSSE, *Modélisation markovienne pour le déroulement de phases interférométriques SAR*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, septembre 1996.
- [585] J.-L. LOTTI, *Mise en correspondance stéréo par fenêtres adaptatives en imagerie aérienne haute résolution*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, février 1996.
- [586] L. NOCERA, *Reconstruction du relief en imagerie radar à ouverture de synthèse: stéréoscopie et ombrages*, thèse de doctorat, université de Paris 7 - Jussieu, mai 1996.
- [587] B. SERRA, *Reconnaissance et localisation d'objets cartographiques 3D en vision aérienne dynamique*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, novembre 1996.
- [588] S. URAGO, *Groupements de contours en utilisant des modélisations markoviennes*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, janvier 1996.
- [589] B. VASSELLE, *Mesures de régularités discrètes et continues en analyse d'images*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, décembre 1995.

Articles et chapitres de livre

- [590] M. BERTHOD, Z. KATO, S. YU, J. ZERUBIA, «Bayesian Image Classification Using Markov Random Fields», *Image and Vision Computing* 14, 4, mai 1996, p. 285–295.
- [591] L. GABET, G. GIRAUDON, L. RENOARD, «Automatic Generation of High Resolution Urban Zone Digital Elevation Models», *The Int. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, à paraître en 1996.
- [592] G. GIRAUDON, F. SANDAKLY, «3D Scene Interpretation for a Mobile Robot», *Robotics and Autonomous Systems*, à paraître en 1996.
- [593] G. GIRAUDON, F. SANDAKLY, «Interprétation de scène d'intérieur pour un robot mobile», *Technique et Science Informatiques (TSI) : numéro spécial vision artificielle par ordinateur*, à paraître en 1996.
- [594] Z. KATO, M. BERTHOD, J. ZERUBIA, «A hierarchical Markov Random Field model and Multi Temperature Annealing for parallel image classification», *Graphical Models and Image Processing* 58, 1, janvier 1996, p. 18–37.
- [595] N. MERLET, J. ZERUBIA, «New Prospects in Line Detection by Dynamic Programming», *IEEE-Trans PAMI* 18, 4, avril 1996.

- [596] H. SHEKARFOROUSH, M. BERTHOD, J. ZERUBIA, M. WERMAN, «Sub-pixel Bayesian Estimation Of Albedo And Height», *International Journal of Computer Vision* 19, 3, 1996, p. 289–300.
- [597] T. SZIRÁNYI, J. ZERUBIA, «Markov Random Field Image Segmentation using Cellular Neural Network», *IEEE Transactions on Circuit and Systems*, à paraître en 1996.
- [598] E. VOLDEN, G. GIRAUDON, M. BERTHOD, «Information in Markov Random Fields and Image Redundancy», *Lecture Notes in Computer Science: Information Theory and Applications 1133*, septembre 1996.
- [599] S. YU, P. SAINT-MARC, M. THONNAT, M. BERTHOD, «Feasibility Study of Automatic Identification of Planktonic Foraminifera by Computer Vision», *Journal of Foraminiferal Research* 26, 2, avril 1996, p. 113–123.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [600] J.-M. BENHARROSH, M. BERTHOD, S. HOUZELLE, «Génération de Quick-looks adaptatifs préservant des thèmes cartographiques dans les images satellites», in : *AAAF Colloque International Optronique et Défense*, Paris, décembre 1996.
- [601] G. BORDES, G. GIRAUDON, O. JAMET, «Road Extraction Guide by a Cartographic Database : Creating a Strategy», in : *Workshop on Context-Based Vision (ICCV)*, IEEE Computer Society Press, p. 30–37, Cambridge, MA, juin 1996.
- [602] G. BORDES, P. GUERIN, G. GIRAUDON, H. MAITRE, «Contribution of External Data to Aerial Image Analysis», in : *Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, K. Krauss, P. Waldausl (réd.), XXXI, Part B4, Int. Society of Photogrammetry and Remote Sensing, p. 134–138, Vienne, Autriche, 1996.
- [603] S. DUPONT, F. PERLANT, P. NONIN, M. BERTHOD, «SAR Interferometry: a fine orbital registration for DEM generation», in : *Proc. of IGARSS'96*, Lincoln, Nebraska USA, mai 1996.
- [604] J. KALIFA, S. MALLAT, F. FALZON, B. ROUGÉ, «High resolution satellite image restoration with frames», in : *SPIE Conference on Wavelets Applications in Signal and Image Processing IV*, Denver, 1996.
- [605] D. LABROUSSE, S. DUPONT, M. BERTHOD, «SAR Interferometry: a multigrid markovian approach to phase unwrapping with a discontinuity model», in : *Proc. of IGARSS'96*, Lincoln Nebraska USA, mai 1996.
- [606] C. LETT, J. ZERUBIA, «Data fusion for image classification using a Markov random field model», in : *Proc. IMDSP Workshop*, Belize City, Belize, mars 1996.
- [607] C. LETT, J. ZERUBIA, «Data fusion for image classification using Markov random field model», in : *Proc. Conf. on New Image Processing Techniques (SPIE)*, Besançon, France, juin 1996.
- [608] S. MATHIEU-MARNI, M. YUE XIE, M. BERTHOD, «Atmospheric and Topographic Corrections of Satellite Images», in : *IAPR 96 /TC7*, Graz (Austria), septembre 1996.
- [609] N. MERLET, J. ZERUBIA, «Auxiliary functions in dynamic programming for smoothed road detection», in : *Proc. Conf. on New Image Processing Techniques (SPIE)*, Besançon, France, juin 1996.
- [610] R. D. MORRIS, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, «The Ising/Potts model is not well suited to segmentation tasks», in : *IEEE Digital Signal Processing Workshop*, Loen, Norvège, septembre 1996.
- [611] L. NOCERA, S. DUPONT, M. BERTHOD, «A simulation-based validation of some improvements in automatic stereo-radargrammetry», in : *Proc. of IGARSS'96*, Lincoln, Nebraska USA, mai 1996.
- [612] H. SHEKARFOROUSH, M. BERTHOD, J. ZERUBIA, «A Generalization of Non-linear Simplex Search Method», in : *SIAM Conf. on Optimization*, Victoria, Canada, mai 1996.
- [613] T. SZIRÁNYI, J. ZERUBIA, D. GELDREICH, Z. KATO, «Cellular Neural Networks for Markov Random Field Image Segmentation», in : *CNNA'96*, Seville, juin 1996.
- [614] S. TAVITIAN, T. FOMIN, A. LÓRINCZ, «Stabilizing Competitive Learning During On-line Training With an Anti-Hebbian Weight Modulation», in : *Proc. of International Conference on Artificial Neural Networks*, Springer-Verlag, p. 697–702, Bochum, Allemagne, 1996.

- [615] E. VOLDEN, G. GIRAUDON, M. BERTHOD, «La redondance d'image : étude et application», in : *10ème Congrès RFIA'96*, Rennes, janvier 1996.
- [616] S. YU, K. WEIGL, «A Hybrid Method for Preprocessing and Classification of SPOT Images», in : *European Workshop on Connectionist Methods for Preprocessing and Analysis of Remote Sensing Data*, York, UK, juillet 1996.
- [617] S. YU, «Efficient Use of Contextual Information in Image Labeling Algorithms», in : *Fourth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, Singapore, décembre 1996.

Rapports de recherche et publications internes

- [618] M. BERTHOD, G. GIRAUDON, Z. KATO, N. MERLET, E. VOLDEN, J. ZERUBIA, *Rapport final contrat CNES 833/cnes/94/1288/00*, novembre 1995.
- [619] E. CARLETTI, *Groupement pour l'extraction de Facettes Tridimensionnelles dans le cadre de Processus de Stéréovision*, Rapport de DEA, ARAVIS, université de Nice-Sophia Antipolis, juin 1996.
- [620] X. DESCOMBES, R. MORRIS, J. ZERUBIA, M. BERTHOD, «Estimation of Markov Random Field prior parameters using Markov Chain Monte Carlo Maximum Likelihood», *Rapport de Recherche n°3015*, INRIA, France, octobre 1996.
- [621] X. DESCOMBES, R. MORRIS, J. ZERUBIA, «Quelques améliorations à la segmentation d'images bayésienne», *Rapport de Recherche n°2916*, INRIA, France, juin 1996.
- [622] S. DROT, *Modélisation probabiliste de la perception de la régularité dans une forme*, Rapport de DEA, Supélec, section S.I.F., université de Metz, juin 1996.
- [623] L. GATINEAU, *Détection de fleuve en imagerie SPOT fondée sur une approche géométrique en vue d'utilisation dans un système à base de connaissance*, Rapport de DEA, ARAVIS, université de Nice-Sophia Antipolis, juin 1996.
- [624] A. LORETTE, *Prise en compte des discontinuités dans un algorithme de super-résolution*, Rapport de DEA SIC, INP de Toulouse, septembre 1996.
- [625] R. MORRIS, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, «An analysis of some models used in image segmentation», *Rapport de Recherche n°3016*, INRIA, France, octobre 1996.
- [626] R. MORRIS, X. DESCOMBES, J. ZERUBIA, «Fully Bayesian image segmentation - an engineering perspective», *Rapport de Recherche n°3017*, INRIA, France, octobre 1996.
- [627] S. URAGO, J. ZERUBIA, M. BERTHOD, «Modélisation Markovienne pour le groupement de contours avec une coopération contours-régions», *Rapport de Recherche n°2875*, INRIA, 1996.
- [628] E. ZEKRI, «Optical based Hazard Avoidance for Lander Missions», *Rapport de phase 1, contrat ESA*, décembre 1995.
- [629] E. ZEKRI, «Scale-space based methods for obstacles detection and realistic on-board hardware implementation», *Rapport phase 2, contrat ESA*, octobre 1996.

8 Abstract

The research domain of PASTIS is image interpretation. Our goal is to extract symbolic information, making use of a certain amount of conscious reasoning. This involves coping with different issues: early vision, knowledge base systems, and more generally integration and control of these different processing levels to perform *purposive vision* tasks. The methodological domains investigated are knowledge based systems and markov random fields modelization. The central application domain is natural imagery, more specifically the observation of earth at different wavelengths (visible, infra-red, radar) and different resolutions (aerial or satellite imagery).

For what concerns early vision, we are strongly involved in Markov Random Field modelization (and specifically hierarchical models) as well as associated stochastic or deterministic optimization algorithms and parameter estimation techniques. The applications cover segmentation, iconic features extraction, super-resolution and contextual classification. These methods are inherently massively parallel, and are also related to neuromimetic approaches. Perceptual grouping, which takes into account, up to a point, biological vision models, is also an active research domain in the group.

Earth observation imagery poses specific problems such as terrain model reconstruction (using stereo, shape from shading, phase unwrapping in SAR interferometry), and interpretation (which involves multi-resolution and multi-scale analysis). We are presently developing a unified framework for these problems, viewing them as instances of a general inverse problem, or equivalently as a MAP Bayesian problem, based on Markov Random Field modelization.

As for symbolic image interpretation, our goal is to develop a model of a priori knowledge, which should be generic enough to cover a reasonably large set of vision applications. The core of the system is a multi-specialist blackboard architecture, based on the modelization of physical objects, of recognition strategies and of processing algorithms (allowing to control the values of their parameters). This approach has been validated on satellite and aerial image interpretation, performing sensor fusion on SPOT and SAR imagery for the extraction of cartographic objects, as well as on 3D robotic scenes interpretation (using the *same* system). A possible extension is integrating external data sources (such as a Geographic Information System) for a better interpretation of satellite imagery.

