

Rapport INRIA 1994 — Programme 4

Projet Analyse de Scènes et Traitement d'Images
Symboliques

PROJET PASTIS

3 mai 1995

PROJET PASTIS

Projet Analyse de Scènes et Traitement d'Images Symboliques

Localisation : *Sophia-Antipolis*

Mots-clés : analyse de scène (1), cartographie (1), champ de Markov (1), interprétation de scène (1), observation de la Terre (1), reconnaissance des formes (1), réseau neuro-mimétique (1), système à base de connaissances (1), télédétection (1), vision 3D (1).

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Marc Berthod, DR Inria

Secrétaire

Françoise Gouttier, TR Inria

Personnel Inria

Véronique Clément, CR

Gérard Giraudon, DR

Shan Yu, CR

Josiane Zerubia, CR

Personnel CNRS

Pierre Leymarie, DR

Chercheurs invités

Fernand Cohen, Drexel University, Philadelphie, 3 mois
Joao Kogler, Université de Sao Paulo, 2 mois et demi
Michael Werman, Université Hébraïque de Jerusalem, 10
jours

Ingénieurs experts

David Hutber
Konrad Weigl, du 1^{er} mars au 31 juillet 1994

Chercheurs doctorant

Stéphane Dupont, boursier CIFRE ISTAR
Frédéric Falzon, boursier INRIA, jusqu'au 19 décembre 1994
Luc Floissac, boursier CNES-INRIA
Zoltan Kato, boursier BGF, jusqu'au 20 décembre 1994
David Labrousse, boursier INRIA
Jean-Luc Lotti, boursier PACA-INRIA
Ruihua Ma, boursier INRIA, jusqu'au 2 décembre 1994
Frank Mangin, boursier INRIA, jusqu'au 23 février 1994
Sandrine Mathieu, boursière INRIA, jusqu'au 30 novembre
1994
Lucien Nocera, boursier INRIA
Fadi Sandakly, boursier INRIA
Bruno Serra, ingénieur Aérospatiale
Hassan Shekarforoush, boursier MESR
Stéphane Tavitian, boursier HCM
Sabine Urago, boursière MESR
Bruno Vasselle, boursier X
Espen Volden, boursier du gouvernement norvégien
Konrad Weigl, boursier INRIA, jusqu'au 28 février 1994

Collaborateur extérieur

Frank Mangin

2 Présentation du projet

Le domaine de recherche du projet est l'interprétation d'images. Il s'agit en fait d'extraire de 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 système à base

de connaissance, 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 satellites et aériennes).

Le projet collabore avec une équipe de géologues du CNRS du laboratoire de Géodynamique travaillant sur le projet *Imagerie du Fond des Océans*, qui utilise le traitement d'images pour l'aide à la reconnaissance géologique.

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 le cœur de la vision intentionnelle, 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

La reconstruction du relief, ou restitution de l'information 3-D à partir d'images bidimensionnelles, est depuis plusieurs années un domaine d'action particulièrement important dans le projet. Dans le cas de données satellitaires, le but est d'obtenir des informations denses sur le relief, c'est-à-dire un Modèle Numérique de Terrain (M.N.T.). Deux actions portant sur la mise en correspondance de points de contours dans des problèmes de vision par ordinateur sont aussi en cours.

3.1.1 Stéréo haute résolution par corrélation de fenêtres adaptatives

Participants : Gérard Giraudon, Jean-Luc Lotti

La stéréovision haute résolution permet la construction de MNT de zones urbaines, avec des résolutions métriques. Les techniques de corrélation sont efficaces pour le calcul de cartes denses, si les surfaces sont continues. Elles donnent en revanche des erreurs importantes en cas de fortes occultations et différences de hauteurs des bâtiments en milieu urbain. Exploitant l'idée qu'une discontinuité est souvent caractérisée par un contour de contraste sur les images 2D, nous utilisons ces contours pour limiter la géométrie de nos fenêtres de corrélation [18, 20]. Nous avons affiné cette méthode de corrélation de fenêtres adaptatives avec l'utilisation d'une approche par pyramide de résolution, permettant une convergence plus rapide vers la solution et une consolidation spatiale de la carte de disparité [19].

Nous voyons sur la figure 1 la comparaison entre les résultats obtenus par notre méthode et une méthode classique de corrélation croisée, sur le bâtiment du Grand Palais de Paris.

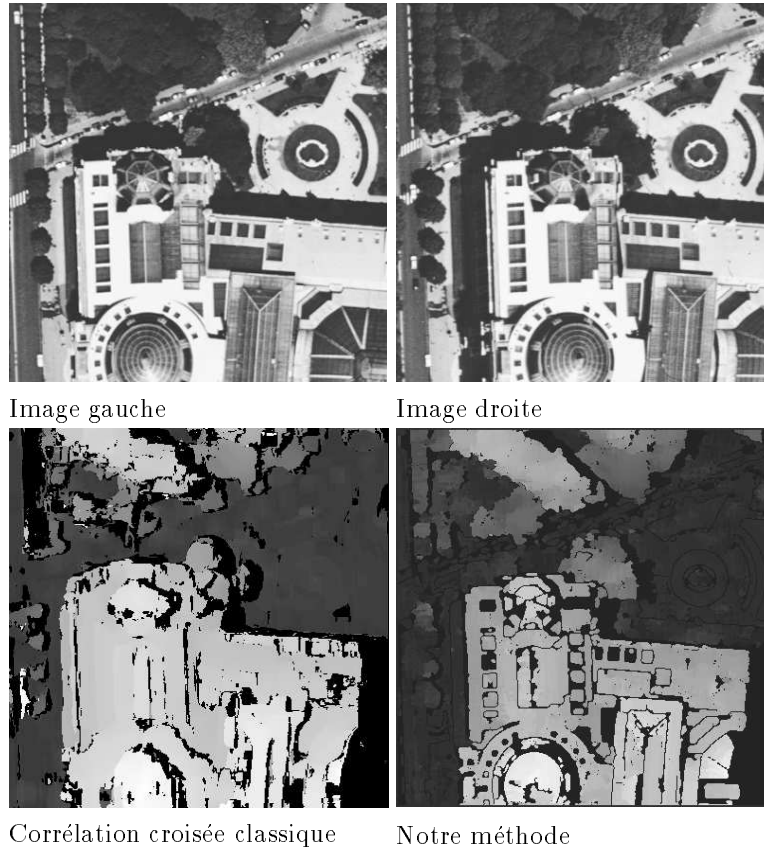


Figure 1 : Image Aérienne haute résolution du Grand Palais.

3.1.2 Interférométrie SAR

Participants : Marc Berthod, Stéphane Dupont, David Labrousse

La récente émergence des capteurs SAR (*Synthetic Aperture Radar*, Radar à Ouverture de Synthèse) comme ERS-1, JERS-1 ou ALMAZ permet d'obtenir des données, et d'envisager la réalisation de MNT (Modèles Numériques de Terrain) par tous les temps, de jour comme de nuit.

La technique interférométrique, propre aux données complexes SAR, permet de restituer le relief à partir de la différence de phases d'images acquises sous des angles de prise de vue très proches. Elle présente une précision potentielle importante mais pose un certain nombre de problèmes tant opérationnels que méthodologiques, sur lesquels nous

travaillons. Après une étude bibliographique approfondie sur le sujet, un simulateur interférométrique, nommé SAMI (Simulateur Appliqué à la Modélisation Interférométrique), est en cours d'implémentation. Il est capable de générer l'image radar complexe (module et phase) d'une scène à partir d'un MNT et de données sur la trajectoire du porteur. Si l'on possède les données d'une deuxième trajectoire proche de la première et satisfaisant aux conditions interférométriques, un *produit interférométrique* peut être généré (voir figure 2). Ce dernier comprend une image des modules, une image des différences de phases, appelée *interférogramme*, ainsi qu'une image de la cohérence des phases. SAMI doit permettre de tester les méthodes de déroulement de phase, mais aussi d'analyser leurs sources d'erreurs. Il doit enfin amener, expérimentalement, à comprendre et à quantifier les problèmes recensés dans le rapport [38] afin de maîtriser totalement la chaîne de traitement interférométrique.

Par ailleurs, le problème central est que la différence de phase ne peut être mesurée que modulo 2π , il faut donc retrouver la phase *déroulée* de chaque point pour déterminer son élévation. Il s'agit d'un problème d'étiquetage de l'interférogramme, l'étiquette d'un pixel correspondant au multiple de 2π qu'il faut lui ajouter.

Nous avons choisi une modélisation markovienne pour traiter ce problème. Celle-ci permet de combiner efficacement contraintes locales et globales. Nous définissons une fonction d'énergie comme étant la somme sur toutes les cliques de deux fonctions de potentiel. Le premier potentiel, défini sur les cliques d'ordre 2, mesure une erreur par rapport à un modèle a priori (ici le modèle de membrane). Le second, défini sur les cliques d'ordre 1, mesure l'erreur par rapport aux données (i.e. l'interférogramme).

La *relaxation*, c'est à dire le calcul de l'étiquetage optimal par rapport à cette fonction d'énergie non-convexe, est effectuée par un algorithme de *recuit simulé* qui, sous certaines conditions, garantit la convergence vers la solution optimale. L'algorithme est implanté sur la CM-200, et écrit en C*.

La principale source d'erreur vient de l'existence de discontinuités dans la phase liée au phénomène de *layover*. Ceci n'apparaît pas dans le modèle de membrane qui correspond à une distribution normale. Il est donc nécessaire de modifier la distribution de probabilité (par exemple en choisissant une combinaison linéaire entre une distribution normale et

une distribution uniforme) de sorte que les discontinuités soient admises par le modèle.

Nous présentons ici (figure 3) les résultats de notre algorithme sur une image provenant du satellite ERS-1. Cet exemple fait apparaître de fortes discontinuités.

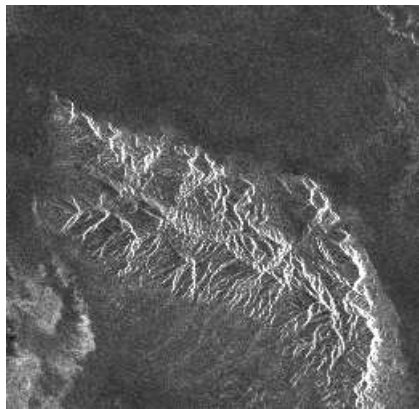


Image SAR réelle des modules

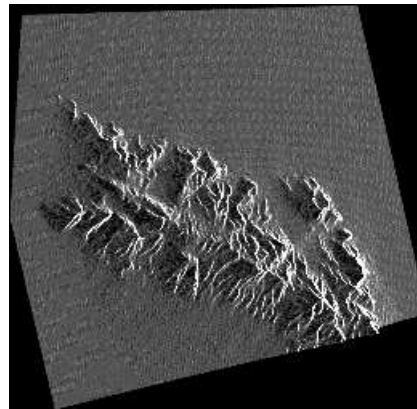


Image SAR simulée des modules

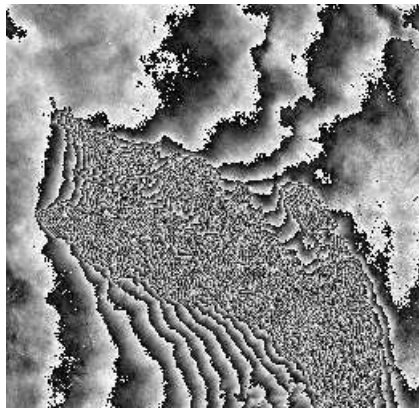


Image SAR réelle des différences de phases

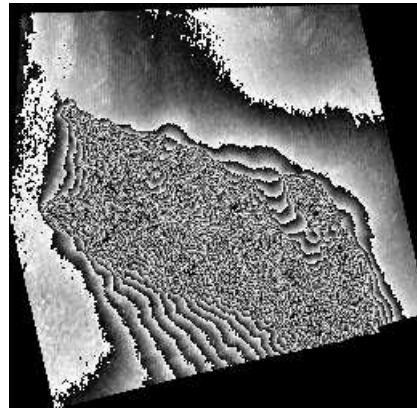
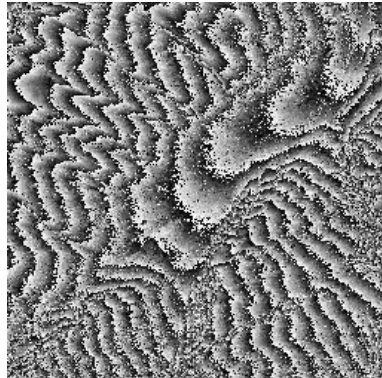


Image SAR simulée des différences de phases

Figure 2 : Les premiers résultats du simulateur interférométrique SAMI



Interférogramme (ERS-1)

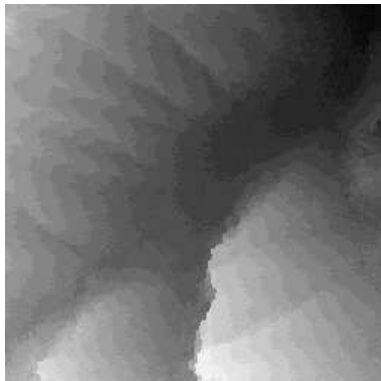


Image des ordres
(multiples de 2)

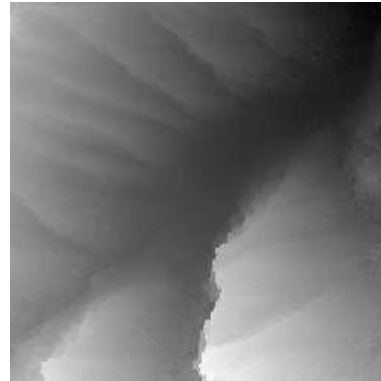


Image des phases déroulées

Figure 3 : Déroulement de phases interférométriques

3.1.3 Mise en correspondance optimale subpixel de contours

Participants : Marc Berthod, Bruno Serra

Les domaines de la stéréovision haute résolution ou avec des données de calibration incomplètes, font actuellement l'objet d'une activité de recherche intense. Dans ce contexte, l'un des enjeux majeurs réside dans la mise au point d'algorithmes robustes, précis et nécessitant l'utilisation d'un minimum de contraintes pour réaliser la mise en correspondance d'images.

Nous avons développé un algorithme de portée générale qui assure la mise en correspondance *optimale*, à une résolution inférieure au pixel de deux images, de contours. Deux points forts font de cet algorithme, dont une version préliminaire est détaillée en [29], un outil de choix pour des applications variées :

- De part son aptitude à utiliser des segments de contours obtenus par approximation polygonale, la complexité de calcul peut être réduite de presque un ordre de grandeur tout en préservant la qualité de l'appariement, l'algorithme étant insensible aux différences de segmentation entre images.
- Aucune contrainte n'est nécessaires pour la mise en correspondance, la méthode développée reposant sur un critère de moindre déformation géométrique, à l'exclusion de toute contrainte telle que l'utilisation de lignes épipolaires en stéréo, ou la paramétrisation de la déformation en analyse du mouvement.

L'utilisation de cet algorithme dans les domaines de la stéréo haute résolution (fig. 4) et de l'analyse d'images médicales dynamiques, ainsi que sa récente extension à la mise en correspondance de contours tridimensionnels, ont permis de valider l'approche utilisée.

3.1.4 Amélioration de la résolution par fusion de capteurs

Participants : Marc Berthod, Hassan Shekarforoush, Josiane Zerubia

Ce travail, qui s'est effectué en collaboration avec M. Werman (Université Hébraïque de Jérusalem), se situe dans le cadre d'une modélisation markovienne et d'une approche déterministe pour traiter le problème de la reconstruction 3D à partir d'images aériennes ou satellitaires. Nous utilisons un modèle sténopé de caméra avec une projection orthographique, et les surfaces observées sont supposées lambertiennes. Nous avons mis en oeuvre des algorithmes itératifs pour retrouver simultanément l'albedo et l'altitude de la surface à partir d'une séquence d'images à basse résolution. Ceci nous permet d'augmenter la résolution spatiale par la fusion d'information à basse résolution. L'utilisation de Champs de Markov nous permet d'introduire la connaissance a priori et de définir notre problème comme celui de l'optimisation d'une fonction de coût.

La figure 5 donne des résultats obtenus sur des images satellitaires.

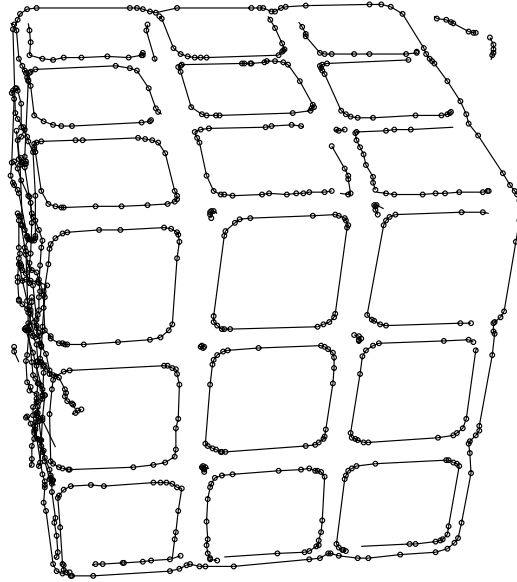


Figure 4 : Reconstruction 3D haute résolution de segments de contours.

3.1.5 Relief à partir de la radiométrie

Participants : Marc Berthod, Gérard Giraudon, Lucien Nocera

On étudie ici une approche, aussi connue sous le nom de *Shape from Shading*, qui permet de reconstruire le relief en utilisant une information (connue a priori) sur la façon dont les surfaces réfléchissent la lumière. Notre but est de reconstruire le relief à partir d'images de type radar à ouverture de synthèse. Nous nous sommes intéressés à une généralisation consistant à combiner l'information provenant de plusieurs images, ce qui permet de contraindre la recherche de la surface imagée, et donc de lever l'ambiguïté liée aux multiples solutions. Nous terminons actuellement l'intégration de cette approche dans une chaîne classique de reconstruction stéréoscopique, pour l'appliquer à des images produites par des radars imageurs.

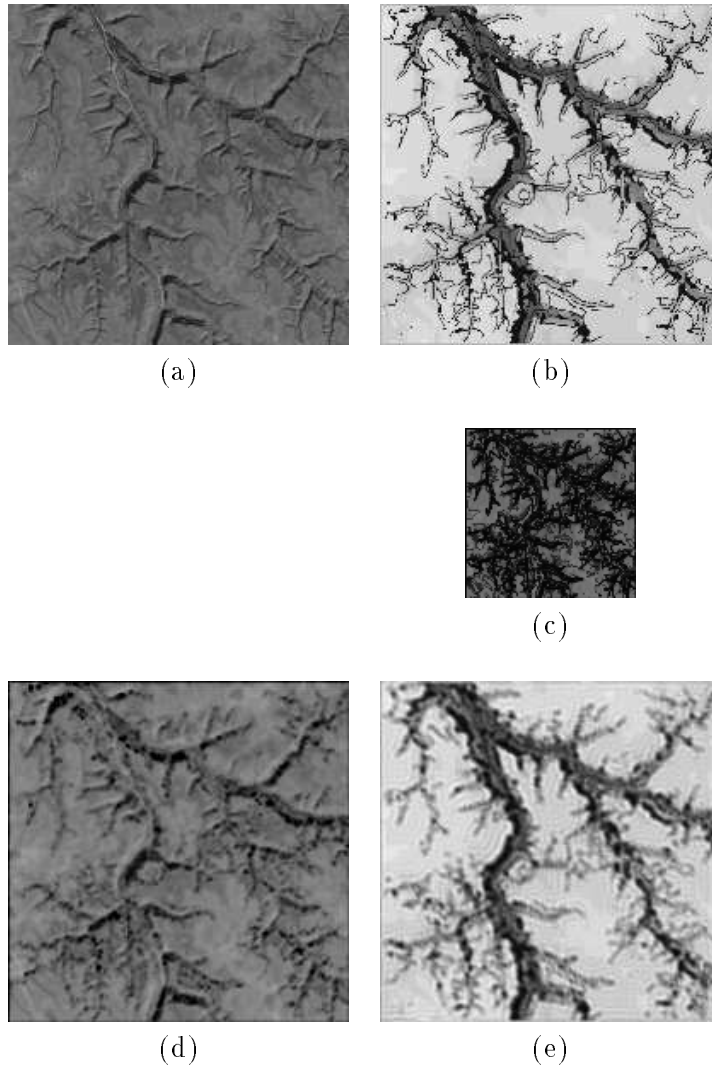


Figure 5 : (a) l'albedo idéal, (b) l'altitude idéale, (c) une des images à basse résolution, (d) l'albedo reconstruit, (e) l'altitude reconstruite

3.1.6 Interprétation de scènes dans un environnement 3D

Participants : Gérard Giraudon, Fadi Sandakly

Le but de ce travail est la généralisation de l'architecture de MESSIE (Multi-Expert System for Scene Interpretation and Evaluation) pour

répondre au besoin d'un système de *raisonnement visuel* d'un robot mobile. Après l'extension de la modélisation des objets et de l'architecture de MESSIE, nous avons développé une application de validation. Les objets du domaine (objets polyédriques d'un environnement bureautique) ont été décrits, la connaissance sur les algorithmes de traitement d'image (segmentation et reconstruction 3D) a été extraite et implémentée, ainsi que les modèles du robot mobile et des caméras utilisées.

Plusieurs modules-spécialistes ont été développés : 5 *spécialistes* (bases de connaissance) de traitement d'image et de groupement perceptuelle, 3 *spécialistes* d'objets sémantiques, 2 *spécialistes* en robotique, et un spécialiste générique d'interprétation de scène. Plusieurs scénarios ont été testés : détection d'un objet spécifique dans la scène, création d'une carte d'environnement du robot, localisation du robot sur carte préétablie. La figure 6 montre les images originales d'un scénario de création de carte d'environnement. La figure 7 montre des vues de dessus successives de la scène interprétée.

Nous nous sommes aussi intéressés au problème de l'extraction automatique des modèles d'objets sémantiques à partir des modèles CAO. Un module d'extraction automatique de connaissances géométriques nécessaires à la détection des objets 3D à partir d'un modèleur CAO a été implémenté. Il est actuellement en phase d'intégration et de test.

3.1.7 Estimation optimale et robuste du mouvement à partir des données 3D

Participants : Marc Berthod, Gérard Giraudon, Ruihua Ma

L'objectif de cette étude est la mise au point d'une méthode *précise* et *robuste* d'estimation du mouvement à partir de données bruitées et comportant de nombreux *outliers*.

Dans le cadre de l'estimation de paramètres, le calcul du mouvement est formulé comme un problème de minimisation aux moindres carrés (LSQ). L'utilisation d'un critère 2D pour la LSQ est simple et naturelle, car il est raisonnable de supposer que le niveau de bruit 2D est homogène dans toute l'image et que chaque donnée 2D doit être prise en compte de la même façon. Dans le cas d'un critère 3D, il est impératif de tenir compte de la variance des données et de l'hétérogénéité des composantes de chaque donnée, de sorte qu'une donnée moins bruitée contribue plus au résultat final qu'une autre plus bruitée. Du fait que le calcul de cette

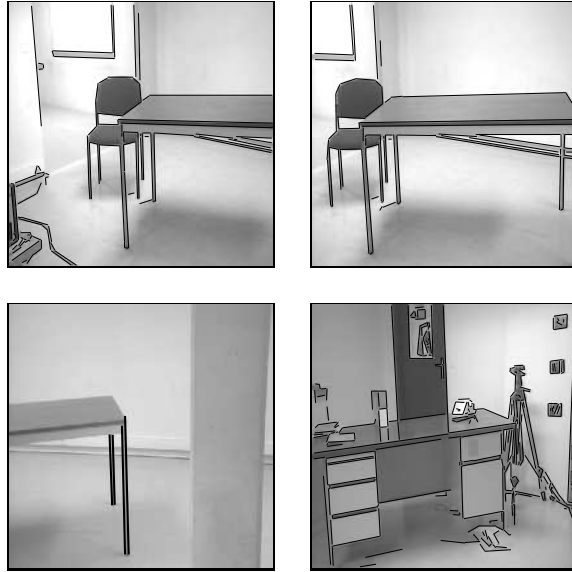


Figure 6 : Séquence d'images pour création de la carte d'environnement du robot.

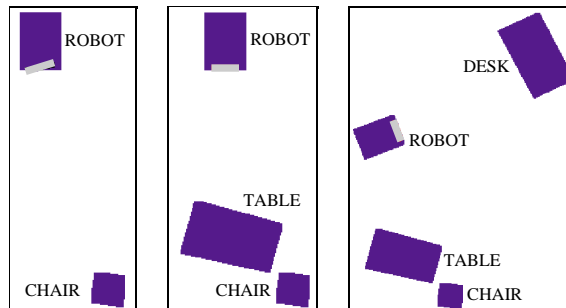


Figure 7 : Évolution de la scène interprétée.

variance ne peut qu'être approximatif, il est logique que la LSQ avec un critère 2D soit supérieure à celle utilisant un critère 3D en termes de précision. En termes de variance, l'expérimentation de J. Weng *et al.* apporte la preuve que le critère 2D permet d'approcher la limite minimale théorique: la borne de Cramer-Rao.

Pour résoudre le problème provoqué par les *outliers*, nous associons à la LSQ une technique de statistiques robustes : le moindre médian des carrés (LMedS). Une expérimentation systématique a été menée sur des données synthétiques, qui a confirmé les analyses théoriques. En particulier, nous montrons que la précision de la rotation est largement meilleure que celle de la translation et qu'un nombre de points supérieur à 10 est nécessaire pour obtenir un calcul stable et une précision convenable (pour plus de détails, voir [3]).

3.2 Approches connexionistes et neuromimétiques

On regroupe sous cette rubrique un certain nombre de travaux qui ont en commun de déboucher sur des implémentations massivement parallèles (de par le caractère connexioniste des algorithmes mis en œuvre), et/ou de s'inspirer d'approches neuromimétiques, ou du moins s'inspirant de résultats dans le domaine de la psychologie de la vision.

3.2.1 Catégorisation

Participants : Marc Berthod, Stéphane Tavitian, Josiane Zerubia

Cette année, en collaboration avec le laboratoire de Neuro-Psychophysiologie de l'université catholique de Leuven (KUL), nous avons cherché dans les aires visuelles supérieures, et particulièrement dans le cortex inféro-temporal, les bases neurobiologiques de la *catégorisation*.

Par ses propriétés électrophysiologiques, le cortex Inféro-temporal confirme les prédictions d'un modèle qui l'assimilerait à une "couche supérieure" d'un réseau de neurones artificiel: les cellules peuvent y répondre à des stimuli plus complexes ou abstraits que celles des aires inférieures, et ce d'une manière reflétant en partie l'expérience visuelle acquise. Mais certains phénomènes intéressants ne trouvent pas d'explication dans un tel schéma: ces réponses sont également conditionnées par le contexte, qu'il soit défini par la tâche en cours où par le stimuli précédent. Nous nous sommes focalisés sur ce dernier cas, connu en neuropsychophysiologie sous le nom de "Matching effect".

Cette dénomination fait référence à la tâche par laquelle il fut mis en évidence, le "Delayed Matching to Sample", tâche conduisant le sujet à décider si deux stimuli successifs sont identiques ou non. Les

enregistrements montrent qu'une large population de cellules répondent différemment au même stimulus, présenté en deuxième position, selon le cas (*identique* ou *différent*). Si l'on en croit les plus récentes études, cette modulation, lorsqu'elle est suppressive, pourrait être un mécanisme passif, proportionnel à la fois à la similarité et au caractère récent des stimuli antérieurs.

Sur la base d'un certain nombre d'hypothèses, nous avons choisi d'explorer l'explication la plus simple de ce phénomène: une diminution temporaire de l'*efficacité* (du poids) des synapses participant à la perception d'un stimulus. En favorisant le traitement de l'information *nouvelle* ou *fluctuante*, ce mécanisme devrait permettre à un réseau de neurones artificiel de s'adapter au contexte sans remettre son apprentissage en cause. Classiquement, un neurone représente une ou plusieurs caractéristiques visuelles capturée lors de l'apprentissage grâce à une distribution adaptée des poids de ses connexions avec les neurones des couches inférieures. La *suppression synaptique* permet de redistribuer ces poids de manière à ne représenter que les aspects que le contexte met en exergue, et ce avec une acuité accrue. En outre, au cours de l'apprentissage d'une catégorie, ce mécanisme pourrait fournir un critère de sélection des caractéristiques intéressantes, offrant le double avantage de lier sa représentation au contexte dans lequel elle est pertinente, et de la réduire aux stricts aspects la distinguant de son environnement. Actuellement, les simulations sont menées, hors apprentissage, grâce à un simulateur de réseaux de neurones de l'Université de Rochester (RCS).

3.2.2 Groupement perceptuel de contours par méthode connexioniste

Participants : Marc Berthod, Frank Mangin, Josiane Zerubia

Le groupement perceptuel vise à reconstituer les contours longs et réguliers dans une image digitale. La mise en œuvre d'un modèle multi-échelle permet d'extraire efficacement les caractéristiques globales des contours, dont dépend l'organisation perceptuelle. Les critères exprimant la bonne continuation, le parallélisme et les intersections entre contours permettent de définir l'ensemble des contours les plus pertinents. Ce résultat constitue une information intermédiaire importante pour des tâches de plus haut niveau telles que la segmentation, la reconnaissance, ou encore le suivi de contour. Tous les algorithmes ont été

mis en oeuvre sur la connection machine CM200. Une thèse sur ce sujet a été soutenue en Février 94.

3.2.3 Restauration d'image par Machine de Boltzmann Déterministe

Participants : Fabien Campillo, Meir Griniasty, Josiane Zerubia

Dans ce travail, effectué en collaboration avec le projet Mefisto, nous considérons une application de la mécanique statistique et plus spécifiquement de la théorie du champ moyen, à des problèmes d'optimisation (traitement d'image et classification, machine de Boltzmann). Pour ce faire, nous décrivons un cadre théorique général pour des algorithmes qui adaptent *tous* leurs paramètres au cours de la restauration d'image bruitée. La procédure adaptative est fondée sur une approche *champ moyen*, également connue sous le nom de *recuit déterministe*, et qui s'apparente à la *machine de Boltzmann déterministe*. L'algorithme requiert moins de temps de calcul que l'algorithme de recuit simulé. Nous appliquons la théorie à plusieurs architectures et comparons les performances obtenues.

Un problème plus simple est celui de la classification : il s'agit de regrouper par classes un ensemble donné de points. Nous proposons un algorithme analogue à celui de la restauration d'image qui extrait les classes sans connaissance a priori de leur nombre.

Dans le cadre de la machine de Boltzmann déterministe, nous avons considéré un algorithme modifié où les corrélations sont prises en compte comme une première correction de l'approche par champ moyen simple.

3.3 Modélisation par champs de Markov

La modélisation par champs de Markov constitue un thème fondamental et applicatif important pour l'équipe. Un certain nombre de travaux mentionnés ci-dessus y font déjà largement appel. On regroupe dans cette rubrique plusieurs études dont elle constitue le thème central.

3.3.1 Groupement perceptuel des contours par méthode markovienne

Participants : Marc Berthod, Sabine Urago, Josiane Zerubia

Pour interpréter et analyser une scène, la détermination des contours est une étape fondamentale.

Les méthodes classiques ne permettent pas toujours la détection de tous les contours. En effet, les contours obtenus, par exemple, par un filtrage de Canny-Deriche, suivi des suppressions des non-maxima, sont souvent corrects mais contiennent parfois des discontinuités (notamment aux niveaux des *coins* et des *jonctions en T*). Ils ne sont donc pas systématiquement fermés.

Cette année, nous avons poursuivi notre étude sur la reconstruction de formes 2-D (représentant les contours) à partir de données incomplètes. Nous modélisons l'image par un champ de Markov et définissons la distribution de Gibbs associée. Pour cela, certains critères à optimiser sont déterminés afin de compléter les *trous*. La mise en oeuvre d'une méthode de relaxation déterministe de type ICM permet d'aboutir à une configuration dans laquelle les contours sont complétés.

Cette méthode a été testée sur différentes images (images de scènes réelles d'intérieur, d'extérieur, satellite (SPOT), médicales), voir la figure 8.

3.3.2 Classification non-supervisée d'image

Participants : Marc Berthod, Zoltan Kato, Josiane Zerubia

Considérons un modèle markovien simple où les classes sont représentées par une distribution Gaussienne et où les potentiels d'ordre 2 favorisent les classes similaires entre pixels voisins. Les paramètres fixant un tel modèle sont : le nombre de classes, la valeur moyenne et la variance σ^2 pour chaque classe, et le paramètre pour le potentiel d'ordre 2, soit $2n + 1$ paramètres à estimer, si nous supposons le nombre de classes n connu.

Ne disposant que des niveaux de gris, et non d'une classification initiale, on ne peut estimer directement le maximum de vraisemblance ; on choisit donc de l'approcher par l'espérance conditionnelle (meilleure approximation au sens des moindres carrés). On va donc approcher les paramètres

Θ par $E\{\Theta|f\}$, en utilisant une méthode récente d'estimation, l'ICE, proposée par W. Pieczynski.

Dans la pratique, l'algorithme est implanté de la façon suivante. Les paramètres sont estimés initialement à partir des observations f (les niveaux de gris). Puis, connaissant les paramètres Θ_n , l'ICM est utilisé pour maximiser la probabilité a posteriori de ω . Supposons que l'ICM converge en N itérations (en pratique $N < 10$), ce qui nous donne N étiquetage ω_i ($0 < i < N$). Pour chaque ω_i , on calcule les paramètres par le MV et Θ_{n+1} est obtenu comme la valeur moyenne de ces estimations. On continue cette procédure jusqu'à ce que les paramètres se stabilisent. Après avoir obtenu les estimées finales des paramètres, on procède à la segmentation en utilisant, par exemple, l'échantillonneur de Gibbs.

Nous avons comparé la classification supervisée et la classification non-supervisée sur différentes images synthétiques et réelles (Figure 9).

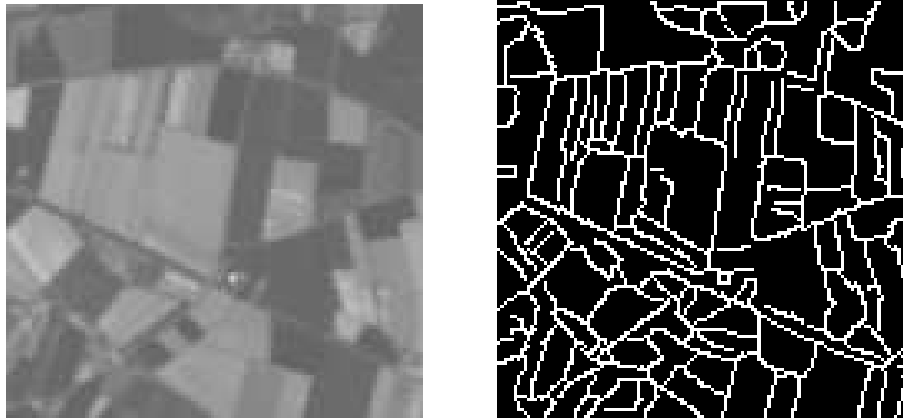


Image originale.

Restoration des contours
incomplets.

Figure 8 : Restoration des contours incomplets par une méthode markovienne

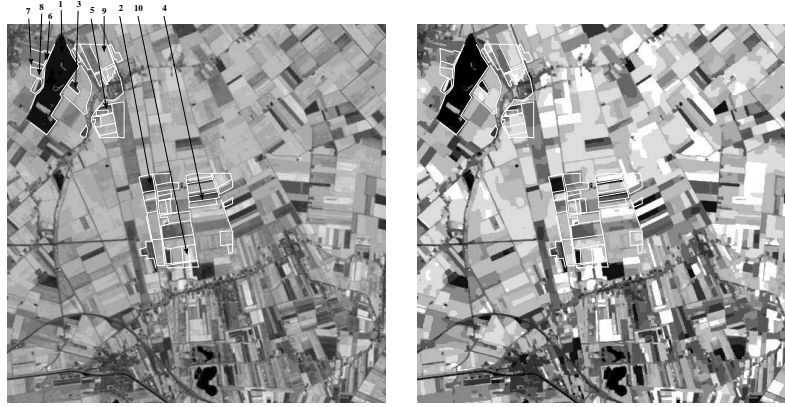


Image originale avec les ensembles d'apprentissages.

Résultat de segmentation non-supervisée.

Figure 9 : Résultats obtenus par l'échantillonneur de Gibbs sur une image SPOT avec les vérités-terrain.

3.3.3 Classification supervisée d'image par la théorie de la renormalisation

Participants : Joao Kogler, Josiane Zerubia

Au cours du séjour de Joao Kogler à l'INRIA Sophia-Antipolis, une approche s'inspirant de la mécanique statistique (Groupe de Renormalisation) a été considérée pour le problème de la classification supervisée d'image. Après étude, un algorithme a été proposé et mis en oeuvre sur SUN. Cet algorithme est en cours de test (à USP, Sao Paulo) sur des images synthétiques. Nous espérons poursuivre notre collaboration en 95 pour l'adapter au cas d'images réelles (en particulier satellitaires).

3.3.4 Modélisations de la redondance d'images

Participants : Marc Berthod, Gérard Giraudon, Espen Volden

Avant d'aborder le véritable problème de fusion, nous nous sommes intéressés à la modélisation de la redondance d'images.

Dans sa théorie de l'information C.E.Shannon définit le taux de transmission d'un couple émetteur-récepteur. Nous partons de ce concept pour définir trois modèles de la redondance de deux images. D'abord nous appliquons la théorie de l'information à un modèle simple où une image est considérée comme un ensemble de pixels isolés. Ensuite nous introduisons un modèle de champ de Markov pour prendre en compte le voisinage d'un pixel. Nous montrons que nous devons déterminer quelques paramètres du modèle markovien pour obtenir des statistiques suffisantes à partir d'images satellitaires courantes, et nous proposons une mesure pour le modèle d'Ising généralisé. Le troisième modèle considère la correspondance entre vecteurs de niveaux de gris sur les cliques. Pour résoudre le problème de statistiques insuffisantes, nous introduisons une distance dans l'espace des niveaux de gris.

Nous avons implémenté les algorithmes correspondants et obtenus des résultats pour les différentes définitions proposées et pour le coefficient de corrélation sur quelques images synthétiques et 55 triplets d'images SPOT XS1, XS2 et XS3.

3.3.5 Analyses des images SPOT avec des connaissances cartographiques

Participants : Marc Berthod, Gérard Giraudon, Shan Yu

L'analyse et l'interprétation robuste des images SPOT nécessitent, du fait de leur complexité, l'utilisation d'informations exogènes concernant la scène à traiter, et requièrent de nouvelles techniques intégrant les informations disponibles. Nous nous intéressons particulièrement à l'utilisation des connaissances cartographiques afin d'améliorer la qualité des résultats d'analyse.

Modélisation par champs de Markov des connaissances cartographiques Bien que les connaissances cartographiques ne soient pas à jour en général, elles fournissent cependant un modèle grossier de la scène à traiter. Nous avons proposé un nouveau modèle pour le problème de la segmentation des images SPOT, utilisant le formalisme des champs de Markov, qui prend en compte non seulement les données des images SPOT, mais aussi les informations provenant des cartes géographiques correspondantes. Ces informations cartographiques sont considérées comme les connaissances a priori de la scène à analyser. Le

problème de segmentation d'image se ramène donc à la maximisation de la probabilité a posteriori des étiquettes des sites connaissant les images SPOT et les informations cartographiques [33].

Nous avons développé à cet effet un algorithme d'optimisation basé sur la théorie des jeux. L'idée de base est de considérer les sites comme les joueurs et les étiquettes comme les stratégies. La maximisation des fonctions de gain correspond à la maximisation de la probabilité a posteriori de l'étiquetage.

Détection robuste des zones urbaines par une technique de contrôle rétro-actif. L'analyse d'une image SPOT de scène urbaine est un problème particulièrement difficile due à la caractéristique chaotique de la scène. Nous avons proposé une nouvelle méthode d'analyse des zones urbaines par une technique de contrôle rétro-actif [33, 34]. Cette méthode consiste à prendre en compte la connaissance de la croissance des zones urbaines. Nous nous donnons un taux de croissance τ d'une ville, connu a priori. Nous calculons le taux de croissance détectée τ' à partir d'un résultat intermédiaire de détection. La différence entre τ et τ' permet d'ajuster les paramètres dans notre modèle markovien de telle façon que la surface des zones urbaines détectées approche la valeur théorique.

3.4 Extraction d'attributs iconiques

L'extraction d'attributs iconiques est la première étape vers l'interprétation d'images. Les travaux dans ce domaine ont été innombrables, et les résultats disponibles dans la littérature déjà impressionnants. Tout n'est cependant pas fait. En particulier, la prise en compte de la notion d'échelle variable est actuellement un sujet *chaud*. Nous menons deux actions sur ce thème, à quoi il faut ajouter une nouvelle approche pour le chaînage de contours, sujet qui est loin d'être clos.

3.4.1 Détection des singularités et caractérisation de la régularité des images

Participants : Frédéric Falzon, Gérard Giraudon

En règle générale, l'interprétation des signaux physiques passe par la détection des singularités qui portent l'information la plus pertinente. Dans

le cas des images ce sont des singularités simples telles que les discontinuités dans la distribution des niveaux de gris, qui, suivant nos critères subjectifs, portent toute l'information nécessaire à leur interprétation. Il est cependant des situations qui nécessitent de prendre en considération des singularités qui ne sont pas obligatoirement conformes à ce que nos critères subjectifs désignent comme étant une information pertinente. Un exemple est celui du choix de points d'amer sur lesquels doit s'appuyer une reconstruction de surface de terrain à une autre échelle.

Nous nous sommes intéressés à la mise en œuvre d'une méthode de détection et de caractérisation de singularités d'ordre entier ou fractionnaire. Ce travail constitue le prolongement des études commencées sur le même sujet en 1993. Suite à l'étude de la méthode proposée par Mallat-Hwang pour la détermination de l'*exposant de Hölder* ponctuel, nous proposons un algorithme fondé sur un cas particulier de cette dernière, mais présentant l'avantage d'une implantation plus aisée [1]. Nous utilisons ensuite des arguments de calcul fractionnaire pour mettre en œuvre une méthode de détermination de l'*exposant critique* qui symbolise l'ordre maximal de *dérivation fractionnaire* d'un signal [8, 15, 14, 1]. Cette notion de dérivée fractionnaire est ensuite utilisée afin d'interpoler les détecteurs classiques de singularités, et dans le cadre de la segmentation d'image [15, 1], dans le but d'extraire des contours à une échelle proche de celle de l'image.

3.4.2 Analyse multi-échelle de régularité

Participants : Marc Berthod, Gérard Giraudon, Bruno Vasselle

L'étude dans un cadre *multi-échelle* des mesures de régularité utilisées en traitement d'image, et en particulier l'évolution des coins dans l'espace-échelle débutée l'an passé a été finalisée et a donné lieu à une publication à la conférence ECCV'94 à Stockholm [32].

Nous sommes revenus cette année à l'étude de la mesure discrète que nous avons proposée l'année dernière, dans le cadre d'une étude multi-seuillage de l'image. Le seuillage à un niveau de gris donné segmente l'image en deux régions dont la frontière peut être analysée en terme de *régularité discrète*. Une telle analyse fournit des indices de présence d'objet aux différents lieu de cette frontière.

L'accumulation de ces indices à différents seuillages fournit une carte de pseudo-probabilité de présence de contours d'objets dans l'image.

Associée à une méthode de chaînage de contours épais, l'analyse de régularité discrète à seuils multiples - ARSM - permet de produire une segmentation en contours d'une grande précision spatiale, et résout en particulier le problème des *jonctions en T* inhérent aux méthodes de gradient gaussien classiques.

L'ARSM réalise en quelque sorte une convolution de l'image par un filtre *auto-directionnel* et *d'épaisseur nulle*.

3.4.3 Extraction de ligne par programmation dynamique

Participants : Nicolas Merlet, Josiane Zerubia

Dans le cadre de la collaboration AFIRST et pour le programme ELIESER (*Extraction de Lignes sur Images Satellites avec une Energie par Régions*), nous avons développé une méthode de détermination automatique et adaptative du potentiel à utiliser pour reconnaître les lignes sur images SPOT par programmation dynamique.

Cette méthode comprend trois étapes :

1. détecter des segments initiaux à l'aide d'un potentiel primaire, dans des fenêtres définies autour des extrémités des lignes. Ce potentiel dépend du contraste et des niveaux de gris des extrémités par rapport au reste des fenêtres
2. calculer les distributions de contraste d'une part le long de ces segments, d'autre part pour l'ensemble des fenêtres. La probabilité conditionnelle est obtenue en divisant le premier histogramme par le second.
3. définir le potentiel comme l'inverse de la probabilité conditionnelle (une probabilité élevée correspond à un faible potentiel)

Nous avons déposé le logiciel ELIESER à l'APP en vue de le commercialiser en France et à l'étranger.

Les recherches actuelles concernent la validation du potentiel adaptatif sur un grand nombre d'images (y compris des images d'agglomérations), la réalisation d'un interface agréable et efficace du logiciel en vue de la commercialisation, et la prise en compte de la courbure de manière plus globale lors de la deuxième étape de reconstruction des chemins.

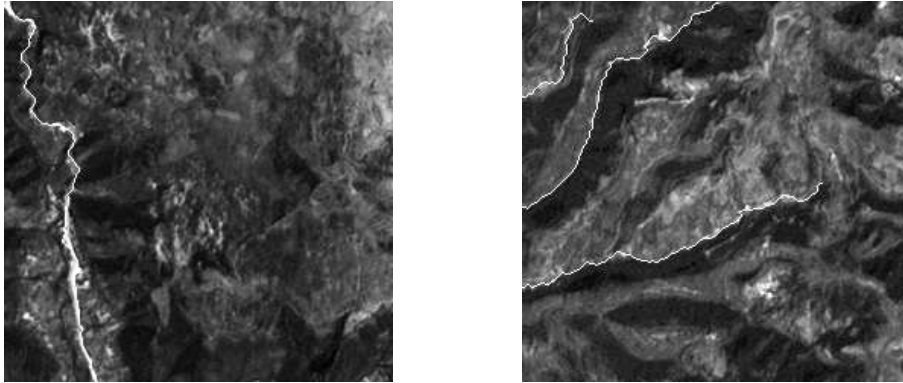


Figure 10 : Détection des lignes avec le potentiel adaptatif pour des images de configurations différentes

3.5 Recherches d'origine appliquée

La plupart des thèmes de recherche présentés ci-dessus sont liés à une ou plusieurs applications, qui servent en particulier de banc-test. Nous présentons ici des applications liées au domaine sur lequel nous nous focalisons (interprétation d'images liées à l'observation de la Terre), mais qui présentent une certaine autonomie par rapport à ces thèmes, et un caractère appliqué plus marqué.

3.5.1 Analyse géomorphologique et structurale de la surface martienne

Participants : Marc Berthod, Luc Floissac

Ce travail s'inscrit dans l'avant-projet *VAP*. Le thème central est l'extraction d'informations géomorphologiques à partir de MNT et d'ortho-images. Il s'agit de bâtir des méthodes et des outils permettant d'extraire automatiquement (ou au moins d'aider à extraire) et de quantifier des caractéristiques du terrain. Des algorithmes ont été précédemment mis au point pour les problèmes suivants :

- caractérisation de bassins versants topographiques,
- étude des réseaux d'écoulement,
- extraction automatique des failles et des alignements de failles,
- recherche des zones de laves.

Nous avons cette année amélioré leurs performances, en prenant en compte l'aspect interaction avec un utilisateur expert. L'implantation de ces algorithmes au CNES est prévue en fin d'année.

3.5.2 Aide à la détermination de faciès pédopaysagers à partir de données satellitaires

Participants : Pierre Leymarie, Sandrine Mathieu

Ce travail traite de l'aide à la détermination de faciès pédopaysagers dans le cadre de l'assistance à la cartographie. Cette aide est focalisée sur la connaissance de l'occupation du sol du pixel d'une image satellitaire, qui s'exprimera comme une somme de pourcentages de mélange.

Nous proposons à cet effet une méthode s'appliquant à des images multispectrales SPOT XS ou Landsat TM, ayant subi des corrections radiométriques visant à supprimer les effets topographiques et atmosphériques de la prise de vue. Elle réside en une analyse linéaire mise en œuvre sur les canaux de la scène multispectrale. Les spectres de références sont choisis dans le plan des deux premiers facteurs de l'analyse, le processus de calcul des pourcentages de mélanges s'effectue sur la base d'un calcul de distances par rapport aux spectres de référence.

Cette méthode a été validée par la comparaison avec des classifications classiques de l'occupation du sol, ainsi que par la confrontation avec des vérités terrain.

Nous avons aussi analysé l'apport des valeurs de pourcentages de mélange pour la classification de l'occupation du sol. L'expression de l'occupation du sol du pixel comme la somme de pourcentages est celle qui s'approche le plus de la réalité.

La soutenance de thèse a eu lieu le 22 Septembre 1994 [5]. Ces travaux ont aussi été présentés dans différentes conférences, IGARSS'94 [22] et ICPR'94 [21]. Le logiciel a été mis à disposition de Cemagref et qu'il est utilisé de manière opérationnelle.

3.5.3 Fourniture d'expertise en architectures spécialisées pour la photo-interprétation

Participants : Gérard Giraudon, Konrad Weigl

Il s'agit d'une étude commandée par le CEPIA (Centre d'Etudes pour la Photointerprétation Inter-armées de l'armée française), concernant l'application des architectures parallèles d'ordinateurs dans le contexte de la photo-interprétation militaire.

Dans cette étude, nous avons analysé les besoins des demandeurs en aval du système de photo-interprétation, dérivé la structure du système en le considérant comme un système dynamique de traitement de données, le rôle du photo-interprète dans ce contexte, et finalement l'apport que l'exploitation multisource, le capteur radar à ouverture de synthèse et les architectures parallèles peuvent apporter pour optimiser le processus.

3.5.4 Prometheus

Participants : Marc Berthod, David Hutber

Le projet PROMETHEUS Prolab2 est un projet Eureka qui implique neuf équipes en France. Il a pour but d'étudier la faisabilité d'un système de sécurité pour la conduite automobile. Les années précédentes ont vu un certain nombre d'études se dérouler dans le cadre de mesures 3D pour l'évitement d'obstacles et la focalisation d'attention par fenêtres actives dans les images 2D. En particulier, nous avons fait une étude l'année dernière sur la fusion des capteurs, qui a consisté à la définition d'une architecture pour la fusion temporelle multicapteurs.

Cette année a été consacrée à la réalisation, l'intégration et la validation de l'approche fusion temporelle multicapteurs dans le cadre du véhicule Prolab2. Ce véhicule a été présenté aux ministères des gouvernements européens, la presse et les officiels du EU en octobre 1994 (BMM94), ainsi qu'aux scientifiques européens, américains et japonais (conférence *Intelligent Vehicles 94*).

Fusion Temporelle et Multicapteurs Il y a deux sous-systèmes de Prolab2; la perception et le copilote, et le module *Fusion* fait un lien entre les deux. La fusion est nécessaire parce qu'il y a plusieurs capteurs embarqués qui fournissent des informations complémentaires et redondantes.

Pendant la phase de la réalisation, intégration et validation du module *Fusion*, les problèmes génériques ont été étudiés ainsi que les problèmes techniques. Les problèmes génériques comprennent comment traiter les données asynchrones et non-monotones en temps, les stratégies possibles pour mettre en correspondance les observations et les événements qui existent déjà, comment traiter les fausses alarmes et cibles manquées, et le raisonnement et les contraintes imposées par les champs de vision des capteurs. Les problèmes techniques ont été l'utilisation d'un système d'exploitation temps-réel et les protocoles, *timing* et tolérance aux fautes de la communication entre plusieurs processus.

Résultats Le résultat de ce projet, qui se terminera fin 1994, est un système d'aide à la conduite, embarqué dans un véhicule. Grâce à plusieurs capteurs qui fournissent les informations de l'environnement extérieur, le système est capable de détecter les autres véhicules dans l'environnement, ainsi que le marquage au sol. Avec ces informations et les informations proprioceptives, le système est capable de détecter le danger d'une situation, et d'avertir le chauffeur si nécessaire.

3.5.5 Reconnaissance automatique des foraminifères planctoniques

Participants : Marc Berthod, Shan Yu

Nous avons aussi continué la recherche sur la reconnaissance automatique des foraminifères planctoniques. Le travail comprend deux parties : le développement d'outils d'analyse d'images pour l'extraction des paramètres descriptifs des foraminifères et celui d'un système à base de connaissances pour l'identification automatique des spécimens. Nous avons élargi le système à base de connaissances, et introduit de nouveaux prototypes dans la base. Cette étude a fait l'objet d'une présentation dans *the Tenth IEEE Conference on Artificial Intelligence for Applications* [35] et d'une publication (à paraître) dans le *Journal of Foraminiferal Research*.

4 Actions industrielles

G. Giraudon est, depuis 1989, chargé de la valorisation et des relations industrielles, pour l'UR de Sophia-Antipolis. Depuis Avril 1994, il s'oc-

cupe aussi fonctions de la coordination nationale de la valorisation et des relations industrielles à la direction de l'INRIA.

4.1 Conventions avec le CNES

Participants : Marc Berthod, Frédéric Falzon, Luc Floissac, Gérard Giraudon, Zoltan Kato, Franck Mangin, Fadi Sandakly, Konrad Weigl, Shan Yu, Josiane Zerubia

Les travaux menés dans le domaine de l'interprétation d'images SPOT font l'objet d'un soutien actif du CNES, et ce depuis plusieurs années. Ce soutien se prolonge par une récente convention de recherche dans le cadre du Plan à Moyen Terme de recherche du CNES, qui vient d'être lancé pour trois ans. Les travaux se situant dans le cadre de l'avant-projet VAP ont aussi fait l'objet d'une convention.

4.2 Convention avec l'Aérospatiale

Participants : Marc Berthod, Bruno Serra

La mise en correspondance subpixel décrite plus haut a été réalisée en vue d'un système de recalage pour la navigation à partir de séquences d'images FLIR (Forward-Looking Infra-Red) pour l'Aérospatiale, division Missiles.

4.3 Convention avec Syseca

Participants : Gérard Giraudon

Un certain nombre de logiciels de base ont été mis à disposition de Syseca, pour la mise en œuvre d'un système destiné à la photo-interprétation.

4.4 Convention avec le CEPIA

Participants : Gérard Giraudon, Konrad Weigl

Une étude sur les architectures spécialisées pour la photo-interprétation a été réalisée pour le CEPIA, dans le cadre d'une convention de conseil.

4.5 Projet PROMETHEUS

Participants : Marc Berthod, David Hutber, Rui-ha Ma

En collaboration avec l'action ORION, à Sophia, et le projet TEMIS de l'IRISA, le projet PROMETHEUS s'est effectué en liaison avec PSA et la RNUR.

4.6 Bourse CIFRE avec ISTAR

Participants : Marc Berthod, Stéphane Dupont

La faisabilité d'un système de restitution de modèles numériques de terrain à partir de couples interférométriques issus de radar à ouverture de synthèse s'effectue dans le cadre d'une convention CIFRE avec la société ISTAR.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

Des collaborations avec d'autres organismes de recherche se sont inscrites dans des cadres institutionnels :

- Contrat DRED pour l'étude des champs Markoviens Hiérarchiques en collaboration avec C. Graffigne (Univ. Paris-Sud), F. Heitz (IRISA), M. Sigelle (Télécom Paris), F. Prêteux (INT),
- Contrat DRED/GdRTdSI pour le financement d'un livre à paraître chez Masson sur la segmentation d'image,
- Invitation de S. Mallat, qui a donné un séminaire,
- Participation au PRC-GT1 et GT2.

5.2 Actions internationales

- Collaboration avec Olaf Kubler (ETH) à Zurich.
- Collaboration avec SRI (menlo park USA).
- Séminaires et visites de laboratoires: Université de Sao Paulo, Université de Laval (Québec), INO (Québec), CAPS (Lisbonne), INESC (Lisbonne), Acad. des Sciences de Hongrie (Budapest).

- J. Zerubia, Z. Kato, H. Shekarforoush et M. Berthod participent à un contrat de recherche (AFIRST) sur le parallélisme en vision par ordinateur avec l'Université Hébraïque de Jérusalem (avec Shmuel Peleg, Michael Werman et Nicolas Merlet).
- J. Zerubia, S. Tavitian et M. Berthod collaborent avec l'Université Catholique de Louvain (avec Guy Orban, Marc Van Hulle et Ruffin Vogels) dans le cadre d'une bourse HCM sur la catégorisation en vision.
- J. Zerubia participe à une action de recherche (collaboration France-Brésil) sur les champs de Markov et la théorie de la renormalisation appliquée à la vision par ordinateur avec l'Université de Sao-Paulo (Marcio Rillo et Joao Kogler) et le Courant Institute à New-York (Davi Geiger).

6 Diffusion des résultats

6.1 Enseignement

- Marc Berthod a donné 6 heures de cours au *DEA Robotique et Vision de l'Université de Nice Sophia-Antipolis*.
- Gérard Giraudon a donné des cours au *DEA Robotique et Vision de l'Université de Nice Sophia-Antipolis*, à Ecole d'ingénieur, à ENSTA, au Mines, et dans le privé (50 heures environs en total).
- Josiane Zerubia a donné 9 heures de cours au *DEA Robotique et Vision de l'Université de Nice Sophia-Antipolis*, 3 heures de cours à l'ISIA.

6.2 Participation à des conférences et colloques

- Des membres de l'équipe ont participé à des conférences et *workshops*; on se reportera à la bibliographie pour en avoir la liste.
- De nombreux séminaires ont été faits dans le cadre du PRC CHM et du GdR TDSI.

6.3 Organisation de colloques et de cours

- J. Zerubia (Projet Pastis) et F. Campillo (Projet Mefisto) ont organisé les séminaires du Groupe de Travail sur les Réseaux de Neurones à l'INRIA Sophia-Antipolis.

6.4 Diffusion de produits

- L'algorithme de détection de route sur des images satellitaire (ELIESER) fait en collaboration avec l'Université Hébraïque de Jérusalem (N. Merlet et J. Zerubia) a été déposé à l'APP. Un protocole d'accord de commercialisation a été signé entre l'INRIA et la *Yissum Research Development company of the Hebrew University of Jerusalem*. Des contacts industriels sont en cours (CNES, ACRI) en vue de son transfert.
- Deux algorithmes de classification d'image (Z. Kato, J. Zerubia et M. Berthod) basés sur une modélisation Markovienne monogridde et hiérarchique développés sur SUN ont été transférés au CNES et à L'Institut National des Télécommunications.
- Un algorithme de détection d'agglomération dans des images SPOT par réseaux de neurones a été transféré au CNES.

6.5 Autre

Présentation de nos résultats au grand public lors de journées *Sciences en fête* organisé par le ministère de la recherche.

7 Publications

Thèses

- [1] F. FALZON, *Analyse Multiéchelle, Détection des Singularités et Caractérisation de la Régularité des Images*, thèse de doctorat, Université de Nice - Sophia Antipolis, Déc. 1994.
- [2] Z. KATO, *Modélisations markovienne multirésolutions en vision par ordinateur. Application à la segmentation d'images SPOT*, thèse de doctorat, Université de Nice - Sophia Antipolis, Déc. 1994.

- [3] R. MA, *Analyse de Séquences d'Images Stéréoscopiques pour la Détection d'Objets dans un Environnement Routier*, thèse de doctorat, Université de Nice Sophia-Antipolis, Déc. 1994.
- [4] F. MANGIN, *Amélioration de la détection de contour en imagerie artificielle par un modèle coopératif multi-résolution*, thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, Fév. 1994.
- [5] S. MATHIEU, *Détermination de faciès pédopaysagers à partir de données satellitaires*, thèse de doctorat, Université de Paris 7, Sept. 1994.
- [6] K. WEIGL, *L'application des algorithmes neuromimétiques à la vision bas niveau*, thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, mai 1994.
- [7] J. ZERUBIA, *Contribution à la modélisation et à l'analyse statistique de signaux*, Thèse d'habilitation à diriger des recherches, Université de Nice Sophia-Antipolis, Sept. 1994.

Articles et chapitres de livre

- [8] F. FALZON, G. GIRAUDON, «Contributions of Fractional Calculus to Early Vision», *Fractals* 2, 6, 1994.
- [9] L. GABET, G. GIRAUDON, L. RENOARD, «Construction Automatique de Modèle Numérique de Terrain à Haute Résolution en Zone Urbaine», *Journal de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection* 3, 1994.
- [10] S. HOUZELLE, G. GIRAUDON, «Contribution to multisensor fusion formalization», *Robotics and Autonomous Systems* 13, 1994, p. 69–85.
- [11] D. HUTBER, T. VIÉVILLE, G. GIRAUDON, «Data Fusion for Reliable Detection and Tracking of Multiple Obstacles in a Road Environment - an Asynchronous Approach», *Transactions of IMACS*, avril 1994, p. 15–18.
- [12] S. URAGO, M. BERTHOD, J. ZERUBIA, «Restauration d'image de contours incomplets par modélisation par champs de Markov», *Traitement du Signal*, fin 1994.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [13] M. BERTHOD, H. SHEKARFOROUSH, M. WERMAN, J. ZERUBIA, «Reconstruction of High Resolution 3D Visual Information», *in : IEEE CVPR*, p. 654–657, juin 1994.
- [14] F. FALZON, G. GIRAUDON, «Caractérisation de la régularité ponctuelle : le calcul fractionnaire appliqué aux problèmes de vision bas niveau», *in : Neuvième congrès RFIA*, Paris, Jan 1994.

- [15] F. FALZON, G. GIRAUDON, «Singularity Analysis and Derivative Scale-Space», *in: IEEE Conf. Comp. Vision & Pattern Recognition*, Seattle, Juin 1994.
- [16] D. HUTBER, S. MOISAN, C. SHEKHAR, M. THONNAT, «Perception Interfacing via Multi-Sensor Data Fusion and Multi-Program Supervision for the Prolab2 Road Vehicle», *in: 7th IFAC/IFORS Symposium on Transportation Systems: Theory and Application of Advance Technology*, 3, août 1994.
- [17] D. HUTBER, Z. ZHANG, «A Two-Stage Approach to Multi-Sensor Temporal Data Fusion», *in: British Machine Vision Conference*, p. 721-730, septembre 1994.
- [18] J. LOTTI, G. GIRAUDON, «Adaptive Window Algorithm for Aerial Image Stereo», *in: Spatial Information from Digital Photogrammetry and Computer Vision*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, SPIE-The International Society for Optical Engineering, p. 517-524, Munich, Septembre 5-9 1994.
- [19] J. LOTTI, G. GIRAUDON, «Adaptive Window Algorithm for Aerial Image Stereo», *in: 12th International Conference on Pattern Recognition, 1*, IAPR, IEEE, p. 701-703, Jerusalem, Octobre 10-13 1994.
- [20] J. LOTTI, G. GIRAUDON, «Correlation Algorithm with Adaptive Window for Aerial Image in Stereo Vision», *in: Image and Signal Processing for Remote Sensing*, The European Symposium on Satellite Remote Sensing EUROPTO, SPIE-The International Society for Optical Engineering, Rome, Septembre 26-30 1994.
- [21] S. MATHIEU, P. LEYMARIE, M. BERTHOD, «Determination of proportions and entropy of land use mixing in pixels of a multispectral satellite image», *in: ICPR'94*, 1994.
- [22] S. MATHIEU, P. LEYMARIE, M. BERTHOD, «Determination of proportions of land use blend in pixels of a Landsat TM image», *in: IGARSS'94*, 1994.
- [23] N. MERLET, J. ZERUBIA, «New prospects in line detection for remote sensing images», *in: ICASSP*, Adelaide, Australie, Avril 1994.
- [24] D. MURRAY, J. ZERUBIA, «Multi-spectral data fusion using a MRF model : application to satellite image classification», *in: Workshop SSAP*, Québec, Canada, Juin 1994.
- [25] F. SANDAKLY, V. CLÉMENT, G. GIRAUDON, «Un système multi-spécialistes pour l'analyse de scène 3D», *in: Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle*, AFCET, Janvier 1994.

- [26] F. SANDAKLY, G. GIRAUDON, «Multispecialist System for 3D Scene Analysis», *in: ECAI 94, 11th European Conference on Artificial Intelligence*, A. Cohn (réd.), John Wiley & Sons, Ltd, p. 771, août 1994.
- [27] F. SANDAKLY, G. GIRAUDON, «Scene Analysis for a Mobile Robot», *in: EUFIT'94, Second European Congress On Intelligent Techniques and Soft Computing*, septembre 1994.
- [28] F. SANDAKLY, G. GIRAUDON, «Scene Analysis System», *in: IEEE International Conference on Image Processing*, novembre 1994.
- [29] B. SERRA, M. BERTHOD, «Subpixel Contour Matching Using Continuous Dynamic Programming», *in: Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, p. 202–207, Seattle, 1994.
- [30] L. TRASSOUDAIN, D. HUTBER, P. CHECCHIN, J. ALIZON, J. GALICE, M. THONNAT, «Building an Environment Map around the Prolab2 Vehicle Using a Controllable Range Sensor», *in: Intelligent Vehicles*, p. 562–567, octobre 1994.
- [31] S. URAGO, J. ZERUBIA, M. BERTHOD, «A Markovian model for contour grouping», *in: Proc. of the 12th International Conference on Pattern Recognition*, Jerusalem Israel, Oct 1994.
- [32] B. VASSELLE, G. GIRAUDON, M. BERTHOD, «Following Corners on Curves and Surfaces in the Scale Space», *in: Computer Vision - ECCV'94, 1*, p. 109–114, Stockholm, Sweden, Mai 1994.
- [33] S. YU, M. BERTHOD, «Urban Area Detection in Satellite Images Using Map Knowledge by a Feedback Control Technique», *in: Proc. of the 12th International Conference on Pattern Recognition, 1*, p. 98–102, Jerusalem Israel, Oct 1994.
- [34] S. YU, G. GIRAUDON, M. BERTHOD, «Using Map knowledge for Satellite Image Analysis», *in: Proc. of The European Symposium on Satellite Remote Sensing, 2315*, Rome, Italy, Sept 1994.
- [35] S. YU, M. THONNAT, M. BERTHOD, «Automatic Classification of Planktonic Foraminifera by a Knowledge-Based System», *in: Proc. of the Tenth IEEE Conference on Artificial Intelligence for Applications*, p. 358–364, San Antonio, Texas, USA, Mars 1994.
- [36] J. ZERUBIA, Z. KATO, M. BERTHOD, «Multi-Temperature Annealing: A New Approach for the Energy-Minimization of Hierarchical Markov Random Field Models.», *in: Proc. ICPR'94*, Jerusalem, Israel, Oct. 1994.

Rapports de recherche et publications internes

- [37] M. BERTHOD, G. GIRAUDON, Z. KATO, S. YU, E. VOLDEN, J. ZERUBIA, «Extraction d'information dans des images SPOT», *Contrat CNES numéro 833/cnes/94/1021/00*, INRIA, Nov. 1994.
- [38] S. DUPONT, M. BERTHOD, «Interferométrie radar et Déroulement de phase», *rapport de recherche n°RR-2344*, INRIA, Sophia-Antipolis, France, septembre 1994.
- [39] G. GIRAUDON, K. WEIGL, «Rapport d'expertise sur le besoin en architectures dédiées dans le domaine de la photointerprétation assistée par ordinateur pour les aspects liés à l'imagerie radar et à l'exploitation multisources», *numéro de commande 11337*, INRIA, Sept. 1994.
- [40] C. GRAFFIGNE, F. HEITZ, F. PRÊTEUX, M. SIGELLE, J. ZERUBIA, «Modèles Markoviens hiérarchiques pour l'analyse d'image», *Rapport de synthèse GDR TDSI 134 et DRED*, Nov. 1994.
- [41] E. VOLDEN, M. BERTHOD, G. GIRAUDON, «Modelling Image redundancy», *rapport de recherche*, INRIA, Sophia-Antipolis, France, Nov. 1994.

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 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).

Research actions

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. The applications cover segmentation, iconic features extraction 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. We are presently extending this approach to 3D robotic scenes interpretation (using the *same* system), and also by integrating external data sources (such as a Geographic Information System) for a better interpretation of satellite imagery.

Table des matières

1	Composition de l'équipe	1
2	Présentation du projet	2
3	Actions de recherche	4
3.1	Reconstruction du relief	4
3.1.1	Stéréo haute résolution par corrélation de fenêtres adaptatives	4
3.1.2	Interférométrie SAR	5
3.1.3	Mise en correspondance optimale subpixel de contours	8
3.1.4	Amélioration de la résolution par fusion de capteurs	9
3.1.5	Relief à partir de la radiométrie	10
3.1.6	Interprétation de scènes dans un environnement 3D	11
3.1.7	Estimation optimale et robuste du mouvement à partir des données 3D	12
3.2	Approches connexionistes et neuromimétiques	14
3.2.1	Catégorisation	14
3.2.2	Groupement perceptuel de contours par méthode connexioniste	15
3.2.3	Restauration d'image par Machine de Boltzmann Déterministe	16
3.3	Modélisation par champs de Markov	16
3.3.1	Groupement perceptuel des contours par méthode markovienne	17
3.3.2	Classification non-supervisée d'image	17
3.3.3	Classification supervisée d'image par la théorie de la renormalisation	19
3.3.4	Modélisations de la redondance d'images	19
3.3.5	Analyses des images SPOT avec des connaissances cartographiques	20
3.4	Extraction d'attributs iconiques	21

3.4.1	Détection des singularités et caractérisation de la régularité des images	21
3.4.2	Analyse multi-échelle de régularité	22
3.4.3	Extraction de ligne par programmation dynamique	23
3.5	Recherches d'origine appliquée	24
3.5.1	Analyse géomorphologique et structurale de la surface martienne	24
3.5.2	Aide à la détermination de faciès pédopaysagers à partir de données satellitaires	25
3.5.3	Fourniture d'expertise en architectures spécialisées pour la photo-interprétation	26
3.5.4	Prometheus	26
3.5.5	Reconnaissance automatique des foraminifères planctoniques	27
4	Actions industrielles	27
4.1	Conventions avec le CNES	28
4.2	Convention avec l'Aérospatiale	28
4.3	Convention avec Syseca	28
4.4	Convention avec le CEPIA	28
4.5	Projet PROMETHEUS	29
4.6	Bourse CIFRE avec ISTAR	29
5	Actions nationales et internationales	29
5.1	Actions nationales	29
5.2	Actions internationales	29
6	Diffusion des résultats	30
6.1	Enseignement	30
6.2	Participation à des conférences et colloques	30
6.3	Organisation de colloques et de cours	31
6.4	Diffusion de produits	31

6.5 Autre	31
7 Publications	31
8 Abstract	35