

---

# Projet AIR

## Traitement d'image et données satellites dynamiques

---

**Localisation :** *Rocquencourt*

**Mots-clés :** analyse de données, cartographie, contour actif, contour spatio-temporel, déformation, évolution temporelle, fonction implicite, fusion de données, imagerie radar, méthode variationnelle, modèle markovien, modèle numérique de terrain, modélisation statistique, mouvement, multirésolution, observation terre-mer-atmosphère, recalage d'images, reconnaissance du visage, segmentation d'image, séquence d'images, télédétection, traitement d'image, visualisation scientifique.

### 1 Composition de l'équipe

#### Responsable du projet

Isabelle Herlin, Directeur de recherche (*à partir du 1er octobre 1996*), INRIA

#### Responsable permanent

Hussein Yahia, Chargé de recherche, INRIA

#### Secrétariat

Muriel de Bianchi, en commun avec Estime, Ondes et Oscar, INRIA

Alice Guilbert, en commun avec Estime, Ondes et Oscar, INRIA

#### Personnel INRIA

Jean-Paul Berroir, chargé de recherche (*à partir du 1er octobre 1996*), INRIA

Isaac Cohen, chargé de recherche, INRIA

#### Ingénieur expert

Jean-Paul Berroir, (*jusqu'au 30 septembre 1996*), INRIA

#### Chercheur invité

Nadjia Benblidia, maître assistante, Université de Blida, Algérie, du 11 novembre au 11 décembre 1996

#### Chercheurs doctorant

Dominique Béréziat, université de Paris 11

Sonia Bouzidi, université de Paris 7

Etienne Huot, université de Caen

Bertrand Leroy, (*jusqu'au 30 septembre 1996*), université de Paris 9-Dauphine

**Stagiaire**

Christophe Cubier, ingénieur-élève ENIC

**I.T.A.**

Jean-Paul Chièze, en commun avec Fractales et SYNTIM, INRIA

**Collaborateurs extérieurs**

Laurent Cohen, CNRS - Paris 9, Dauphine

Christine Graffigne, Université Paris 5

Bertrand Leroy, (*à partir du 1er octobre 1996*) DBIM - Hôpital Saint-Louis,  
CHU Lariboisière

Laurent Younes, Centre de Mathématiques et Leurs Applications de Cachan

**Conseillers scientifiques**

Gérard Giraudon, Projet PASTIS, INRIA

Eric Simon, Projet RODIN, INRIA

## 2 Présentation du projet

Le projet AIR est dédié à l'étude des images dynamiques d'observation de la terre, des mers et de l'atmosphère obtenues par télédétection. Le projet peut être décrit selon trois axes différents : les problématiques en traitement d'image, les applications thématiques et enfin l'analyse des données produites par différents capteurs satellitaires. Chacune des activités de recherche du projet peut également être présentée selon ces trois axes.

D'un point de vue scientifique, le but du projet AIR est de définir les potentialités du traitement d'image pour l'exploitation des données satellitaires dynamiques. Les activités de recherche de l'équipe sont actuellement regroupées en deux catégories principales :

1. La modélisation des structures correspondant aux observations terre-mer-atmosphère obtenues par télédétection. Cet aspect recouvre par exemple la modélisation et le suivi à des fins de prédiction de nuage, vortex, glissement de terrain,...
2. L'étude de l'évolution temporelle des phénomènes naturels regroupe des études sur le mouvement, la déformation et l'analyse sub-pixelique pour des couplages de capteurs.

Les applications thématiques auxquelles s'intéresse le projet sont variées allant de la météorologie, à l'étude de l'évolution de la végétation ou de la forêt en passant par l'océanographie, l'étude des mouvements de terrain, ... ; ces études sont menées en collaboration avec des scientifiques des domaines concernés qui nous soumettent leurs problèmes et valident les résultats obtenus et l'intérêt de l'algorithmique développée.

Enfin une attention particulière est donnée à l'étude des propriétés intrinsèques des différents capteurs : SPOT, NOAA, ERS, Meteosat, ... ; et aux possibilités d'une utilisation conjuguée pour des modèles multicapteurs avec des résolutions temporelle et spatiale variables.

À terme, l'objectif du projet AIR concerne la participation à la création d'un système de gestion et de traitement des images satellites pour l'étude de l'évolution, ou la création d'alertes, dans les applications environnement.

## 3 Actions de recherche

### 3.1 Évolution de la végétation

*Participants* : Jean-Paul Berroir, Sonia Bouzidi, Isabelle Herlin

*Mots-clés* : cartographie, évolution temporelle, fusion de données, multirésolution, recalage d'images, séquence d'images.

L'étude de l'évolution de la végétation est une application importante pour la modélisation de l'environnement. Les applications concernent la surveillance des qualités et quantités de culture, l'évaluation d'impact de la sécheresse, ... L'objectif principal de cette étude est de discriminer les différents types de couvert végétal par l'analyse de leur évolution temporelle.

Pour mener à bien cette étude, il faut disposer d'un capteur à fines résolutions spatiale et temporelle. Aucun satellite existant ne réunissant cette double caractéristique, nous avons choisi d'utiliser deux capteurs complémentaires : SPOT (figure 1) est doté d'une résolution spatiale d'environ 20m, pour une acquisition tous les 26 jours ; le capteur NOAA-AVHRR (figure 2) a une résolution spatiale de 1.1km et fournit des données quotidiennes. L'étude est menée sur un site situé autour de Chartres. L'utilisation combinée des deux sources d'information se fait en trois étapes :

- Dans un premier temps, on extrait l'information spatiale d'une image SPOT : les caractéristiques des réflectances pures sont apprises sur l'image au moyen des données terrain et on utilise un modèle markovien, qui réalise un compromis entre la régularité de la segmentation et la confiance aux données, pour segmenter l'image. Comme deux types de végétation différents peuvent avoir la même réponse spectrale à une date donnée, la segmentation obtenue peut présenter de nombreuses confusions. On procède alors à un regroupement des couverts végétaux pour aboutir à une segmentation grossière mais sûre.
- L'information temporelle est extraite des données NOAA : on estime le profil temporel de la réponse spectrale de chaque type de végétation. Le problème est qu'étant donnée la résolution spatiale du capteur NOAA, aucun pixel n'est constitué d'un type unique de végétation. On se donne alors un modèle linéaire de réflectance NOAA : la réflectance d'un pixel est la somme sur tous les types de végétation présents dans le pixel de leur réflectance "pure" pondérée par leur surface au sol. Il est alors possible de calculer les réflectances des classes pures pour toutes les dates (figure 3) en utilisant les données terrain.
- Certaines confusions existent à ce niveau : l'image SPOT est segmentée en régions considérées comme homogènes bien que constituées de plusieurs types élémentaires de couvert végétal. En calculant la proportion de chacune de ces régions regroupées dans tous les pixels NOAA et en utilisant les réflectances NOAA des classes pures, on génère une séquence d'images correspondant à l'évolution théorique de la végétation si la segmentation était correcte. La comparaison de cette prédiction et de l'évolution constatée permet de lever certaines confusions : si, à une date donnée, cette différence est importante, il faut étudier une image SPOT à une date proche pour séparer les régions regroupées en composantes individuelles.

Ces travaux sont menés dans le cadre d'une convention de recherche avec le CNES ; ils sont également en relation avec les travaux menés par le projet "*Integration of VEGETATION and HRVIR data into yield estimation approach*" soutenu par le programme VEGETATION de l'*International User Comitty* et à ce titre nous avons bénéficié des données mises à disposition par le Centre Commun de Recherche d'Ispra (projet MARS).

Figure 1: Extrait ( $512 \times 512$ ) de l'image SPOT -canal 1- du 28/6/95, avec la classification correspondante.

Figure 2: Partie d'une image NOAA -canal 1- correspondant au site d'étude.

Figure 3: Réflectances NOAA -canal 1- estimées pour les céréales, les zones urbaines et le bois (graphes du plus clair au plus foncé, de haut en bas).

### 3.2 Segmentation d'images d'interférométrie radar

*Participants* : Etienne Huot, Isaac Cohen, Isabelle Herlin

*Mots-clés* : imagerie radar, modèle markovien, segmentation d'image.

La télédétection par interférométrie radar, permet de quantifier avec précision des informations spatio-temporelles tridimensionnelles. Cette possibilité d'observation de larges étendues permet de cartographier le relief terrestre et l'évolution de zones en déplacement (volcan, glissement de terrain, glacier,...).

L'information de phase mesurée par cette technique n'est néanmoins connue qu'à un modulo  $2\pi$  près. Par l'intermédiaire de techniques de *déroulement de phase*, on peut s'affranchir de ce modulo  $2\pi$  (en retrouvant l'*ordre*, c'est à dire le bon nombre de fois  $2\pi$  à rajouter à la phase afin de lever l'ambiguïté), pour obtenir une mesure directement proportionnelle à l'altitude.

Pour segmenter l'image en régions de même sorte, nous utilisons une méthode locale autorisant des contraintes globales. Le processus de déroulement s'effectue par itérations de trois étapes successives : un déroulement local pixel par pixel (étape 1), amélioré ensuite par une segmentation basée sur une modélisation markovienne optimisée par une méthode déterministe (étape 2), suivie par une détection des discontinuités (étape 3) corrigées par une nouvelle itération du processus. La figure 4 illustre les différentes étapes qui mènent au déroulement de phase d'un interférogramme.

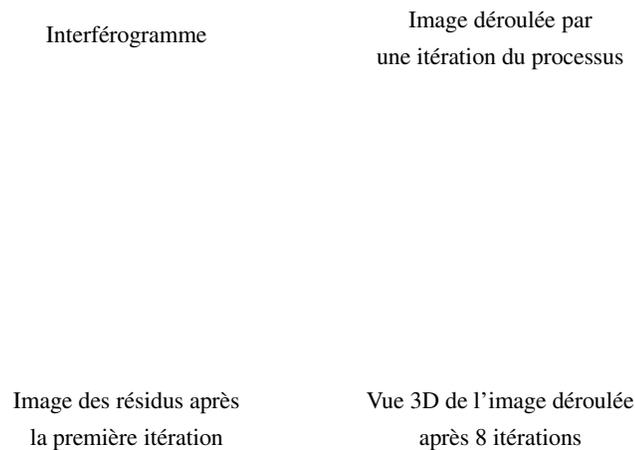


Figure 4: Différentes étapes menant au déroulement de l'interférogramme de l'Etna (image créée par le CNES).

Les produits interférométriques qui ont servis à cette étude ont été fournis par D. Massonnet du Centre National d'Études Spatiales, C. King du Bureau de Recherche en Géologie Minière et J.-A. Sirat de MATRA Cap Systèmes.

### 3.3 Dynamique littorale par imagerie radar

*Participants* : Etienne Huot, Isabelle Herlin

*Mots-clés* : évolution temporelle, imagerie radar, séquence d'images.

Les ondes radars étant très faiblement affectées par les conditions climatiques, l'acquisition de données peut se faire quelle que soit la couche nuageuse. Les radars sont donc les seuls capteurs à pouvoir imager les régions tropicales humides en toutes saisons. Les images fournies, très sensibles aux modifications d'état de surface, permettent de rendre compte des changements intervenus.

Dans le contexte d'une proposition acceptée par le PNTS (Programme National de Télédétection Spatiale) sur la création d'un groupe de travail étudiant les spécificités du multi-temporel en imagerie radar, nous travaillons sur l'étude de la dynamique littorale. Grâce à des séries de clichés de la côte de la Guyane française, acquis sur une durée de plusieurs mois avec les mêmes conditions de marée, nous étudions l'évolution de l'envasement du littoral en utilisant la technique de mise en correspondance par surface interpolante proposée par J.-P. Berroir [423, 425] et adaptée à l'aspect multiplicatif du *speckle* sur le signal radar. Après avoir extrait le dessin de la côte sur chacune des images, on est ainsi en mesure de décrire son évolution inter-image.

La figure 5 montre l'évolution du littoral sur six mois, le contour blanc représente la côte telle qu'elle était en mai 1992, alors que le cliché superposé a été pris en novembre de la même année. On remarque au centre de l'image une zone sombre où l'on distingue nettement la progression de l'envasement.

Figure 5: Évolution du trait de côte en Guyane française.

Ce travail s'effectue en collaboration avec J.-P. Rudant du Laboratoire de Géologie Structurale et Télédétection.

### 3.4 Utilisation de l'interférométrie SAR pour compléter et améliorer un MNT SPOT

*Participant* : Isaac Cohen

*Mots-clés* : déformation, fusion de données, imagerie radar, modèle numérique de terrain.

Les techniques de stéréorestitution SPOT présentent un certain nombre de limitations : localisation absolue, problèmes de corrélation (temporelle ou autre), nuages... Par ailleurs la génération d'un MNT par l'utilisation du Radar à Synthèse d'Ouverture (RSO), essentiellement réalisée par technique interférométrique, présente également des limitations : difficulté du déroulement de phase, incohérence de certaines régions (effet temporel), recouvrement et effets géométriques, effets atmosphériques et différentiels. De manière générale, aucune des deux approches ne permet d'obtenir automatiquement

un MNT fiable de bonne qualité. Nous proposons une approche de fusion d'information SPOT/ERS pour la réalisation et l'amélioration d'un MNT. Ces derniers seront modélisés à l'aide d'une surface déformable contrainte par les informations issues :

- d'un MNT SPOT initial,
- d'un interférogramme ERS (amplitude, cohérence et phase),
- d'une image d'interférométrie différentielle.

Les contraintes scalaires sont calculées à partir du produit interférométrique CNES. Elles s'appuient sur des points ou des courbes caractéristiques. Pour contraindre l'altitude le long d'une courbe d'isovaleur, on localise cette courbe à partir des contours des franges présentes dans l'image de phase. Les contraintes vectorielles modélisent les variations topographiques ou les gradients extraits de l'image de phases. Ces gradients sont calculés localement et caractérisent la pente et l'orientation du relief.

### 3.5 Segmentation d'un tourbillon dans les images météorologiques

*Participants* : Dominique Béréziat, Isabelle Herlin.

*Mots-clés* : contour spatio-temporel, modèle markovien, modélisation statistique.

L'étude de l'évolution des nuages, sujet majeur en météorologie, passe par une détection préliminaire des structures nuageuses. Nous travaillons sur des images infrarouges d'un tourbillon nuageux. Le modèle markovien utilisé actuellement, pour réaliser la segmentation d'un nuage, exploite uniquement les informations spatiales des images, bien que des informations temporelles puissent être intégrées. Trois propriétés principales sont considérées :

- le tourbillon constitue une région de l'image homogène en niveau de gris,
- le tourbillon est délimité par des pixels ayant une norme de gradient spatial élevée,
- la courbe frontière à obtenir est régulière.

L'homogénéité et la régularité se traduisent dans l'énergie du modèle par :

$$U(x, y) = \sum_{s \in C(x)} \left( \left( \frac{im_s - \mu}{\sigma} \right)^2 - f(y) \right) + \sum_{\langle s, t \rangle} x_s x_t \quad (1)$$

où :

- $x$  est la variable aléatoire décrivant le processus de la segmentation :  $x_s \in \{-1, 1\}$ ,  $x_s = 1 \leftrightarrow$  le pixel  $s$  est dans la région.
- $x$  est la variable aléatoire décrivant les données (niveau de gris, gradient, contours),
- $x_s = 1 \leftrightarrow s \in C(x)$ ,
- $f(y)$  est un seuil d'acceptation du test gaussien calculé localement qui exprime la deuxième propriété précédemment citée.

$$f(y) = T + \beta * grad_s(1 - cont_s) \quad (2)$$

Cette fonctionnelle d'énergie est ensuite minimisée par un ICM (Iterated Conditional Mode), méthode itérative déterministe. L'avantage de cette méthode est sa vitesse de convergence (20 itérations suffisent ; et sur une DEC-Alpha, le temps de calcul est de l'ordre de la seconde). La segmentation du vortex est une étape préliminaire pour l'analyse du mouvement de cette structure présentée dans la section suivante. Les images ont été obtenues dans le cadre d'une collaboration académique avec Mrs Desbois et Szantai du Laboratoire de Météorologie Dynamique.

Figure 6: À gauche : l'initialisation, à droite : le résultat après 20 itérations et lissage .

### 3.6 Mouvement d'ensemble et déformation sur les images météorologiques

*Participants* : Dominique Béréziat, Isabelle Herlin, Laurent Younes.

*Mots-clés* : déformation, mouvement, séquence d'images.

La compréhension du mouvement des structures météorologiques est un problème ouvert. Pour certains types de nuage, une modélisation physique est possible mais coûteuse. Pour d'autres structures telles que les nuages d'orage tropical, il n'existe pas de modèle physique valide. Il est donc nécessaire d'effectuer l'analyse du mouvement sur l'image.

L'objectif est de pouvoir estimer les composantes principales du mouvement et de la déformation de ces structures afin de pouvoir proposer un modèle global d'évolution. Une étape consiste à effectuer un suivi de chacun des pixels de la courbe frontière de la structure. Étant donné le grand nombre de points à traiter, il faut préalablement effectuer une méthode de simplification des structures basée sur l'obtention du squelette de la région (fig. 7). Une seconde étape consiste à utiliser un algorithme de flot optique où l'on cherche à estimer le mouvement avec des contraintes sur sa nature.

Figure 7: Exemple de simplification d'une région par un algorithme de squelettisation.

Nous supposons ici une contrainte sur le déplacement  $w$  d'un pixel  $p$  du type translation, rotation et dilatation :

$$w(p) = \begin{cases} a_1 + a_2x + a_3y \\ a_4 + a_5x + a_6y \end{cases} = B(p)\Theta, \quad (3)$$

où  $\Theta$  représente les six paramètres  $a_i$  du modèle de mouvement et  $B(p)$  :

$$B(p) = \begin{pmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{pmatrix}. \quad (4)$$

L'hypothèse du flot optique (conservation du niveau de gris) s'écrit alors :

$$w\nabla I + I_t = 0. \quad (5)$$

En remplaçant le système 3 dans l'équation 5, le calcul du flot optique  $w$  se ramène à l'estimation des paramètres  $\Theta$  dans un système linéaire du type :

$$Y\Theta - Z = 0, \quad (6)$$

avec  $Y = (\nabla I.B(p), 1)$  et  $Z = -I_t$ .

### 3.7 Suivi de structure nuageuse en imagerie météorologique

*Participants* : Jean-Paul Berroir, Isabelle Herlin, Isaac Cohen

*Mots-clés* : déformation, évolution temporelle, modélisation géométrique, mouvement.

L'étude du mouvement des nuages sur les séquences d'images météorologiques permet d'obtenir des informations essentielles sur leur vitesse et leur activité. La difficulté de cette étude réside dans le fait que les nuages sont sujets à des déformations très importantes, tant en taille qu'en forme, au cours de leur mouvement. C'est en particulier le cas des structures tourbillonnaires, d'importance fondamentale en météorologie. La figure 8 montre quelques occurrences de telles structures sur des images METEOSAT, dans le canal infra-rouge. Nous sommes clairement dans un contexte de mouvement non rigide. Par ailleurs, la vitesse du déplacement ainsi que les déformations subies par la structure font qu'on ne peut faire l'hypothèse habituelle de "petite déformation", qui consiste à considérer comme significatives des caractéristiques locales telles que les extrema de courbures.

Figure 8: Trois occurrences d'une dépression sur une image METEOSAT. La segmentation des tourbillons est effectuée à l'aide d'un modèle de contour actif.

Nous avons développé une méthode permettant d'effectuer une mise en correspondance de deux occurrences d'un tourbillon en s'affranchissant de cette hypothèse. Nous considérons que le mouvement de la frontière du tourbillon (bidimensionnelle) engendre une surface tridimensionnelle, la troisième dimension étant le temps. Nous calculons cette surface, sachant qu'elle interpole les deux contours donnés, et que le mouvement est le résultat de phénomènes physiques particuliers. Nous cherchons donc un modèle d'évolution du contour nous permettant de générer la surface. Comme l'information physique est en grande partie indisponible dans l'état actuel de notre travail, nous adoptons un modèle d'évolution basé sur des contraintes géométriques : la surface minimise sa propre distortion locale, qui est mesurée par la norme de la première forme fondamentale moins l'identité. La figure 9 montre quelques résultats obtenus sur la séquence d'images METEOSAT fournie par le Laboratoire de Météorologie Dynamique.

Figure 9: Mise en correspondance d'occurrences temporelles du tourbillon avec la dernière occurrence disponible. L'hypothèse de petite déformation n'est pas valide.

### 3.8 Suivi et déformation de contour par fonction implicite.

*Participants* : Hussein Yahia, Isabelle Herlin

*Mots-clés* : déformation, fonction implicite, mouvement, séquence d'images.

Des outils basés sur les fonctions implicites (rapport d'activité 1995) sont utilisés pour modéliser le mouvement sur des séquences d'images. Nous avons utilisé une séquence METEOSAT d'images infrarouges de température atmosphérique représentées sur la figure 10. Les méthodes classiques de détection de contours par filtrage produisent un ensemble de pixels susceptible d'être approximé par une spline  $C^2$ , laquelle sert au calcul ultérieur des courbures du contour implicite. En appliquant sur cette séquence d'images une fonctionnelle d'énergie dont le minimum fournit un contour implicite d'approximation, nous avons déterminé une estimation du mouvement de la structure reposant uniquement sur une initialisation pour l'image de départ. Le mouvement global de la structure est ainsi représenté par la cinématique des points clefs définissant le contour implicite. Les résultats sont présentés figure 11.

Figure 10: *Séquence temporelle METEOSAT (Laboratoire de Météorologie Dynamique).*

En poursuivant l'étude de la représentation dynamique du mouvement des particules associées aux objets implicites, nous avons également développé une méthode de transformation d'objets reposant

Figure 11: *Approximation du mouvement de la structure par contour implicite.*

sur des approximations implicites. Les deux objets à transformer (objets 2D de topologie quelconque) sont approximés par des contours implicites, puis un *Minimum Spanning Tree* (MST) est construit pour chaque objet. En parcourant les MST en profondeur d'abord, et en utilisant à chaque étape, des méthodes d'interpolation adaptées aux points clefs positifs et négatifs, il est possible de transformer un objet en l'autre en évitant les artéfacts classiques de l'interpolation par fonctions implicites.

### 3.9 Développement d'outils d'aide à la simulation

*Participants* : Hussein Yahia

*Mots-clés* : visualisation scientifique.

Figure 12: *Session Axis.*

Afin de disposer d'outils de visualisation 3D et de traitement d'image permettant de simuler et de traiter les images obtenues par différents capteurs, nous poursuivons les activités de développement d'Axis, une plateforme adaptée aux besoins image du projet AIR. Axis est écrit en C sous OpenGL, GLX, les

librairies Tcl-Tk, Tree, Blt, Itcl, et Radiance pour le rendu. Une session d'Axis est présentée sur la figure 12. Pour le projet AIR, l'utilité d'Axis est de proposer une plateforme flexible 3D comprenant un modéleur géométrique, un système d'animation et de rendu permettant la simulation de capteurs sur des données synthétiques et réelles et intégrant les outils de visualisation associés. Le couplage modèle 3D/imagerie 2D qui sera prochainement disponible dans Axis, permettra une coopération simulation/requête et une intégration progressive de systèmes de base de données.

### 3.10 Vérification de l'identité d'un visage par mesure de déformation

*Participants* : Bertrand Leroy, Isabelle Herlin, Laurent Cohen

*Mots-clés* : contour actif, déformation, reconnaissance du visage.

Figure 13: En haut : visages originaux ; en bas à gauche : résultat de la déformation du visage de droite vers le visage de gauche ; en bas à droite : résultat de la déformation du visage de gauche vers le visage de droite.

Cette activité, marginale pour le projet AIR, a été effectuée dans le cadre d'un projet de recherche du PRC Communication Homme-Machine, débuté préalablement à la création effective du projet AIR. Le projet AMIBE est arrivé à échéance en Septembre 1996. Il se propose d'expérimenter une interface multimodale homme-machine intégrant le son et l'image dans le cadre d'une transaction de guichet bancaire utilisant la parole. Nous nous sommes principalement intéressés au système de vérification d'identité par mode vidéo. Les données utilisées sont des séquences audio-vidéo de locuteurs filmés de face avec un éclairage fixe.

Après avoir développé des méthodes permettant de localiser et d'extraire des éléments significatifs du visage, nous avons étudié le problème de l'identification. Il s'agit de déterminer le degré de ressemblance entre deux visages en calculant le coût de la déformation devant être appliquée à une image de visage afin de la rendre superposable avec une image d'un autre visage.

L'approche choisie pour notre processus d'identification est une approche géométrique qui nécessite, préalablement à la phase d'identification, de localiser et d'extraire les éléments significatifs du visage (yeux, nez et bouche). On obtient ainsi pour chacun des objets considérés une courbe représentant la frontière de cet élément. Le calcul du coût de la déformation, permettant de passer d'un visage à un

autre, revient donc à estimer la déformation devant être appliquée à un ensemble de points caractéristiques extraits de ces courbes, afin que ces points se superposent à ceux obtenus sur le deuxième visage.

À cet effet, nous utilisons une classe de déformation de type “plaque mince”. La mesure de ressemblance est constituée de deux termes : une fonctionnelle d’énergie quantifiant la déformation et un terme de relaxation pondéré permettant d’attribuer un poids plus faible aux points caractéristiques les plus mobiles.

Différents tests ont été effectués qui ont permis de montrer l’intérêt de cette méthode lorsqu’elle est couplée à une normalisation préalable par transformation affine. Il est ainsi possible d’autoriser une certaine mobilité de la tête sans que le taux de reconnaissance diminue sensiblement.

## **4 Actions industrielles**

### **4.1 CNES**

Une convention de recherche lie le CNES aux trois projets INRIA : AIR-PASTIS-SYNTIM. Notre contribution concerne la caractérisation de l’évolution de la végétation.

### **4.2 Thomson/Syseca et IGN**

Les projets AIR et PASTIS 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 semi-automatique de l’imagerie tridimensionnelle. Les domaines applicatifs concernés ont trait à la valorisation des images produites par les systèmes d’observation de la Terre.

### **4.3 Matra Cap systèmes**

Le projet AIR vient a soumis fin 1996, en collaboration avec MATRA Cap Systèmes, une nouvelle proposition de recherche au CNES. Cette proposition a pour objectif d’extraire des informations géométriques des interférogrammes et interférogrammes différentiels SAR pour contraindre et affiner les modèles numériques de terrain SPOT.

## **5 Actions nationales et internationales**

### **5.1 Actions nationales**

#### **5.1.1 Collaborations avec des laboratoires**

Le projet AIR a établi différents types de collaborations sur le plan scientifique ou applicatif.

Pour les recherches en traitement d’image, on peut citer des collaborations avec :

- Le Cérémade sur les méthodes variationnelles appliquées à l’imagerie, Laurent Cohen ;
- L’université Paris 5 sur les problèmes de champ markovien appliqué à l’imagerie, Christine Grafigne ;
- Le CMLA, Laurent Younes du groupe DIAM co-encadre la thèse de Dominique Béréziat.
- L’ENST sur les problèmes d’interférométrie radar, Henri Maitre et Jean-Marie Nicolas ;

- Les projets PASTIS et TEMIS à l'Inria sur le traitement d'image.

Au niveau des applications, nous avons établi des collaborations avec les laboratoires suivants :

- Institut Pierre Simon Laplace, en particulier avec le LODYC pour l'océanographie et le LMD pour la météorologie ;
- Laboratoire d'Étude et de Recherche en Télédétection Spatiale et le Centre d'Étude Spatiale des Rayonnements et la société SCOT Conseil à Toulouse sur les problèmes de végétation observée par capteur satellite ;
- Laboratoire de géotectonique de l'Université Paris 6 sur les problèmes de dynamique littorale observée par imagerie SAR ;
- Bureau de Recherche en Géologie Minière à Orléans sur les problèmes de glissement de terrain observés par interférométrie différentielle.

### 5.1.2 Actions en cours

- AMIBE : collaboration dans le cadre d'un projet de recherche du PRC Communication Homme-Machine, sur le problème des interfaces bancaires ;
- Programme PNTS sur la végétation : action commune avec le Laboratoire d'Étude et de Recherche en Télédétection Spatiale et le Centre d'Étude Spatiale des Rayonnements à Toulouse, financée par le Programme National de Télédétection Spatiale (1995-1997) et portant sur l'évolution de la végétation en zone de savanes ;
- Programme PNTS imagerie radar : animation d'un groupe de travail, financé par le Programme National de Télédétection Spatiale (1996-1997), et portant sur les spécificités de l'acquisition multi-temporelle SAR ;
- Participation au groupe de travail sur l'indexation multimédia, animé par Patrick Bouthemy du projet TEMIS.

### 5.1.3 Proposition

- Proposition de création d'un GdR "interférométrie SAR" en collaboration avec le CNES, l'INSU et plusieurs laboratoires CNRS.

## 5.2 Actions internationales

### 5.2.1 Europe de l'ouest

- Le projet AIR participe à la réalisation d'un programme de recherche européen (nommé MEDISIS, et réalisé dans le cadre d'un programme MEDA) portant sur la prévention des risques sismiques dans le bassin méditerranéen. Notre contribution porte sur l'étude de l'apport de la télédétection pour l'évaluation de ces risques au moyen du traitement de séquences d'images.
- Le projet AIR a participé, en collaboration avec le GMD (Berlin, Allemagne) et le FORTH (Hellas, Grèce) à la création d'un groupe de travail ERCIM "*Environmental Modelling*". Les premières activités de ce groupe concerne l'organisation d'un *workshop* sur le thème "météorologie et pollution atmosphérique" au début 1997 et la préparation d'une proposition européenne STEPUP dans le cadre du programme TMR.
- Une collaboration scientifique existe avec l'institut de télédétection du centre de recherche d'Ispra en Italie.

### 5.2.2 Afrique

- Le projet AIR a également déposé un projet de recherche dans le cadre européen INCO-PED : IWRMS (*Integrated Water Resources Management System in Southern Africa*), caractérisation des variations de température de la surface terrestre pour étudier la variabilité de l'évapotranspiration en fonction du couvert végétal et de la topographie du site.
- Nadjia Benblidia (Algérie) a effectué un séjour d'un mois dans le projet pour définir un programme de recherche commun portant sur l'apport de la télédétection pour l'étude des milieux arides.

## 6 Diffusion des résultats

### 6.1 Actions d'enseignement

- **J.-P. Berroir** : Cours de mathématiques à Paris IX Dauphine, cours sur les processeurs RISC à l'ISTM ;
- **I. Cohen** : Participation au cours de traitement d'image du DEA Génie Biomédical de l'université Paris XIII- Créteil ;
- **I. Herlin** : Chargée de cours à l'école polytechnique pour la mineure "méthodes mathématiques pour la vision par ordinateur" ;
- **B. Leroy** : Cours et Travaux Dirigés d'algèbre linéaire et informatique (université Paris-IX Dauphine).

### 6.2 Participation à des colloques

Outre la participation aux conférences : ECCV, ICAOS, ICPR et SPIE (voir la bibliographie), des membres du projet AIR ont animé des séminaires :

- **S. Bouzidi** : Présentation des travaux de recherche sur la végétation aux journées ORASIS'96 du PRC Communication Homme-Machine.
- **I. Cohen** : Conférence invitée au laboratoire de traitement d'image de l'ESIEE. Présentation de la thématique imagerie satellitaire et océanographie du projet AIR.  
Participation aux journées MEDI-SIS sur l'évaluation des risques sismiques à Rome en juin 1996.
- **I. Herlin** : Participation à deux séminaires Greenchallenge au Pôle Universitaire Léonard de Vinci sur le problème de la gestion des informations environnementales.  
Présentation de l'apport du multi-temporel en imagerie SAR aux journées SAR organisées par le GDR Isis, le 5 février 1996.  
Présentation des activités de recherche effectuées à l'INRIA sur l'application environnementale aux journées *the information society in the Euro-Mediterranean context : research and information technologies* organisées par ERCIM à Sophia-Antipolis, 1-2 avril 1996.  
Présentation des activités de recherche du projet AIR sur le thème de la végétation au CNES et à la société SCOT-Conseil, le 3 octobre 1996.  
Présentation des travaux sur la dynamique littorale observée par imagerie SAR à une journée du PRC Isis, le 22 octobre 1996.  
Séminaire pour la comparaison des estimations des réflectances en imagerie NOAA, à la société SCOT-Conseil, le 16 décembre 1996.

- **E. Huot** : Présentation des travaux sur le déroulement de phase aux journées ORASIS'96 du PRC Communication Homme-Machine.
- **B. Leroy** : Ecole des Mines de Paris - Séminaire du centre de robotique, le 30 mai 1996 : "Reconnaissance de visage".
- **H. Yahia** : Participation à un séminaire Greenchallenge, juin 1996, Pôle Universitaire Léonard de Vinci.  
Participation aux séminaires du groupe de travail Indexation Multimédia du PRC Communication Homme-Machine.

### 6.3 Conférences invitées, tutoriels, cours, etc.

Isabelle Herlin est membre du comité de programme de la conférence ICAOS'96. Elle est membre du comité de programme de CVPR'97 et du *workshop Eighth Eurographic Workshop on Visualization in Scientific Computing* (Boulogne-sur-mer, France, 28-30 avril 1997).

### 6.4 Animations scientifiques

Isabelle Herlin a organisé en collaboration avec R. Deriche (ROBOTVIS), M.-O. Berger (ISA), J. Jaffré (ESTIME), J.-M. Morel (Ceremade) le congrès ICAOS'96 (*International Conference on Analysis and Optimization of Systems, Images, Wavelets and PDE's*) qui a eu lieu à Paris au ministère de la recherche en Juin 1996. O. Faugeras (ROBOTVIS) a assuré la présidence de cette conférence.

Isabelle Herlin participe à l'organisation, avec E. Simon (RODIN) de la conférence internationale *Environmental Databases* qui aura lieu à Strasbourg en septembre 1997.

Isabelle Herlin et Achim Sydow (GMD, Berlin) organisent un *workshop* : "Air pollution modelling" à Berlin en avril 1997.

## 7 Publications

### Livres et monographies

- [417] M.-O. BERGER, R. DERICHE, I. HERLIN, J. JAFFRÉ, J.-M. MOREL (réd.), *ICAOS'96: 12th International Conference On Analysis and Optimization of Systems - Images, Wavelets and PDE's, Lecture Notes in Control and Information Sciences*, 219. INRIA, CEREMADE, Springer-Verlag, juin 1996.
- [418] I. COHEN, *CGI/Perl et JavaScript, la création de pages HTML interactives*, Eyrolles, Juin 1996.

### Thèses

- [419] B. LEROY, *Modèles déformables et modèles de déformation appliqués à la reconnaissance de visage*, thèse de doctorat, Université Paris IX, June 1996.

### Articles et chapitres de livre

- [420] I. COHEN, L. COHEN, «A Hyperquadric Model for 2-D and 3-D Data Fitting», *Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Image Understanding* 63, 3, May 1996, p. 527-541.
- [421] I. HERLIN, I. COHEN, S. BOUZIDI, «Image processing for sequences of oceanographic images», *The Journal of Visualization and Computer Animation* 7, March 1996, p. 169-176.

- [422] B. LEROY, A. CHOUAKRIA, I. HERLIN, E. DIDAY, «Approche géométrique et classification pour la reconnaissance de visage», *Technique et Sciences Informatiques*, 1996, accepté pour publication.

### Communications à des congrès, colloques, etc.

- [423] J. BERROIR, I. HERLIN, I. COHEN, «A Numerical Model for Large Deformation on Meteorological Images», in: *International Conference on Analysis and Optimisation of Systems, Images, Wavelets and PDE's*, Paris, Ministère de la Recherche, Juin 1996.
- [424] J.-P. BERROIR, S. BOUZIDI, I. HERLIN, «Use of multi-sensor, multi-scale and temporal data for segmenting vegetation», in: *EOS-SPIE Satellite Remote Sensing*, September 1996.
- [425] J.-P. BERROIR, I. L. HERLIN, I. COHEN, «A Numerical Model for Large Deformation», in: *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Vienne, 1996.
- [426] S. BOUZIDI, J.-P. BERROIR, I. HERLIN, «Étude spatio-temporelle de la végétation par données satellitaires multicapteurs», in: *Journées ORASIS'96, GDR-PRC Communication Homme-Machine*, LASMEA, Clermond-Ferrand, 20–24 Mai 1996.
- [427] I. COHEN, I. HERLIN, «Non Uniform Multiresolution Method for Optical Flow Computation», in: *International Conference on Analysis and Optimisation of Systems, Images, Wavelets and PDE's*, Paris, Ministère de la Recherche, Juin 1996.
- [428] I. COHEN, I. HERLIN, «Optical Flow and Phase Portrait Methods for Environmental Satellite Image Sequences», in: *European Conference on Computer Vision*, Cambridge, April 1996.
- [429] E. HUOT, I. HERLIN, I. COHEN, «Segmentation d'image d'interférométrie radar», in: *Journées ORASIS'96, GDR-PRC Communication Homme-Machine*, LASMEA, Clermond-Ferrand, 20–24 Mai 1996.
- [430] B. LEROY, A. CHOUAKRIA, I. L. HERLIN, E. DIDAY, «Approche géométrique et classification pour la reconnaissance de visage», in: *Actes du Congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle*, Rennes, Janvier 1996.
- [431] B. LEROY, I. HERLIN, L. COHEN, «Face Identification by Deformation Measure», in: *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Vienne, 1996.
- [432] B. LEROY, I. HERLIN, L. COHEN, «Multi-Resolution algorithms for Active Contour Models», in: *International Conference on Analysis and Optimisation of Systems, Images, Wavelets and PDE's*, Paris, Ministère de la Recherche, Juin 1996.
- [433] H. YAHIA, I. HERLIN, L. VOGEL, «Implicit Approximation», in: *Animation et Simulation, GdR-PRC Algorithme, Modélisation et Infographie*, Strasbourg, Janvier 1996.
- [434] H. YAHIA, I. HERLIN, «Images Processing of Meteorological Images With Implicit Functions», in: *International Conference on Analysis and Optimisation of Systems, Images, Wavelets and PDE's*, Paris, Ministère de la Recherche, Juin 1996.
- [435] H. M. YAHIA, I. L. HERLIN, L. VOGEL, «Temporal Tracking of Oceanographic Images by Implicit Functions», in: *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Vienne, 1996.

### Rapports de recherche et publications internes

- [436] I. COHEN, I. HERLIN, «Optical Flow and Phase Portrait Methods for Environmental Satellite Image Sequences», *rapport de recherche n°2819*, Institut National de Recherche en Informatique et Automatique, March 1996.

## Divers

- [437] I. HERLIN, J.-P. BERROIR, S. BOUZIDI, «Rapport du contrat CNES No 833/CNES/94/1288/00, Étude de l'évolution de la végétation», Septembre 1996.
- [438] I. HERLIN, B. LEROY, «Rapport du contrat AMIBE, PRC Communication Homme-Machine, Étude pour un système de reconnaissance de visage», Septembre 1996.

## 8 Abstract

Air project is involved in earth, sea and atmospheric dynamic image sequences acquired with remote sensors. Air project is prospecting in three directions: image processing problems, thematic applications and analysis of data acquired by different remote (satellite) sensors. Each research activity in the project may be considered in view of the latter three directions.

From a scientific point of view, AIR project's goal is to set up image processing capabilities for dynamic remotely sensed data. Research activities are grouped into two main categories:

1. Structures' modeling for remotely sensed data of earth-sea-atmospheric observation. This topic encompasses modeling and tracking methods for prediction about clouds, vortex, landslides...
2. Study of the temporal evolution of natural phenomena, which involves motion, deformation and coupled SPOT-NOAA subpixel analysis.

The project is interested in various thematic applications ranging from meteorology, forest and vegetation evolution to oceanography and landslides; such studies are run in collaboration with scientists working in these areas. They submit the problems and validate both results and problems accuracy.

Lastly, specific attention is dedicated to intrinsic properties of images obtained with different sensors: SPOT, NOAA, METEOSAT... and to the ability of mutual use for multisensors models with variable temporal and spatial resolutions.

The objective of AIR project over the long term is participating in the creation of an image processing and managing system of satellite images for environmental applications involving evolution monitoring and alert triggering.