

PROJET AIR

Traitement d'image et données satellites dynamiques

Rocquencourt

THÈME 3B

R *apport*
d'Activité

1999

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	4
3	Fondements scientifiques	5
3.1	Mouvement	5
3.2	Déformation	5
3.3	Estimation de paramètres	5
4	Domaines d'applications	6
4.1	Panorama	6
4.1.1	Cartographie à large échelle	6
4.1.2	Hydrologie	6
4.1.3	Gestion du littoral	7
4.1.4	Imagerie radar	7
4.1.5	Qualité de l'air	7
5	Résultats nouveaux	7
5.1	Modélisation et suivi de structures par la méthode des champs de vecteurs spline.	7
5.2	Mise en correspondance de surfaces	8
5.3	Estimation du mouvement par contrainte objet globale	12
5.4	Analyse de trajectoire d'objets sur des séquences d'images	13
5.5	Segmentation de structures en mouvement	14
5.6	Estimation de profils verticaux d'espèces chimiques	15
5.7	Estimation et suivi temporel de paramètres hydrologiques	17
5.8	Cartographie des occupations du sol à large échelle	18
5.9	Modélisation de structures océanographiques en mer Méditerranée	20
5.10	Interface pour le filtrage temporel de données AVHRR	20
5.11	Interface de sélection d'un algorithme de calcul du mouvement	22
5.12	Réalisation d'une chaîne de modules pour l'implémentation d'un scénario de traitement d'image	23
5.13	Publication de données et de programmes dans un environnement distribué sur le Web	25
6	Actions régionales, nationales et internationales	27
6.1	Actions nationales	27
6.2	Actions européennes	28
6.3	Actions internationales	28
6.4	Visites et invitations de chercheurs	28

7	Diffusion de résultats	28
7.1	Animation de la communauté scientifique	28
7.2	Comités éditoriaux de conférences	29
7.3	Enseignement	29
7.4	Participation à des colloques, séminaires, invitations	30
8	Bibliographie	30

1 Composition de l'équipe

Responsable du projet

Isabelle Herlin [DR]

Responsable permanent

Hussein Yahia [CR]

Assistante de projet

Christine Anocq [TR, en commun avec M3N]

Personnel INRIA

Jean-Paul Berroir [CR]

Collaborateurs extérieurs

Dominique Béréziat [CNAM, depuis le 1er septembre 1999]

Sonia Bouzidi [université d'Evry, depuis le 1er novembre 1999]

Isaac Cohen [USC, Los Angeles]

Jean-Pierre Matsumoto [université de Paris 7]

Bruno Sportisse [CEREVE, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées]

Laurent Younes [Centre de Mathématiques et Leurs Applications, Cachan]

Chercheur invité

Nadjia Benblidia [maître assistante, Université de Blida, Algérie, durée de 3 mois]

Chercheur post-doctorant

Alfons Salden [Post-doctorant ERCIM, jusqu'au 28 février 1999]

Ingénieur expert

Sonia Bouzidi [jusqu'au 30 octobre 1999]

Doctorants

Dominique Béréziat [université de Paris 11, jusqu'au 30 août 1999]

Fodil Boumghar [université de Marne la Vallée, depuis le 1er octobre 1999]

Etienne Huot [université de Caen]

Fabien Lahoche [université du Littoral, Dunkerque]

Stagiaires

Hicham Amaoui [école Mohammadia, Maroc]

Fodil Boumghar [université de Paris 7]

Nicolas David [CNAM, IIE, Evry]

Jérémy Ergisi [INSIA, Paris]

Patrick Goubin [ENIC, Villeneuve d'Ascq]

Joël Sudre [université de Marseille, DEA]

2 Présentation et objectifs généraux

Le projet AIR s'intéresse à la formalisation mathématique des phénomènes image observés sur les données satellitaires. Le choix des problèmes étudiés se fait en collaboration avec des scientifiques (agronomes, géologues, hydrologues, météorologues, océanographes, ...) qui souhaitent utiliser les observations terre-mer-atmosphère en complément ou en remplacement d'autres types de mesures. Les activités de recherche méthodologiques s'organisent autour de trois approches :

1. L'analyse pure des images pour la détection et le suivi de structures, l'estimation de grandeurs physiques par résolution de problèmes inverses, ...
2. L'interaction entre les données satellitaires et les modèles physiques des phénomènes étudiés, afin d'appréhender les problèmes de condition aux limites, d'estimation de paramètres,...
3. L'intégration de chaînes de traitement d'images, la publication de données et de programmes dans un environnement distribué sur le web ; ce travail s'effectue en collaboration étroite avec le projet CARAVEL.

3 Fondements scientifiques

3.1 Mouvement

Mots clés : champ de vecteur, flot optique, méthode variationnelle, spline.

Le cadre applicatif de l'analyse des séquences d'images satellite a conduit le projet Air à s'intéresser à l'étude des phénomènes dynamiques. Une des premières étapes concerne l'estimation et l'interprétation du mouvement apparent présent sur ces données. Dans le passé, des travaux ont été effectués sur le problème de l'estimation du mouvement selon l'hypothèse du flot optique, avec une résolution par méthode variationnelle. Une adaptation de ces méthodes à la spécificité des données et des structures étudiées a conduit à utiliser une fonction de régularisation non quadratique. D'autres travaux méthodologiques, effectués dans ce contexte, abordent le problème de la généralisation de l'équation du flot optique, en ajoutant des contraintes spécifiques telles que la conservation volumique dans le cas de structures nuageuses. Par ailleurs, des approches couplées sans modèle a priori / avec modèle a priori ont été réalisées afin d'appréhender la nature hiérarchique des composantes du mouvement. Enfin la démarche scientifique actuelle s'oriente vers la modélisation par champ de vecteurs spline.

3.2 Déformation

Mots clés : caractéristique différentielle, géodésique, mécanique des fluides, surface interpolante,.

Les structures dynamiques présentes sur les images satellites subissent généralement une déformation temporelle importante. De plus, un ensemble de structures interagissent entre elles sur ce type de données, rendant l'approche plus complexe que celle du suivi temporel d'une structure à faible déformation sous des hypothèses de conservation de caractéristiques différentielles. Les premières approches élaborées par le projet ont concerné la modélisation de la déformation par création de surface interpolante et par l'utilisation de géodésique. Nous nous sommes particulièrement intéressés à la généralisation en 3D (par exemple pour des modèles numériques de terrain) des travaux effectués sur les modèles de level-set.

3.3 Estimation de paramètres

Mots clés : fusion de donnée, modèle physique, modèle statistique.

Dans le but d'estimer des paramètres physiques d'entrée de modèles environnementaux, une démarche de modélisation physique du signal mesuré doit être menée. Il s'agit de modéliser la contribution du paramètre aux différentes mesures satellitaires, et de valider et calibrer sur les mesures terrain cette modélisation. Puis, ce modèle doit être inversé à partir de séries de mesures de résolutions spatiale et temporelle variées, le plus souvent en faisant appel à un apprentissage préliminaire sur une zone restreinte documentée. Les techniques mises en œuvre font appel à la fusion de données et à la modélisation statistique (champ markovien, analyse biais-variance), ou dans certains cas dérivent de méthodes de traitement d'image adaptées pour

incorporer les connaissances sur le processus physique de formation du signal et sur les modèles de structures étudiées.

4 Domaines d'applications

4.1 Panorama

La spécificité du projet AIR est d'être un projet à vocation applicative dans le domaine de l'environnement. Il ne s'agit clairement pas de résoudre les applications concernées, mais de définir des problèmes de recherche en traitement d'images à partir des requêtes exprimées par les scientifiques des différents domaines. Par ailleurs, les scientifiques concernés servent également d'évaluateurs de qualité des résultats obtenus.

Actuellement les collaborations fortes du projet concernent 5 types d'application : la cartographie à large échelle, l'hydrologie, la gestion du littoral côtier, l'analyse des évolutions de relief par interférométrie radar et l'étude des paramètres d'entrée pour les modèles de pollution atmosphérique.

4.1.1 Cartographie à large échelle

La cartographie des occupations de sol représente une étape nécessaire pour étudier la couverture végétale. A une échelle locale, la caractérisation des différents types d'occupation peut être obtenue grâce à l'analyse de données à haute résolution spatiale (SPOT, LANDSAT) ou en faisant des campagnes terrain. Quand il s'agit d'études à large échelle, il est difficile d'obtenir ce type de données sur des surfaces importantes. Une solution consiste donc à exploiter l'information spatio-temporelle offerte par des données à large couverture telles que NOAA-AVHRR et VEGETATION pour effectuer cette cartographie. Dans ce cas, une étude de la composition des pixels NOAA à résolution spatiale grossière (1.1 km) est menée afin de générer une cartographie de sol en terme de pourcentage dans chaque pixel NOAA. Ces travaux s'effectuent dans le cadre d'une collaboration avec l'université de Jena (Allemagne).

4.1.2 Hydrologie

Cette étude est effectuée en collaboration avec le département d'hydrologie de l'université du Kwazulu-Natal (en Afrique du Sud) et le département de géographie de l'université de Jena (Allemagne) dans le cadre du contrat européen INCO-PED IWRMS. Il s'agit d'estimer quotidiennement des paramètres hydrologiques (température de surface, indice foliaire, évapotranspiration) et de caractériser leur variabilité en fonction de l'occupation du sol pour plusieurs bassins versants en Afrique australe. Ces paramètres sont ensuite intégrés dans un système de modélisation hydrologique servant à l'aide à la décision pour la répartition des ressources en eau, et à la simulation de l'impact des changements d'occupation du sol sur les réponses hydrologiques.

4.1.3 Gestion du littoral

La gestion du littoral est une application particulièrement importante pour l'environnement. Cette gestion intègre un grand nombre de sources de données, aussi bien images que mesures. Un système de gestion intégrée doit donc aborder de nombreux problèmes : modélisation, traitement d'image, visualisation, méta-données, requêtes, ...

Cette application est abordée par un consortium européen (dans le cadre du contrat THE-TIS, programme TELEMATICS) réunissant des spécialistes en bases de données, modélisation, biologie marine, ... et en collaboration avec le réseau européen RECORMAD qui regroupe des instituts spécialistes de la mer, et dont le partenaire français est l'IFREMER.

4.1.4 Imagerie radar

Ce thème de travail s'effectue principalement en collaboration avec le groupe de travail radar du GdR ISIS et avec le laboratoire de géotectonique de l'université Paris 6. Une composante concerne le traitement des interférogrammes et interférogrammes différentiels pour l'analyse des modifications d'état du sol ou des modifications de relief. Une autre composante concerne la déformation de surfaces 3D pour l'étude des glissements de terrain.

4.1.5 Qualité de l'air

Cette étude est menée dans le cadre du groupe de travail ERCIM "modélisation environnementale" et plus particulièrement avec l'équipe DYMOS du GMD-FIRST (Berlin, All.). Elle est incluse dans le cadre du contrat européen DECAIR (Environnement et Climat). Le but est l'estimation de paramètres d'entrée pour les modèles de prévision et simulation de la qualité de l'air en milieu urbain. Trois objectifs principaux sont visés :

- amélioration des résultats de prévision par la fourniture de paramètres de meilleure qualité ;
- amélioration des modèles proprement dits, par estimation objective de paramètres variables dans le temps et l'espace ;
- automatisation de l'implémentation de modèles sur de nouveaux sites : dans ce but, une collaboration existe avec le projet CARAVEL sur les spécifications de l'architecture du système de gestion de bases de données requis.

5 Résultats nouveaux

5.1 Modélisation et suivi de structures par la méthode des champs de vecteurs spline.

Mots clés : champ de vecteurs, difféomorphisme, flot optique, océanographie, spline.

Participants : Hussein Yahia, Vicenz Parisi-Baradad, Isabelle Herlin.

La méthode d'interpolation par champ de vecteurs spline (voir le rapport d'activité du projet Air en 1998) est utilisée pour calculer un champ de vecteurs dense sur une image, tel que des orbites de ce champ correspondent aux bords de structures comme les tourbillons ou les fronts de température dans les séquences d'images satellites de température de surface de la mer. Rappelons simplement que l'on calcule un champ de vecteurs \vec{V} interpolant N vecteur \vec{V}_i situés aux points X_i en minimisant une fonctionnelle d'énergie:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|\vec{V}_i - V(X_i)\|^2 + \int_{\Omega} \alpha \|\nabla(\operatorname{div} V)\|^2 + (1 - \alpha) \|\nabla(\operatorname{curl} V)\|^2 \quad (1)$$

Nous avons étendu cette étude dans deux directions :

- la phase d'initialisation du champ de vecteurs est améliorée par la prise en compte d'informations provenant de résultats d'océanographie,
- le modèle est incorporé dans une formulation "scale-space" afin de mieux estimer le mouvement des structures.

Pour le premier point, il a été montré que lorsque les courants peuvent être décrits par une équation géostrophique et que la densité de l'eau est fonction de la température, alors la vitesse est principalement perpendiculaire aux gradients thermiques. Il est alors possible d'utiliser cette information pour améliorer significativement la phase d'initialisation du calcul du champ de vecteurs spline sans utiliser une information de sens provenant du flot optique.

Pour le second point, il a été montré que lorsque la fréquence d'acquisition entre deux images consécutives d'une même séquence est importante, l'estimation du mouvement produit par une méthode de type "token-ring" donne de meilleurs résultats que le calcul du flot optique. Cependant le mouvement n'est estimé qu'en des points isolés de l'image. Puisque les structures observées dans ce type de séquence d'images dépendent de l'échelle d'analyse, nous avons introduit une modélisation de type "scale-space". Un algorithme de recuit simulé permet alors de suivre leur évolution temporelle, et conduit à une bonne estimation du mouvement par la minimisation d'une fonction de coût servant à mesurer les différences entre les "tokens" dans des paires d'images consécutives. Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications [11, 12, 13]. Nous montrons, sur la figure 5.1 le résultat de l'approximation de structures océanographiques par un champ de vecteur spline, obtenu par la méthode décrite au premier point ci-dessus.

5.2 Mise en correspondance de surfaces

Participants : Etienne Huot, Hussein Yahia, Isaac Cohen, Isabelle Herlin.

Mots clés : géodésique, level-set, mise en correspondance.

Un grand nombre de problèmes fondamentaux en traitement d'image et vision par ordinateur peuvent recevoir une formulation en terme de mise en correspondance (stéréovision,

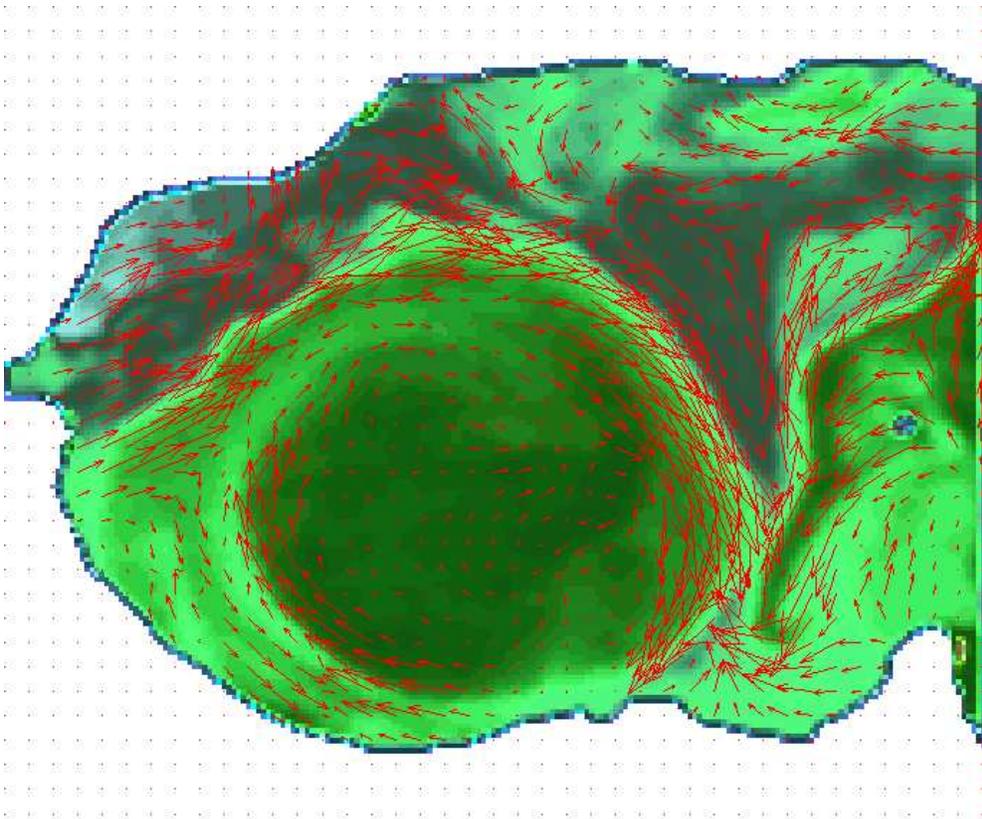


FIG. 1 – Résultat de l'interpolation par champ de vecteurs spline sur une image SST présentant un tourbillon au niveau du golfe de Gibraltar en mer Méditerranée.

reconnaissance d'objet, suivi, etc). En 1995, Kimmel^[KAB95], Sethian et al.^[Set96] ont proposé une solution originale, incluant une écriture en terme de *level-set*, au problème du calcul de chemins géodésiques sur un graphe de surface. L'utilisation des *level-sets* conduit à une équation aux dérivées partielles pour laquelle il existe une méthode de résolution numérique stable. A partir de ces travaux, Cohen et Herlin [1, 2] ont montré que cette formulation peut être utilisée pour résoudre le problème de la mise en correspondance d'objets 2D dans un cadre général (grande déformation et changement de topologie).

Cette approche peut-être étendue au cas de la mise en correspondance de surfaces tridimensionnelles. Pour cela, il est nécessaire d'étendre la théorie proposée par Kimmel et al. au cas de l'évolution d'une famille de surfaces α tracées sur une hypersurface W de dimension 3 et plongée dans \mathbb{R}^4 . L'équation d'évolution par rapport au paramètre t de ces surfaces s'écrit en utilisant un paramétrage orthogonal $\alpha_t(u, v)$. Cette équation a pour forme :

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = * (\vec{N} \wedge \vec{\tau}^u \wedge \vec{\tau}^v), \quad (2)$$

\wedge désigne le produit extérieur des trois vecteurs \vec{N} , $\vec{\tau}^u$ et $\vec{\tau}^v$ sur \mathbb{R}^4 et $*$ est l'opérateur de Hodge. \vec{N} correspond à la normale à W , $\tau^u = \frac{\partial \alpha}{\partial u} / \|\frac{\partial \alpha}{\partial u}\|$ et $\tau^v = \frac{\partial \alpha}{\partial v} / \|\frac{\partial \alpha}{\partial v}\|$ sont les tangentes à α .

La résolution de cette équation présente de nombreuses difficultés. On peut simplifier le problème en étudiant sa projection sur (x, y, z) :

$$S(t) = \pi \circ \alpha = \{(x, y, z) | (x, y, z, w(x, y, z)) \in \alpha(t)\}$$

On utilise ensuite un résultat issu de la théorie de propagation des fronts établissant que l'évolution ne se fait que dans la direction de la normale : $\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{1}{\|\nabla \varphi\|} \frac{\partial \varphi}{\partial t}$. La formulation par *level-set* permet alors d'obtenir l'équation de l'évolution de la surface S suivante :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \sqrt{a \frac{\partial \varphi^2}{\partial x^2} + b \frac{\partial \varphi^2}{\partial y^2} + c \frac{\partial \varphi^2}{\partial z^2} - d \frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial y} - e \frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial z} - f \frac{\partial \varphi}{\partial y} \frac{\partial \varphi}{\partial z}}, \quad (3)$$

où φ est une fonction potentielle de $\mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$ construite de telle sorte que l'isosurface de niveau 0 de φ corresponde à la surface initiale $S = \varphi^{-1}(0)$. Les paramètres a, b, c, d, e et f ne dépendent que des caractéristiques différentielles de l'hypersurface W . Il existe un schéma explicite stable permettant de résoudre l'EDP (3).

Dans une perspective de mise en correspondance de deux surfaces S et D , il faut définir une hypersurface de coût W de telle sorte que S et D reposent sur W . On peut prendre par exemple :

$$W = (x, y, z, w(x, y, z)) = (x, y, z, \min(|\varphi_0|, |\psi_0|))$$

[KAB95] R. KIMMEL, A. AMIR, A. BRUCKSTEIN, « Finding shortest paths on surfaces using levelset propagation », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine* 17, 6, June 1995, p. 635–640.

[Set96] J. A. SETHIAN, *Level set methods*, Cambridge Monographs on Applied Computational Mathematics, Cambridge University Press, 1996.

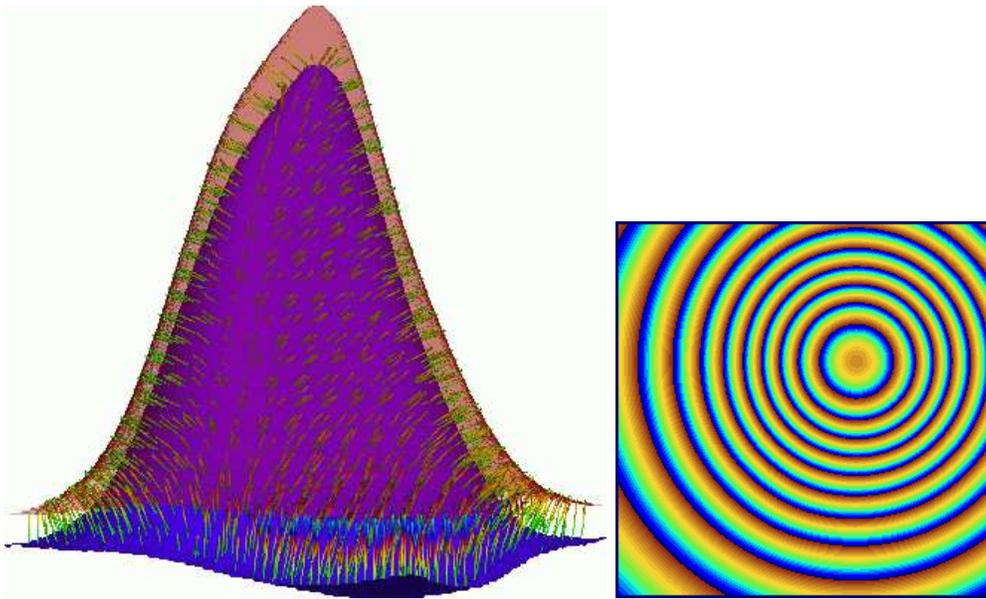
où φ_0 et ψ_0 représentent respectivement les fonctions utilisées comme initialisation pour la résolution de l'équation (3). φ_0 et ψ_0 peuvent par exemple être calculées en utilisant la distance euclidienne signée aux surfaces S et D (négative à l'intérieur de la surface, positive à l'extérieur). La mise en correspondance se ramène alors à la recherche des chemins optimaux reliant S à D , c'est-à-dire trouver les chemins P d'abscisse curviligne p , partant d'un point X_S allant jusqu'à D , tels que :

$$\int_{X_S}^D (\varphi + \psi) dp$$

soit minimal. Ce qui revient à résoudre l'équation différentielle :

$$\frac{\partial P}{\partial p} = -\nabla(\varphi + \psi). \quad (4)$$

La figure 2-a présente un résultat de mise en correspondance effectuée entre un modèle numérique de terrain synthétique et la même surface déformée par le modèle géophysique de Mogi.



(a) mise en correspondance en utilisant la méthode de Runge-Kutta d'ordre 4 pour résoudre (4).

(b) carte des déformations appliquées à la surface de départ.

FIG. 2 – *Mise en correspondance entre deux surfaces avant et après déformation.*

Cette méthode de mise en correspondance présente l'avantage de pouvoir gérer de grandes déformations et des changements de topologie. Elle est basée sur un schéma de résolution explicite stable. De part la définition de l'hypersurface de coût, il est possible d'inclure facilement dans le modèle des caractéristiques géométriques comme la courbure ou des connaissances a priori sur le mouvement comme une carte mesurée des déformations (figure 2-b).

5.3 Estimation du mouvement par contrainte objet globale

Participants : Dominique Béréziat, Isabelle Herlin, Laurent Younes.

Mots clés : estimation du mouvement, flot optique, invariance de l'intensité totale, image infrarouge, météorologie.

Ce travail consiste à proposer des méthodes d'estimation du mouvement qui soient adaptées aux structures nuageuses observées sur les séquences d'images météorologiques.

Nous rappelons que nous supposons que les structures nuageuses gardent localement un même volume ^[BB98], ce qui menait à la contrainte de mouvement suivante :

$$\nabla I \cdot w + I_t + I \operatorname{div}(w) = 0 \quad (5)$$

où I est l'intensité lumineuse sur une séquence d'images et w est le vecteur vitesse. L'exploitation de cette contrainte est rendue possible par le fait que les images infrarouges fournissent une information d'altitude des nuages. Les résultats obtenus sont très prometteurs : la méthode permet de bien prendre en compte les mouvements de contraction et d'expansion des structures nuageuses.

Cette année, nous poursuivons l'étude de ce modèle. L'équation 5 est en fait très proche de la contrainte d'invariance de la luminosité, $\nabla I \cdot w + I_t = 0$, usuellement utilisée pour l'estimation du mouvement. En particulier, la contrainte de conservation du volume peut être vue comme une extension de la contrainte d'invariance de la luminosité. Nous cherchons alors à généraliser ce principe : le concept de conservation du volume, cas particulier des images infrarouge météorologiques, est vu comme une hypothèse de conservation de la luminosité totale d'un objet, c'est-à-dire que la quantité $V(\mathcal{O}, t) = \int_{\mathcal{O}} I(t, x, y) dx dy$, où \mathcal{O} est l'objet, est constante dans le temps. Les deux principes ne sont pas équivalents, sauf dans le cas particulier d'un objet rigide gardant en chaque point une luminosité constante : il vérifie le principe d'invariance de la luminosité totale. Rigoureusement, l'équation 5 n'est vraie que sur certaines parties de l'image. Par exemple, pour les images météorologiques, cette équation ne s'applique qu'aux zones de nuages. Aussi utilisons nous une nouvelle équation de mouvement :

$$\nabla I \cdot w + I_t + I \operatorname{div}(w) \mathbb{1}_{\mathcal{O}} = 0 \quad (6)$$

pour obtenir un modèle mixte, qui décrit le principe d'invariance de la luminosité totale sur les objets \mathcal{O} et le principe d'invariance de la luminosité locale sur le reste de l'image. Le problème consiste alors à rechercher les objets \mathcal{O} dans les images. Concernant les images météorologiques, nous avons proposé, dans le rapport d'activité 1997 du projet AIR, une méthode de segmentation basée sur un modèle markovien permettant de localiser les structures. La figure 3 illustre le résultat du modèle mixte sur une séquence d'images infrarouges météorologiques.

La méthode numérique employée pour résoudre l'équation 6 sous-évalue la norme du champ de vitesses. Aussi, faisons nous une hypothèse sur la nature des mouvements observés sur les

[BB98] J.-P. BERROIR, D. BÉRÉZIAT, « Use of image processing and remote sensing techniques to improve input data quality and collection », in : *Proceedings of International Conference on Air Pollution Modelling and Simulation APMS'98*, Elsevier, 1998.

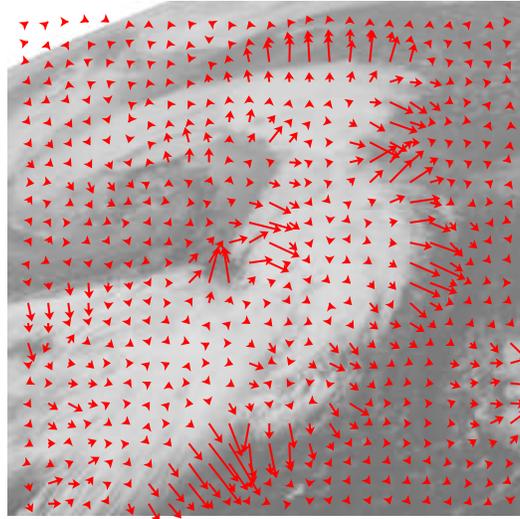


FIG. 3 – *Résultat du modèle mixte sur une image météorologique.*

images météorologique. En particulier, un modèle de mouvement affine peut être utilisé. La figure 4 illustre un résultat typique obtenu par le modèle affine sur une séquence d'images infrarouges météorologiques. L'image a été découpée en plusieurs zones et l'estimation du mouvement est faite sur chacune d'elles.

FIG. 4 – *Résultat du modèle affine sur une image météorologique.*

Les normes des vitesses sont alors correctement estimées : elles correspondent aux déplacements observés visuellement sur les images. Toutefois les composantes non affines du champ de vitesse ne peuvent plus être estimées. Pour résoudre ce problème, nous proposons alors une méthode de collaboration entre l'approche affine et celle sans modèle a priori, avec :

1. nous calculons le champ affine W entre deux images I_1 et I_2 ,
2. une nouvelle image $I'_1 = I_1 + W$ est déduite,
3. nous calculons alors le champ de vitesses, au moyen du modèle sans a priori, entre I'_1 et I_2 : seules les composantes non-affines w sont alors estimées.

Le champ final obtenu est alors $W + w$.

5.4 Analyse de trajectoire d'objets sur des séquences d'images

Participants : Dominique Béréziat, Isabelle Herlin, Laurent Younes.

Mots clés : analyse en composantes principale, analyse du mouvement, spline cubique.

Dans le cadre de l'exploitation des nombreuses données météorologiques disponibles, l'analyse du mouvement des structures nuageuses peut apporter des solutions élégantes dans des problématiques du type prédiction (comment prédire l'évolution future des structures nuageuses observées?) ou du type reconnaissance de formes (peut-on caractériser une structure nuageuse à partir de l'étude de son mouvement?). Par exemple, les méthodes d'estimation de mouvement développées dans la section 5.3 permettent la reconstruction des trajectoires des nuages au cours du temps. Nous proposons une méthode simple pour analyser ces trajectoires. Soit un jeu de trajectoires $(\varphi^i)_{i \in I}$, nous cherchons à obtenir une représentation du type :

$$\varphi^i(t, x, y) = \sum_{j=1}^n C_j^i \psi_j(x, y, t) \quad (7)$$

où $\{\psi_j(x, y)\}_j$ est une base de vecteurs *caractéristiques*, c'est-à-dire pertinents, pour le type de trajectoire observée. La méthodologie proposée s'articule sur deux points :

1. Projection des trajectoires sur un espace de représentation : au lieu de travailler directement sur les trajectoires des points dans \mathbb{R}^2 , on projette ces trajectoires sur un espace mieux adapté. Nous avons choisi par commodité l'espace des splines cubiques continues par morceaux, mais d'autres espaces sont envisageables. La base de représentation étant finie, nous devons avoir un mécanisme de contrôle de l'erreur lorsque nous projetons une fonction trajectoire sur cette base.
2. Analyse des données : nous travaillons ensuite sur les coefficients des vecteurs de la base de splines afin de traiter un très grand nombre de données. Nous faisons alors une analyse en composantes principales sur ces ensembles de coefficients avec, en sus, un contrôle de l'erreur faite en ne gardant que les n composantes les plus significatives.

5.5 Segmentation de structures en mouvement

Participants : Fodil Boumghar, Jean-Paul Berroir, Dominique Béréziat, Isabelle Herlin.

Mots clés : météorologie, modèle markovien, mouvement.

Cette étude concerne la définition d'un modèle de segmentation d'objets en mouvement sur une séquence d'images 2D. Ce modèle est multi-étiquettes (plusieurs objets sont considérés sur un fond fixe) et tri-dimensionnel (avec le temps comme troisième dimension).

L'information utilisée repose sur trois critères : l'*attache aux données* exprime que chaque objet possède une distribution de niveau de gris caractéristique (loi normale); la *régularité spatio-temporelle* exprime que chaque point a tendance à avoir des voisins de même étiquette dans l'espace 3D. En toute rigueur, la direction du mouvement devrait être prise en compte dans la définition du voisinage. Dans la mesure où il peut être difficile d'obtenir une estimation fiable du mouvement apparent, nous utilisons un simple indice de mouvement, en l'occurrence la composante normale du flot optique (rapport entre le gradient temporel et le gradient spatial), pour caractériser les *structures en mouvement* par rapport au fond.

Le formalisme des champs de Markov permet la définition de ces trois critères dans un cadre probabiliste. On définit une fonctionnelle d'énergie formée de trois termes correspondant

à chacun des critères. Par exemple, dans le cas où chaque objet i est caractérisé par une loi normale $N(\mu_i, \sigma_i)$, la définition de l'énergie sur une séquence d'images S pour une segmentation x est :

$$\begin{aligned}
 U(x) = & \underbrace{\sum_i \sum_{s \in S} \chi(x_s = i) \left(\left(\frac{im(s) - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 - T_i \right)}_{\text{attache aux données}} - \underbrace{\alpha \sum_{\langle s, t \rangle} -2(\chi(x_s = x_t) + 1)}_{\text{régularité}} \\
 & - \underbrace{\beta \left(\sum_{i \neq fond} \chi(x_s = i) \Phi(mvt_s) - \chi(x_s = fond) \Phi(mvt_s) \right)}_{\text{mouvement}}
 \end{aligned} \tag{8}$$

où χ désigne une fonction indicatrice, Φ une fonction dans $[0, 1]$ faible quand son argument est petit, proche de 1 sinon et $\langle s, t \rangle$ un système de voisinage 3D.

La probabilité d'un résultat de segmentation x étant $\frac{1}{Z} \exp -U$, on choisit de minimiser U . Si une bonne initialisation peut être trouvée, un algorithme itératif de type ICM est utilisable. L'initialisation sert par ailleurs à estimer les différents paramètres du modèle : distribution des niveaux de gris des objets, seuils, poids entre les différents termes de l'énergie. Le modèle a été appliqué à des séquences d'images météorologiques pour la segmentation des structures nuageuses. Il permet d'identifier deux types de région sur l'image : les régions claires formant l'intérieur des nuages, et les régions plus grisées formant le bord des nuages ou les nuages de basse altitude. La figure 5 illustre le résultat du modèle après convergence pour deux images Meteosat.

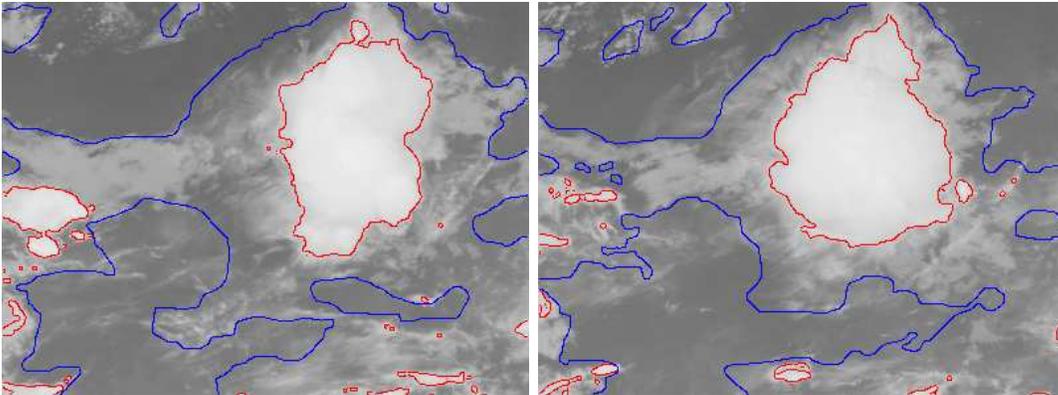


FIG. 5 – Résultats de segmentation sur une séquence d'images METEOSAT acquise au niveau des tropiques

5.6 Estimation de profils verticaux d'espèces chimiques

Participants : Isabelle Herlin, Bruno Sportisse, Jean-Paul Berroir.

Ces travaux font l'objet d'une collaboration avec Bruno Sportisse, du laboratoire CERERE de l'ENPC.

Mots clés : pollution atmosphérique, problème inverse, profil vertical, transfert radiatif.

Cette étude, débutée cette année, concerne l'estimation de profils verticaux de concentration d'espèces chimiques dans la troposphère, à l'aide de radiomètres aéroportés ou embarqués sur des satellites. Cela répond à un besoin majeur dans le cadre de la simulation de la pollution atmosphérique : ces profils sont en effet utilisés pour l'initialisation des modèles, comme condition aux limites, et peuvent être assimilés rétroactivement, par exemple pour étudier le transport de polluants à l'échelle continentale.

A ce stade, l'étude est essentiellement théorique, et porte sur l'établissement du problème direct (énergie lumineuse reçue par le capteur en fonction des concentrations d'espèces, pour plusieurs longueurs d'onde), sa résolution dans des cas simples, la mise au point de méthodes numériques pour la résolution du problème inverse dans le cas général.

L'équation du transfert radiatif s'écrit, pour une longueur d'onde donnée (moyennant une simplification pour la prise en compte du profil de raie) :

$$\frac{dI_\lambda}{d\tau} = -I_\lambda + B_\lambda(T(\tau)) + D_\lambda(n) \quad (9)$$

I décrit l'intensité du rayonnement lumineux à la longueur d'onde λ , $B_\lambda(T(\tau))$ l'émission thermique d'un corps noir à la température T , D_λ un terme source lié à la rediffusion de la lumière, qui ne dépend a priori que de la densité d'espèces diffusantes n , pour un milieu supposé homogène horizontalement. La variable d'intégration τ est la *profondeur optique*, terme sans dimension exprimant la transparence du milieu. Son expression, le long d'un chemin d'abscisse curviligne s est donnée par :

$$\tau(s, \lambda, n) = \int_0^s (\sigma_a(\lambda) + \sigma_d(\lambda))n(s)ds \quad (10)$$

où les termes σ désignent les sections efficaces d'absorption et de diffusion respectivement.

Dans le cadre d'observations aéroportées ou satellitaires, on considère des rayons lumineux venant du sol avec un angle d'incidence (angle zénithal) χ . L'abscisse s dépend donc de l'altitude z ($s \cos \chi = z$). La connaissance de τ fournit le contenu intégré de la concentration d'espèces chimiques le long du parcours du rayon. Par ailleurs, l'étude de la troposphère contraint le choix des longueurs d'onde, car le rayonnement observé doit pouvoir traverser les couches supérieures de l'atmosphère sans être totalement absorbé. On doit donc considérer les longueurs d'onde supérieures ou égales au visible (infra-rouge proche à thermique, infra-rouge micro-onde, micro-onde). On peut alors négliger la diffusion par les gaz, pour ne plus considérer que la diffusion par les nuages et les aérosols.

Ce modèle peut être résolu formellement pour des cas simples (température constante, pas de nuage), et l'on accède alors au contenu intégré de concentrations d'espèces le long d'une colonne verticale. Dans les cas pratiques, pour lesquels la température varie avec l'altitude, on peut établir l'existence et l'unicité d'une solution à l'équation 9. Un protocole numérique a été établi et est en cours d'expérimentation : simulation de la mesure par modèle direct perturbé, recherche itérative de la solution τ . Les études en cours concernent la sensibilité au

profil de température, à la longueur d'onde et aux profils verticaux, ainsi que l'identification de l'information la plus à même de "spatialiser" le contenu intégré, pour obtenir un profil vertical. Dans cette optique, les pistes sont la prise en compte de l'équilibre chimie-convection-radiation, du profil de température, et du profil de raie, dont la largeur dépend de la pression et donc de l'altitude.

5.7 Estimation et suivi temporel de paramètres hydrologiques

Participants : Fabien Lahoche, Sonia Bouzidi, Isabelle Herlin.

Mots clés : estimation de paramètres, fusion de données, hydrologie, suivi temporel.

Le suivi temporel des ressources hydriques de bassins versants du Sud de l'Afrique nécessite d'établir des cartes quotidiennes, de résolution spatiale fine, d'évapotranspiration (quantité d'eau perdue par évaporation du sol et de la plante). Ces cartes servent de données d'entrée dans les modèles informatiques utilisés par les hydrologues^[Sch95]. L'évapotranspiration peut s'écrire :

$$ET = A + B \times (T_s - T_{air}) \quad (11)$$

et peut être approximée par :

$$ET = A + B \times (\alpha T_s + \beta) \quad (12)$$

où ET est l'évapotranspiration, T_s et T_{air} sont respectivement les températures de surface et de l'air et A , B , α et β sont des constantes empiriques. Les coefficients α et β ont été obtenus à l'aide de mesures terrain acquises lors d'une étude sur site, qui s'est déroulée courant mars 1999 sur le bassin versant Mupfure, situé au Zimbabwe. Élaborer des cartes quotidiennes d' ET implique donc premièrement de produire des cartes de température de surface à la même échelle spatiale. Aucun capteur satellitaire à ce jour n'offre cependant une information temporelle quotidienne et une résolution spatiale élevée.

Une alternative est alors d'établir une classification d'occupation de sol de la zone considérée à partir d'une image Landsat TM à 30 mètres de résolution spatiale et d'affecter à chaque parcelle de l'image de classification son profil temporel et individuel de température. La figure 6 montre le résultat obtenu sur le bassin versant Mkomazi, situé en Afrique du Sud, à une date donnée. Ces profils sont obtenus après une phase d'apprentissage sur une petite zone par fusion de données NOAA avec une classification.

Sur cette zone d'apprentissage, nous considérons pour chaque pixel NOAA i le modèle physique de composition de la température suivant :

$$T_i = \sum_{j=0}^{N_c} \frac{\varepsilon_j}{\varepsilon_i} \rho_{ij} T_j \quad (13)$$

où N_c est le nombre de composants, T_i est la température de surface du pixel i , T_j est la température du couvert j , ε_i est l'émissivité thermique du pixel i , ε_j est l'émissivité thermique du couvert j et ρ_{ij} est la proportion de ce composant j à l'intérieur du pixel i . L'inversion de

[Sch95] R. E. SCHULZE, *Hydrology and Agrohydrology: a text to accompany the ACRU 3.00*, Department of Agricultural Engineering, University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 1995.

ce modèle composite sur la zone d'apprentissage permet alors d'accéder aux profils individuels de température et de créer les cartes.

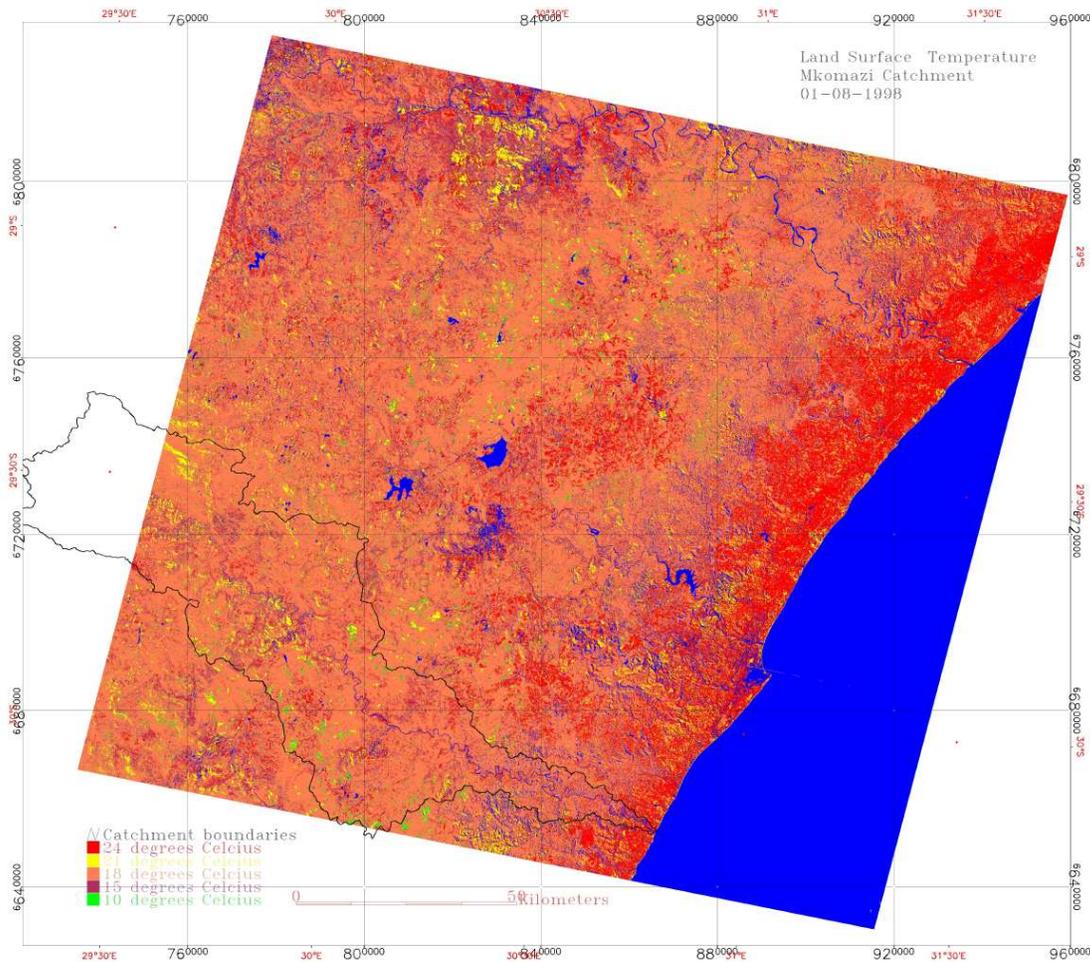


FIG. 6 – Carte de température de surface datée du 01/08/98.

5.8 Cartographie des occupations du sol à large échelle

Participants : Sonia Bouzidi, Isabelle Herlin.

Mots clés : cartographie, problème inverse, occupation de sol, spatio-temporel.

La caractérisation des occupations de sol représente une étape primordiale dans toute étude s'intéressant à la couverture végétale. Cette information peut être obtenue grâce à des campagnes terrain ou à partir de données satellitaires à haute résolution spatiale. Néanmoins ceci est très coûteux, voire même impossible sur des surfaces très importantes et dans certains types de région.

Pour effectuer des études à large échelle, nous utilisons les données NOAA-AVHRR qui offrent une couverture importante avec une résolution spatiale de 1.1 km et une fréquence d'acquisition quotidienne. Pour exploiter cette information, nous définissons un processus ayant en entrée une séquence d'images NOAA-AVHRR et qui génère une cartographie du sol en terme de pourcentages dans chaque pixel NOAA. Ce processus se base sur la décomposition des pixels NOAA, qui, en raison de leur résolution grossière, regroupent plusieurs types d'occupation de sol. L'étude de la composition de ces pixels est effectuée en considérant un modèle linéaire de réflectance (eq 14) :

$$R_i^k(t) = \sum_{j=1}^N \rho_{ij} R_j^k(t) \quad (14)$$

pour les canaux d'acquisition dans le visible (k=1) et le proche infra-rouge (k=2) avec :

- N le nombre d'occupation de sol,
- $R_i^k(t)$ la réflectance du pixel i dans le canal k à la date t ,
- $R_j^k(t)$ la réflectance du type d'occupation j dans le canal k à la date t ,
- ρ_{ij} la proportion du type d'occupation de sol j dans le pixel NOAA i .

Étant donnés les profils temporels de réflectance individuelle $R_j^k(t)$ (leur détermination a été décrite dans le rapport d'activité 1997 du projet AIR et dans [BBH97]), le modèle (14) est inversé pour obtenir les valeurs ρ_{ij} . L'inversion est effectuée en considérant, pour chaque pixel NOAA, sa valeur de réflectance à des dates différentes. Ces dates sont choisies de façon à minimiser les problèmes dus à la couverture nuageuse (une date est sélectionnée si le taux de pixels valides sur l'image est supérieur ou égal à 80%) mais elles doivent aussi couvrir une période importante du cycle végétatif. Nous considérons alors un système où le nombre d'équations est supérieur au nombre de paramètres à estimer et dans lequel on doit tenir compte des contraintes suivantes :

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^N \rho_{ij} = 1 & \text{pour chaque pixel } i, \\ 0 \leq \rho_{ij} \leq 1 \end{cases}$$

Pour résoudre ce système sur-déterminé, une méthode classique telle que la méthode du simplexe ne peut pas être directement appliquée. Le problème est alors ramené à la minimisation d'un ensemble de fonctions objectives de la forme :

$$|R_i^k(t) - \sum_{j=1}^N \rho_{ij} R_j^k(t)|$$

soumise aux contraintes sur les ρ_{ij} . L'algorithme d'optimisation utilisé se base sur la programmation quadratique séquentielle et est décrit dans [ZT93].

[BBH97] S. BOUZIDI, J.-P. BERROIR, I. HERLIN, « Simultaneous use of SPOT and NOAA-AVHRR data for vegetation monitoring », in : *Proceedings of the 10th Scandinavian Conference on Image Analysis*, June 1997.

[ZT93] J. ZHOU, A. TITS, « Non monotone Line Search For Minmax Problems », *Journal of Optimization Theory and Application* 76, 1993, p. 455-476.

5.9 Modélisation de structures océanographiques en mer Méditerranée

Mots clés : champ de vecteurs spline, détection de contours, segmentation.

Participants : Joël Sudre, Hussein Yahia, Isabelle Herlin.

Ces travaux ont pour but de tester expérimentalement la méthode exposée dans 5.1 sur une zone de la mer Méditerranée où les océanographes ont effectué un grand nombre de mesures, et qui a fait l'objet d'une étude approfondie. La zone étudiée est délimitée par le bassin algérien. L'eau d'origine atlantique pénètre dans le bassin d'évaporation constitué par la Méditerranée eurafricaine et forme, le courant algérien. Celui-ci, par sa grande instabilité, engendre des méandres et des tourbillons de méso-échelle dont la signature est bien connue des océanographes.

La méthode des champs de vecteurs spline 5.1 a été appliquée à ce cas. La séquence d'images opérationnelle utilisée pour ce test présentait des artéfacts dus à l'alternance jour-nuit, aux taches solaires, aux nuages et à la brume. Ces défauts, qui influencent considérablement les résultats des algorithmes de traitement d'image, ont été réduits par un pré-traitement approprié : opérations morphologiques du type ouverture-fermeture. L'application de la méthode précitée a ensuite permis de segmenter certains tourbillons principaux ainsi que des structures plus petites situées dans leur voisinage. Cette étude, entreprise avec l'aide des océanographes du LOB-CNRS (UMR 6535) à Marseille, nous permet de valider expérimentalement la méthode à base de champs de vecteurs spline étudiée dans le projet Air. On montre, sur l'image 7 un exemple de résultat obtenu : à gauche, une image extraite d'une séquence d'images de température de surface acquise sur la Mer Méditerranée, et présentant des structures tourbillonnaires. A droite, le résultat de la modélisation.

5.10 Interface pour le filtrage temporel de données AVHRR

Participants : Patrick Goubin, Jean-Paul Berroir, Sonia Bouzidi, Fabien Lahoche.

Mots clés : estimation de paramètre, filtrage temporel, interface utilisateur.

Une interface utilisateur dédiée au filtrage temporel des données NOAA-AVHRR a été développée cette année. Les données issues de cet instrument sont quotidiennes et couvrent de très grandes zones. Elles sont donc particulièrement adaptées au suivi temporel. Leur utilisation pour le suivi de la surface (par exemple, suivi temporel d'indices de végétation -NDVI- pour les applications agronomiques, suivi des courbes de température de surface -LST- en hydrologie) se heurte néanmoins aux problèmes suivants :

- gestion de la couverture nuageuse ;
- calibration des mesures, en particulier de température.

L'interface implémente les différents traitements développés dans le projet sur ce thème. Elle permet la détection de la couverture nuageuse et l'interpolation des données masquées par les nuages, le filtrage temporel (morphologique ou fréquentiel) des mesures, l'estimation de paramètres physiques (NDVI, LST) et la calibration en température. L'utilisateur accède à tous les paramètres de traitement de manière interactive.

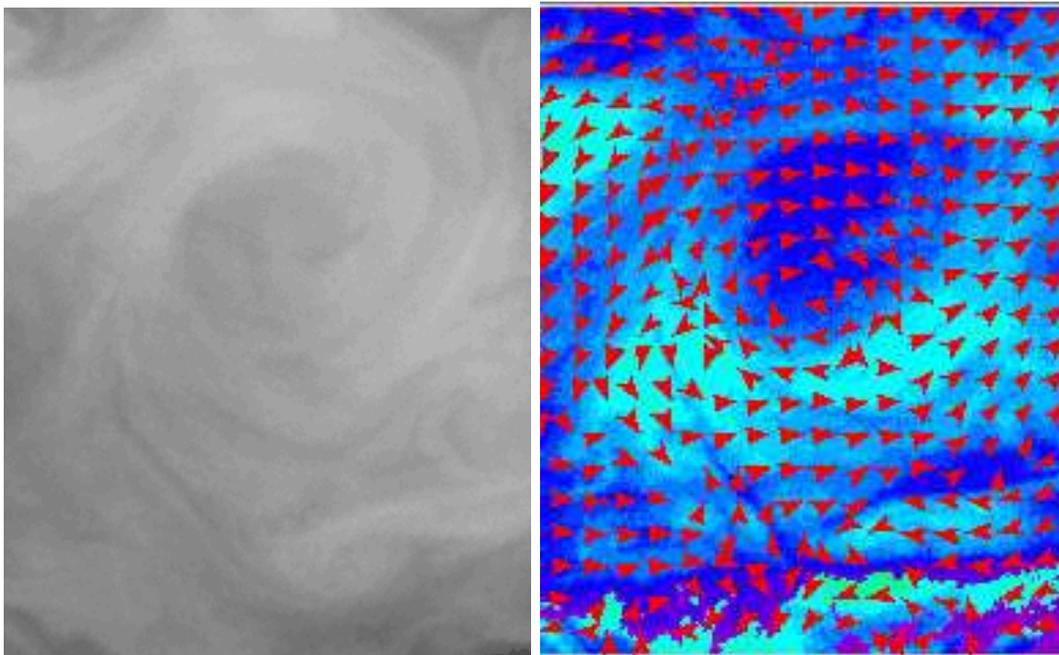


FIG. 7 – Résultat de la modélisation d'un tourbillon dans la mer Méditerranée. A gauche: l'imagette originale. A droite: résultat de la modélisation.

Cette interface a été réalisée en utilisant les logiciels Inrimage (Inria), Tcl/Tk et ses extensions TiX et BLT. Une capture d'écran de cette interface est présentée sur la figure 8.

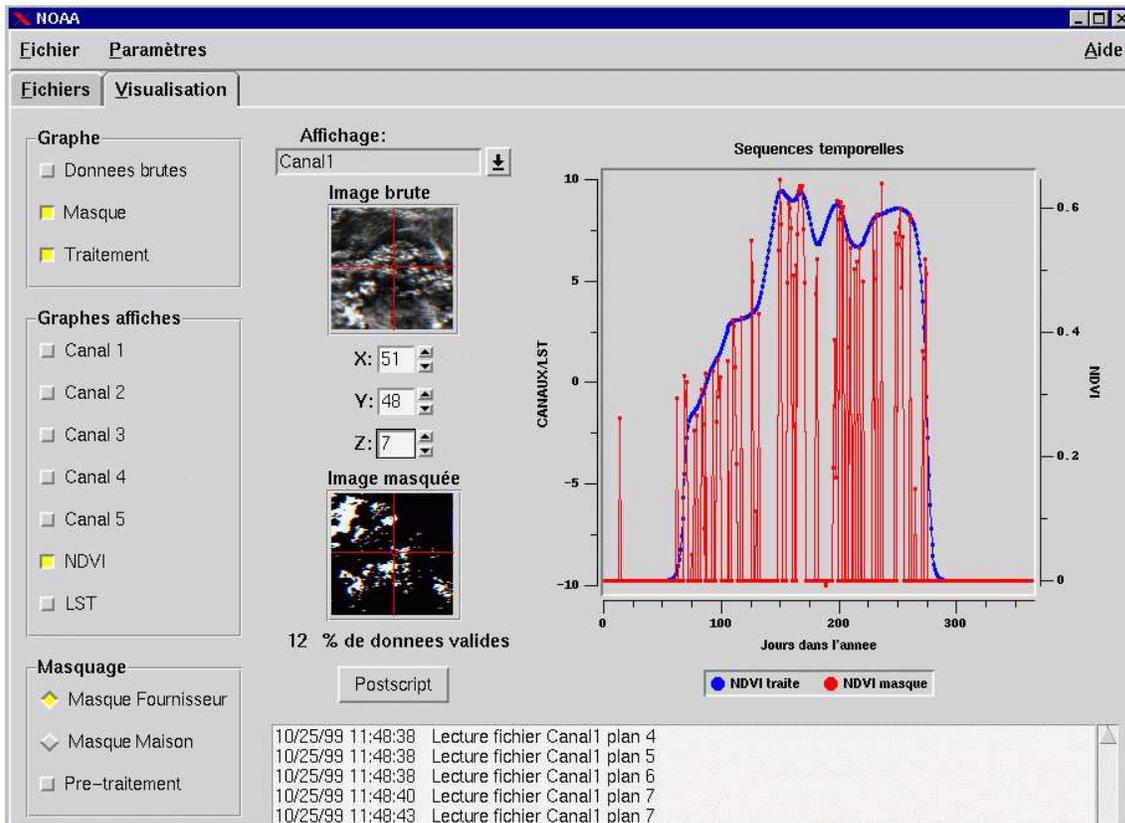


FIG. 8 – NOAA : interface pour le filtrage temporel des données NOAA-AVHRR.

5.11 Interface de sélection d'un algorithme de calcul du mouvement

Mots clés : flot optique, interface graphique, visualisation.

Participants : Nicolas David, Hussein Yahia, Isabelle Herlin.

Le traitement des séquences d'images océanographiques repose en partie sur une détermination acceptable du mouvement apparent des pixels. L'hypothèse classique de conservation des niveaux de gris laisse une indétermination sur la composante du vecteur vitesse orthogonale au gradient. C'est la raison pour laquelle il existe de nombreuses méthodes pour implémenter le flot optique : chacune d'elle calcule des quantités différentes pour cette composante indéterminée. Les séquences d'images océanographiques de température de surface possèdent des caractéristiques propres, parmi lesquelles le caractère déformable des structures étudiées. Pour utiliser un algorithme de calcul du mouvement apparent dans ce cadre, il est nécessaire de disposer

d'outils permettant de contrôler et de visualiser les résultats des différents algorithmes. Nous avons donc réalisé une interface graphique sous Tcl/Tk qui offre les caractéristiques suivantes :

- présentation par onglets, avec un onglet pour chaque algorithme,
- manipulation interactive des processus de calcul et de visualisation du flot optique (ces processus sont séparés, et fonctionnent de manière coopérative),
- manipulation de la dynamique de l'histogramme des couleurs en fonction de la norme du flot optique, pour une meilleure visualisation dans une représentation classique du champ à l'aide de flèches,
- visualisation du continuum du champ de vecteurs en utilisant une méthode de filtrage le long des orbites.

Ce dernier point consiste à implémenter la méthode dite Line Integral Convolution [CL93], dans laquelle les valeurs de niveaux de gris d'une texture sont sommées le long des orbites du champ de vecteurs. Il en résulte une visualisation claire du continuum du flot. Cet outil permet d'avoir une vue globale du mouvement calculé, et de le confronter à la réalité du mouvement observé sur la séquence d'images. Mais il ne donne pas d'orientation le long des orbites. C'est pourquoi l'outil de visualisation classique par flèches reste indispensable, à condition de pouvoir modifier la dynamique des couleurs en fonction de la distribution de la norme. A l'aide de cet outil, on visualise très clairement les résultats produits par différents algorithmes de calcul du mouvement, et on peut choisir un algorithme en fonction de la nature de la séquence d'images étudiée. Sur l'image 9, on montre la modification de la dynamique des couleurs en fonction de l'histogramme des normes. L'image 10 montre, par la méthode de la convolution le long des orbites, les différences de résultats obtenus avec trois algorithmes classiques de flot optique (Nagel, Fleet & Jepson, Horn & Schunk) appliqués sur une même séquence d'image.

5.12 Réalisation d'une chaîne de modules pour l'implémentation d'un scénario de traitement d'image

Mots clés : contour actif, flot optique, interface graphique.

Participants : Jeremy Ergisi, Hussein Yahia, Isabelle Herlin.

Nous décrivons ici l'interface utilisateur d'une chaîne complète de traitement d'image permettant la localisation de zones d'intérêt, ainsi que l'application, dans ces zones, des algorithmes de contour actif pour la segmentation des structures océanographiques. Une telle chaîne de traitement repose sur des algorithmes de calcul de maillage adaptatif pour la détermination du flot optique, d'approximation et d'interprétation d'un champ de vecteurs, et de segmentation par contour actifs. Chaque programme est caractérisé par un jeu de paramètres qu'il

[CL93] B. CABRAL, L. LEEDOM, «Imaging vector fields using line integral convolution», *in : Siggraph'93, Computer Graphics Proceedings*, Addison Wesley, p. 263–270, 1993.

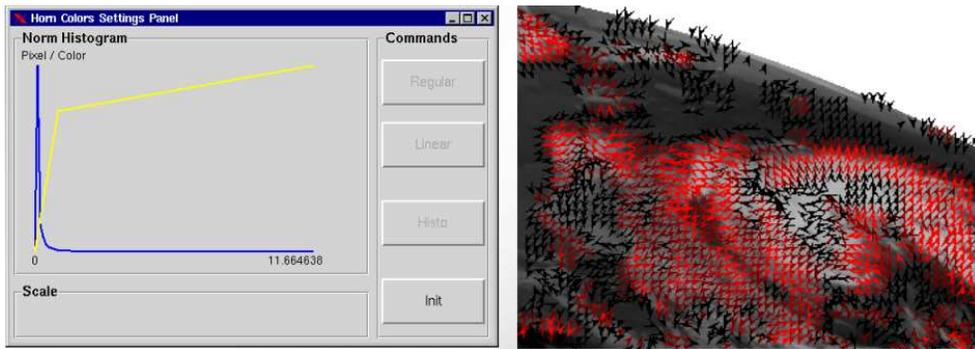


FIG. 9 – *Modification de la dynamique des couleurs en fonction de la norme des vecteurs du flot optique.*

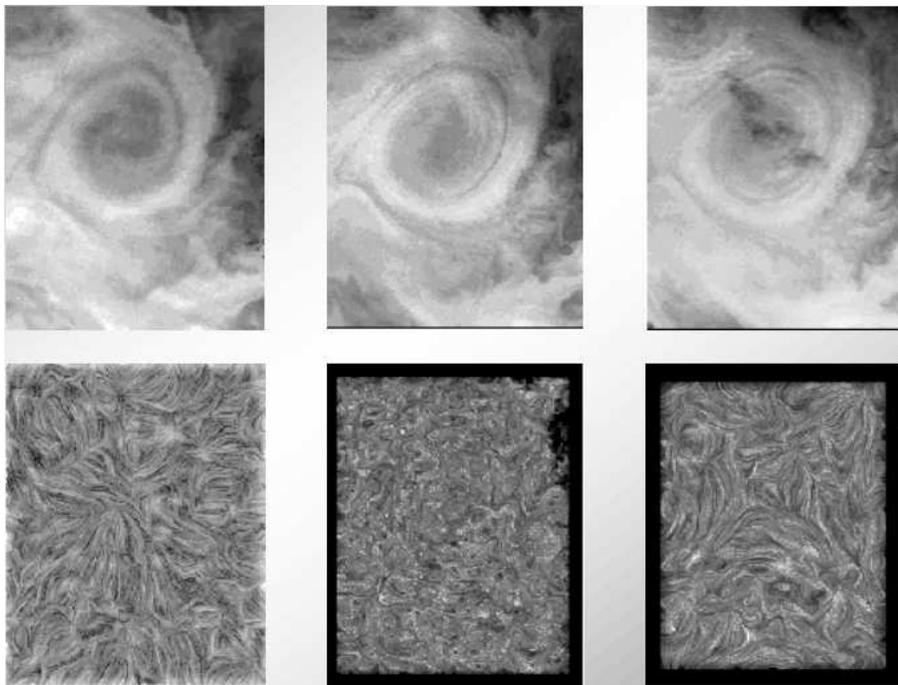


FIG. 10 – *Le résultat de trois algorithmes classiques de calcul du flot optique est visualisé par la méthode de convolution d'une texture le long des orbites.*

faut pouvoir manipuler correctement pour offrir un réel contexte opérationnel d'utilisation des algorithmes. Les principales étapes de cette chaîne de traitement sont :

- visualisation de la séquence d'images, ainsi que des zones à forte variation spatio-temporelle,
- génération du maillage adaptatif,
- calcul du flot optique,
- approximation du flot optique et interprétation locale,
- extraction de zones correspondant à un mouvement particulier,
- calcul de gradients, de cartes de distance,
- algorithmes de contour actif de type snake.

Nous utilisons un système à onglets, écrits en Tcl-Tk-Blt pour l'interface graphique, et en C pour le traitement d'image, dans lequel chaque onglet représente une étape du traitement. Dans chaque onglet, l'utilisateur peut faire fonctionner les algorithmes en visualisant les résultats obtenus, et en jouant sur les paramètres propres à chaque étape du traitement. Pour les algorithmes à exécution plus lente, il est possible d'extraire une imagerie pour visualiser en temps réel le résultat sur une région d'intérêt. L'utilisation de Tcl-Tk-Blt permet par ailleurs d'offrir un contrôle agréable pour étudier l'influence des paramètres d'un algorithme. La conception de cette étude est d'une grande importance pour valider l'intégration d'une chaîne de traitement dans un contexte opérationnel. La figure 11 donne une vue du type d'interface utilisée. Dans cette image, c'est l'onglet de choix de la séquence d'images qui est représenté.

5.13 Publication de données et de programmes dans un environnement distribué sur le Web

Mots clés : API, bases de données distribuées, interface graphique, traitement d'image, WWW.

Participants : Hussein Yahia, Hicham Amaoui, Jean-Pierre Matsumoto, Isabelle Herlin.

Le projet Air intègre des outils de traitement d'image dans un environnement distribué et consultable par le Web. Le système s'appelle LeSelect et est développé par le projet Caravel (Inria-Rocquencourt). LeSelect permet de publier données et programmes dans un système de bases de données distribuées consultables par le Web. Le caractère hétérogène des données et des programmes publiés est géré par un ensemble de modules appelés *wrappers* et écrits en Java. Des modules de communication sous plusieurs protocoles ont été implémentés (ftp, CORBA etc.). Un module de communication CORBA a été développé, permettant l'exportation des API (Application Programming Interface) implémentées dans LeSelect. Ce module de communication comprend en particulier les types de données échangées entre le module de communication et ses clients. Nous avons également débuté l'implémentation d'une interface

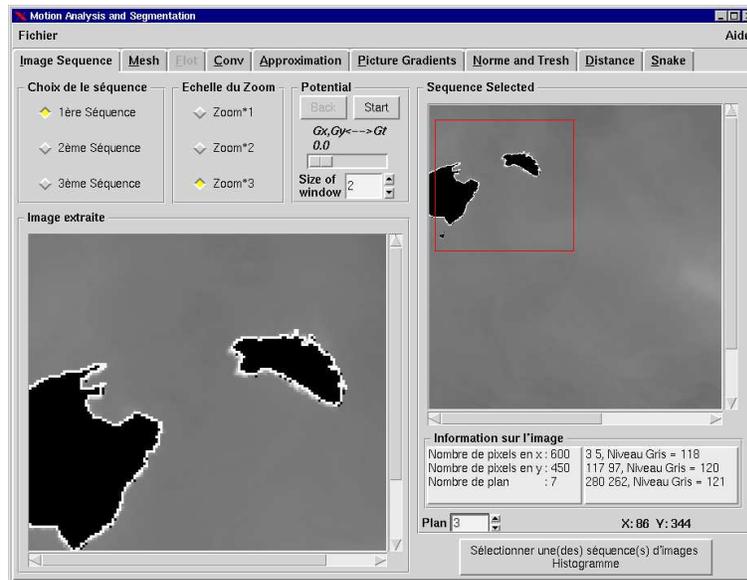


FIG. 11 – Onglet de sélection d'une séquence à traiter.

graphique pour invoquer les programmes de la chaîne de traitement d'image dans la plate-forme LeSelect. En effet, le but visé est d'offrir à l'utilisateur :

- des outils pour publier dans ce système distribué des données de nature variée (séquences d'images, résultats de programmes de simulation, etc.),
- la possibilité d'exécuter à distance des programmes sur des données publiées,
- des outils d'indexation des données publiées.

Nous utilisons cela pour implémenter une chaîne de traitement d'image dans LeSelect. Il s'agit d'offrir à l'utilisateur les outils de traitement d'image suivants :

- publication et consultation de séquences d'images,
- calcul du mouvement apparent, approximation et interprétation du champ de vecteurs obtenu,
- localisation et extraction de zones d'intérêt,
- segmentation par contours actifs.

Les wrappers de données image ont déjà été implémentés. L'accès aux données est réalisé par un appel aux fonctionnalités de JDBC (Java DataBase Connection) à travers des servlets, et donc le JSDK (Java Servlet Development Kit) standard de Java. Nous avons également débuté l'écriture des wrappers de programme pour les premières étapes de la chaîne de traitement d'image. L'accès au système se fait à l'aide d'un navigateur standard client d'un serveur Web. Nous montrons, à la figure 12, la consultation d'une base de données image publiée.

The screenshot shows the 'Le Select HTTP Module' interface. On the left, there is a 'Wrappers and Tables' sidebar with a tree view containing '/inimage/header/Sequences1', '/inimage/image', and '/inimage/metadata'. The main area is titled 'Table /inimage/header/Sequences1'. It features a 'Criteria' input field with the value '1'. Below this, there is a 'Projection' section with several checkboxes: 'FileName', 'Sequence', 'XRes', 'YRes', 'Number of plans', 'Format', 'HeaderSize', 'Codage', and 'Depth'. An 'Apply' button is located below the checkboxes. The main content area displays the 'Content of table /inimage/header/Sequences1 (download)' as a table with the following data:

FileName	Sequence	XRes	YRes	Number of plans	Format	HeaderSize	Codage	Depth
data/im_seq_mod	Download Binary	600	450	17	Inimage	1	not packee fixed comma	1
data/belle_seq	Download Binary	600	450	17	Inimage	1	not packee fixed comma	1

FIG. 12 – Consultation d'une séquence d'images publiée dans LeSelect

6 Actions régionales, nationales et internationales

6.1 Actions nationales

De part sa spécificité, le projet AIR a établi différents niveaux de collaboration : avec des laboratoires de traitement d'image, avec des spécialistes des différents domaines d'application en environnement et avec des chercheurs spécialisés en bases de données ou système d'information pour travailler sur l'aspect intégration dans un système d'accès aux données et aux programmes pour la gestion d'un problème environnemental.

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

- Le CMLA, Laurent Younes du groupe DIAM a co-encadré la thèse de Dominique Béréziat sur le mouvement et la prédiction.
- L'ENST sur les problèmes d'imagerie radar, Henri Maître et Jean-Marie Nicolas ; en particulier I. Herlin et E. Huot participent au groupe de travail « techniques fondamentales pour le développement de phase » de l'action Radar financée par le Projet National de Télédétection.

Au niveau applicatif, des collaborations importantes ont lieu avec les laboratoires suivants :

- Institut Francilien de Géophysique de l'université de Marne-la-Vallée, sur l'étude de la modification de l'état du sol par interférométrie différentielle.
- Laboratoire d'océanographie, CNRS et université de Marseille, pour l'étude des structures océanographiques superposées.

Enfin sur les aspects intégration, une contribution fondamentale provient de la collaboration avec le projet Caravel.

6.2 Actions européennes

Participation au projet INCO-PED IWRMS [6] en collaboration avec l'Afrique du Sud, le Zimbabwe et le Swaziland. Le but principal est l'étude d'un bassin versant pour une meilleure connaissance et une meilleure gestion des ressources en eau. Notre contribution concerne l'extraction et la caractérisation de paramètres hydrologiques au moyen de l'imagerie satellitaire.

Participation au projet TELEMATICS Thetis, en collaboration avec le Forth. Il s'agit d'un prototype de système distribué permettant l'interrogation à distance de données variées et hétérogènes (images et programmes).

L'étude sur l'estimation de données d'entrée pour les modèles de qualité de l'air est menée dans le cadre du groupe de travail ERCIM "*Environmental Modelling*" en étroite collaboration avec l'équipe DYMOS du GMD-FIRST (Pr. A. Sydow, Berlin). Elle a été concrétisée par le contrat DECAIR (environnement et climat), en collaboration avec GMD (All), UPM (Esp), CLRC (GB), FORTH (Grèce), SICE-SA (Esp), BULL-SA, et dont la coordination scientifique est faite en collaboration avec le projet CARAVEL (Eric Simon, François Llibat).

6.3 Actions internationales

Collaboration avec le laboratoire IRIS de l'University of Southern California. Isaac Cohen, chercheur INRIA du projet AIR, y est en disponibilité pour une durée de deux ans et il exerce la fonction de Research Professor dans cette équipe.

6.4 Visites et invitations de chercheurs

Nadjia Benblidia, maître assistante de l'université de Blida en Algérie, a été reçue en 1999. Une recherche commune est effectuée sur l'apport de la télédétection pour l'étude des milieux arides et en particulier sur le lien entre la végétation et le relief.

Vicenç Parisi-Baradad, de l'université polytechnique de Catalogne, a effectué un séjour au sein du projet et a réalisé une étude de suivi de fronts sur les images de température de l'océan.

Alfons Salden, de l'ISI d'Utrecht aux Pays-Bas, boursier post-doctoral ERCIM a travaillé dans le projet Air, et au GMD-First, sur l'estimation de paramètres des modèles de pollution urbaine au moyen des données de télédétection.

7 Diffusion de résultats

7.1 Animation de la communauté scientifique

- Le projet AIR anime, en collaboration avec le GMD First, un groupe de travail ERCIM sur le thème "Environmental Modelling". Dans ce cadre, un workshop a été organisé les 3 et 4 juin 1999, au Palais des Congrès de Versailles.
- Le projet participe également à la deuxième action concertée sur l'imagerie RADAR du GdR ISIS, débutée en septembre 1998 et animée par Henri Maître (ENST).

7.2 Comités éditoriaux de conférences

Isabelle Herlin a été membre du comité de programme de ICIP 99 et de WMC 2000 (janvier 2000, San Diego, USA). Isabelle Herlin a présidé le comité de programme du workshop ERCIM « Information systems for environmental applications » organisé par l'INRIA en juin 1999 à Versailles.

7.3 Enseignement

- Estimation du mouvement : 2ème année d'école d'ingénieur, IIE, 10 heures (Dominique Béréziat).
- Robotique : 2ème année d'école d'ingénieur, IIE, 9 heures (Dominique Béréziat).
- Informatique, Algorithmique, Programmation : 1ère année d'école d'ingénieur, IIE, 60 heures (Dominique Béréziat).
- Étude de cas, contours actifs : ESIEE, 4ème année d'école d'ingénieur, 15h (Jean-Paul Berroir).
- Méthodes statistiques de reconnaissance de formes : 2ème année d'école d'ingénieur, ISTM, 21 heures (Jean-Paul Berroir et Fabien Lahoche).
- Algorithmique et programmation en langage C : 1ère année de DEUG Technologie Industrielle à l'Université D'Evry Val d'Essonne : Institut Universitaire Professionnel, 70 heures (Sonia Bouzidi).
- Traitement d'images : 2ème année d'école d'ingénieur, ISTM, 45 heures (Isabelle Herlin, Etienne Huot).
- Physique des capteurs : 3ème année d'école d'ingénieur, ISTM, 18 heures (Isabelle Herlin).
- Présentation des modèles déformables : DEA de Génie Biologique et Médical, Université Paris 12, 8 heures (Isabelle Herlin).
- Programmation structurée en langage C (cours, TD et TP) : 1ère année d'école d'ingénieur, ISTM, 66 heures (Etienne Huot et Fabien Lahoche) .
- Système d'exploitation UNIX (cours, TD et TP) : ISTM, 1ère année d'école d'ingénieur, ISTM, 36 heures (Etienne Huot et Fabien Lahoche).
- Synthèse d'image et multimédia : 3ème année d'école d'école d'ingénieur, ISTM, 36 heures (Hussein Yahia).
- Multimédia et synthèse d'image : DESS, Université Paris XIII, Institut Galillée, 3 heures (Hussein Yahia).

7.4 Participation à des colloques, séminaires, invitations

Outre la participation aux conférences figurant dans la liste des publications, les membres du projet ont participé à différents séminaires pour y faire des présentations de leurs travaux :

- D. Béréziat : Estimation du mouvement sur les séquences d'images infrarouges. Le jeudi 14 janvier 1999, GT4 Modèles Déformables Dynamiques, ENST.
- D. Béréziat : Estimation de mouvement, application à la météorologie, journée du GREYC, Caen, novembre 1999.
- J.P. Berroir et A.H. Salden : Journées Scientifiques sur l'Assimilation d'Observation de la Chimie Atmosphérique dans les Modèles. Paris les 28 et 29 janvier 1999. Sous le patronage du Comité Français de Géodésie et Géophysique. Présentation de : "Satellite Image Analysis and Processing of Atmospheric Chemistry".
- J.P. Berroir and I. Herlin : 1er et 2ème Workshop du contrat européen DECAIR à Versailles en juin 1999 et Berlin en novembre 1999.
- J.P. Berroir, I. Herlin and F. Lahoche : 3ème Workshop du contrat européen INCO-PED IWRMS (Integrated Water Resources Management System) Iéna, Allemagne du 13 au 16 juillet 1999. Présentation de l'avancement des travaux.
- S. Bouzidi : participation au "5th ERCIM Environmental Modelling Group Workshop on Information Systems for Environmental Modelling", juin 1999, Versailles, France.
- I. Herlin, H. Yahia : Journées ERCIM et contrat Thetis : participation et démonstration à la réunion tenue à Amsterdam en novembre 1999.
- E. Huot : Détection de changements et suivi de l'évolution du sol, journée du GREYC, Caen, novembre 1999.
- H. Yahia : Contrat Thetis : participation et démonstration à la réunion tenue à Cannes en juin 1999.

8 Bibliographie

Ouvrages et articles de référence de l'équipe

- [1] I. COHEN, I. HERLIN, « Tracking Meteorological Structures through Curves Matching Using Geodesic Paths », *rapport de recherche n° 3191*, INRIA, UR Rocquencourt, Juin 1997.
- [2] I. COHEN, I. HERLIN, « Curves Matching Using Geodesic Paths », *in : Proceedings of the conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR'98*, IEEE, p. 741-746, Santa-Barbara, USA, June 1998.

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [3] D. BÉRÉZIAT, *Détection et suivi de structures déformables en mouvement, application à la météorologie*, thèse de doctorat, Université Paris-Sud, Orsay, octobre 1999.

Articles et chapitres de livre

- [4] I. COHEN, I. HERLIN, «Non uniform multiresolution method for optical flow and phase portrait models: environmental applications», *International Journal of Computer Vision* 33, 1999, p. 29–49.
- [5] A. SALDEN, J. BERROIR, «Satellite Image Analysis and Processing Tools to be used in Air-Pollution Forecast and Simulation Systems», *Systems Analysis Modelling Simulation*, 1999, to appear.
- [6] H. STAUDENRAUSH, W.-A. FLÜGEL, T. RANCHIN, I. HERLIN, G. RODOLFI, M. CLARK, R. SCHULZE, N. KING, D. TEVERA, J. MATONDO, «The development of innovative computer based "Integrated Water Resources Management System" for semi-arid catchments: concepts and first results», *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, Heft 3–4, August 1999, p. 189–212.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [7] D. BÉRÉZIAT, I. HERLIN, L. YOUNES, «Motion Estimation Using a Volume Conservation Hypothesis», *in: International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing*, Phoenix, mars 1999.
- [8] I. HERLIN, H. YAHIA, «Image Processing of Oceanographic Images», *in: Mission Earth'99*, San-Francisco, USA, janvier 1999.
- [9] F. LAHOCHÉ, J.-P. BERROIR, S. BOUZIDI, I. HERLIN, «Etude spatio-temporelle de la température du sol par données satellites multicapteurs», *in: ORASIS'99*, p. 61–69, Aussois, France, avril 1999.
- [10] F. LAHOCHÉ, J.-P. BERROIR, S. BOUZIDI, I. HERLIN, «Hydric stress detection by estimating actual evapotranspiration with satellite acquisitions in semi-arid catchments», *in: SPIE'99*, Florence, Italy, septembre 1999.
- [11] V. PARISI BARADAD, H. YAHIA, J. FONT, I. HERLIN, E. GARCIA-LADONA, «Image motion analysis using scale space approximation and simulated annealing», *in: International Work-Conference on Artificial and Natural Neural Networks, Biological and Artificial Computation: Methodologies, Neural Modeling and Bioinspired Applications*, Alicante, Spain, 2-4 juin 1999.
- [12] V. PARISI BARADAD, H. YAHIA, E. GARCIA-LADONA, J. CABESTANY, I. HERLIN, «Sea surface currents estimation using simulated annealing», *in: 24th General Assembly of the European Geophysical Society*, The Hague, The Netherlands, avril 1999.
- [13] V. PARISI BARADAD, H. YAHIA, E. GARCIA-LADONA, I. HERLIN, J. CABESTANY, «Analysis of mesoscale structure using image processing techniques», *in: 4th MTP Workshop, European Commission, MAST Programme, Mediterranean Targeted Project II-Mater*, Perpignan, France, octobre 1994.
- [14] V. PARISI BARADAD, H. YAHIA, I. HERLIN, «Modeling and Temporal Evolution of a Family of Curves», *in: 11th Scandinavian Conference on Image Analysis*, Kangerlussuaq, Greenland, Denmark, 7-11 juin 1999.
- [15] V. PARISI BARADAD, H. YAHIA, I. HERLIN, «A New Approach to the Temporal Evolution of a Family of Curves», *in: 1999 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Phoenix, Arizona, USA, 15-19 mai 1999.

- [16] A. SALDEN, J. BERROIR, «Satellite Image Analysis and Processing of Atmospheric Chemistry», in: *Journées Scientifiques sur l'Assimilation d'Observations de la Chimie Atmosphérique dans les Modèles*, Comité National Français de Géodésie et Géophysique, Paris, janvier 1999.

Rapports de recherche et publications internes

- [17] E. HUOT, H. YAHIA, I. HERLIN, I. COHEN, «Mise en correspondance de surfaces par chemins géodésiques», *rapport de recherche n° 3842*, INRIA, décembre 1999, to appear.

Divers

- [18] H. AMAOUI, *Conception et implémentation de fonctions dans un système d'accès sur le Web utilisant des métadonnées*, Mémoire, EMI, septembre 1999.
- [19] F. BOUMGHAR, *Segmentation spatio-temporelle des structures nuageuses à partir de séquence d'images infrarouges METEOSAT*, Mémoire, Université Paris VII Denis Diderot, septembre 1999.
- [20] N. DAVID, *Développement d'outils de visualisation des résultats de flot optique*, Mémoire, Institut d'Informatique d'Entreprise, septembre 1999.
- [21] J. ERGISI, *Amélioration de la chaîne de traitement d'images, optimisation des algorithmes*, Mémoire, Institut Supérieur d'Ingénierie Appliquée, septembre 1999.
- [22] J. SUDRE, *Détection et suivi automatiques de structures dynamiques de moyenne échelle (tourbillons) dans le Bassin Algérien par adaptation et test d'une méthode d'approximation par champ de vecteurs appliquée aux images satellitaires infrarouge NOAA/AVHRR*, Mémoire, Centre Océanographique de Marseille, septembre 1999.