

# *PROJET AIR*

*Traitement d'image et données satellites dynamiques*

*Rocquencourt*

THÈME 3B



*R*apport  
*d'Activité*

2000



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Composition de l'équipe</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Présentation et objectifs généraux</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Fondements scientifiques</b>	<b>3</b>
3.1	Mouvement . . . . .	3
3.2	Déformation . . . . .	4
3.3	Estimation de paramètres . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Domaines d'applications</b>	<b>5</b>
4.1	Panorama . . . . .	5
4.1.1	Cartographie à large échelle . . . . .	5
4.1.2	Hydrologie . . . . .	5
4.1.3	Gestion du littoral côtier . . . . .	5
4.1.4	Qualité de l'air . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Résultats nouveaux</b>	<b>6</b>
5.1	Propagation géodésique : généralisation en dimension quelconque. . . . .	6
5.2	Mise à jour de modèle numérique de terrain au moyen de l'imagerie RADAR . . . . .	9
5.3	Analyse de trajectoires de nuages sur des séquences d'images . . . . .	10
5.4	Estimation de l'évapotranspiration par imagerie satellite . . . . .	12
5.5	Variabilité de la température de surface selon le type d'occupation de sol . . . . .	13
5.6	Variabilité de la réflectance et de la température de surface selon la topographie . . . . .	14
5.7	Estimation de profils verticaux d'espèces chimiques : inversion de modèle radiatif . . . . .	15
5.8	Estimation de profils verticaux d'espèces chimiques : couplage radiatif-chimie . . . . .	16
5.9	Estimation de l'ensoleillement au sol . . . . .	17
5.10	Mise à jour automatique de l'occupation du sol . . . . .	18
5.11	Contrat THETIS : réalisation d'un prototype pour l'intégration d'outils de traitement d'image dans le middleware distribué LeSelect. . . . .	19
<b>6</b>	<b>Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>19</b>
6.1	Actions nationales . . . . .	19
6.2	Actions européennes . . . . .	20
6.3	Actions internationales . . . . .	21
6.4	Visites et invitations de chercheurs . . . . .	21
<b>7</b>	<b>Diffusion de résultats</b>	<b>21</b>
7.1	Animation de la communauté scientifique . . . . .	21
7.2	Comités éditoriaux de conférences . . . . .	21
7.3	Enseignement . . . . .	21
7.4	Participation à des colloques, séminaires, invitations . . . . .	22
<b>8</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>23</b>

## 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, jusqu'au 31 août 2000]

Sonia Bouzidi [université d'Evry]

Isaac Cohen [USC, Los Angeles]

Jean-Pierre Matsumoto [université de Paris 7]

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

### Chercheur invité

Nadjia Benblidia [maître assistante, université de Blida, Algérie, durée de 8 mois]

### Chercheur post-doctorant

Souad Haddadi [Post-doctorant, jusqu'au 31 mai 2000]

### Ingénieur expert

Dominique Béréziat [depuis septembre 2000]

Etienne Huot [jusqu'au 30 septembre 2000]

## Doctorants

Fodil Boumghar [université de Marne la Vallée, jusqu'au 15 mai 2000]

Jacopo Grazzini [université de Marne la Vallée, depuis le 1er octobre 2000]

Etienne Huot [université de Caen, jusqu'au 26 janvier 2000]

Fabien Lahoche [université du Littoral, Dunkerque]

## Stagiaires

Abdelghani Bekkaoui [ENSIAS, Maroc]

Antoine Bourdais [INSA, Rouen]

Jacopo Grazzini [université de Paris 7]

Sylvie Lorsolo [Université de Toulon]

## 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, spécialistes en pollution, ...) 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 grandes approches :

1. L'analyse des images pour la détection et le suivi de structures ; l'estimation de grandeurs physiques par résolution de problèmes inverses à partir des acquisitions, ...
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 avec le projet CARAVEL.

## 3 Fondements scientifiques

### 3.1 Mouvement

**Mots clés** : champ de vecteurs, flot optique, méthode variationnelle, physique statistique, 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. Bien entendu, la nature des données et de

l'information recherchée par les utilisateurs est prise comme contrainte pour l'élaboration des solutions. Une des premières étapes concerne l'estimation et l'interprétation du mouvement apparent présent sur ces données. Dans la littérature, des travaux, devenus classiques, 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. Des approches couplées sans modèle a priori / avec modèle a priori ont été réalisées afin d'appréhender la nature hiérarchique des composantes du mouvement. Par ailleurs, une modélisation par champ de vecteurs spline a été élaborée pour étudier des familles de structures en évolution et en interaction. Enfin, la démarche scientifique actuelle s'oriente vers la modélisation par des outils de physique statistique.

### 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, ces structures interagissent parfois entre elles, rendant le problème plus complexe que celui du suivi temporel classique d'une structure à faible déformation sous des hypothèses de conservation de caractéristiques différentielles. Les approches élaborées par le projet sur ce thème concernent, par exemple, la modélisation de la déformation par création d'une surface interpolante et par l'utilisation de courbes géodésiques. Nous nous sommes également 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 données, modèle physique, modèle statistique.

Dans le but d'estimer certains paramètres 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 considéré aux différentes mesures satellitaires, puis de calibrer et valider sur des mesures terrain cette modélisation. Pour résoudre le problème d'estimation, le modèle doit être ensuite inversé à partir de séries de mesures de résolutions spatiale et temporelle variées. 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/ou sur les modèles de structures étudiées. Les problèmes inverses sont également abordés par des techniques d'optimisation sous contraintes de critères, dont le gradient est obtenu par modélisation adjointe.

## 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. Le projet AIR a ainsi défini un large réseau de collaborations sur ses différents thématiques d'étude.

Actuellement, les collaborations fortes du projet concernent 4 types d'application : la cartographie à large échelle, l'hydrologie, la gestion du littoral côtier 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 et fondamentale pour étudier la couverture végétale et son évolution. 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/et de campagnes terrain. Quand il s'agit d'études à large échelle, par exemple à l'échelle de tout un bassin versant, 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 à l'intérieur de chaque pixel NOAA.

#### 4.1.2 Hydrologie

Cette étude est effectuée en collaboration avec le département d'hydrologie des universités du Kwazulu-Natal (en Afrique du Sud) et d'Harare (au Zimbabwe) 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, évapotranspiration) et de caractériser leur variabilité en fonction de l'occupation du sol et/ou de la topographie pour plusieurs bassins versants en Afrique australe. Ces paramètres sont ensuite intégrés dans un système de modélisation hydrologique servant pour l'aide à la décision de 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 côtier

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 problématique est abordée par un consortium européen (dans le cadre du contrat européen THETIS, programme TELEMATICS) réunissant des spécialistes en base de données, modélisation, biologie marine, ... et en collaboration avec le réseau européen RECORMED, qui regroupe les instituts européens spécialistes de la mer, dont le partenaire français est l'IFREMER.

Par ailleurs de nouvelles études sont en cours sur la gestion des pollutions pétrolières avec le CEDRE et la gestion des inondations côtières avec HR Wallingford (Royaume Uni).

#### 4.1.4 Qualité de l'air

Ces études sont menées, d'une part dans le cadre du groupe de travail ERCIM "modélisation environnementale" -et plus particulièrement avec l'équipe DYMOS du GMD-FIRST (Berlin, All.)-, d'autre part dans le cadre de l'action de recherche collaborative COMODE, avec l'école des Ponts et Chaussées, le projet IDOPT et le CERFACS. Deux directions de recherche ont été choisies :

- L'estimation de paramètres d'entrée pour les modèles de prévision et de simulation de la qualité de l'air en milieu urbain, en vue de permettre :
  - l'amélioration des résultats de prévision par la fourniture de paramètres de "meilleure qualité" ;
  - l'amélioration des modèles proprement dits, par l'estimation objective de paramètres variables dans le temps et l'espace ;
  - l'automatisation de l'implémentation de modèles sur de nouveaux sites.
- L'inversion de modèles radiatifs : les mesures satellitales s'expliquent physiquement par des modèles de transfert radiatif. L'inversion de ceux-ci permet d'estimer la composition et la structure de l'atmosphère le long du chemin optique. Les applications visées sont, d'une part l'estimation de la composition chimique de la basse atmosphère, d'autre part l'analyse du transfert radiatif à travers les nuages. La première application a un intérêt immédiat pour la modélisation de la pollution, la deuxième permet des études de télédétection sous les nuages, sur l'ensoleillement exact au sol, sur la qualité de l'eau de pluie.

## 5 Résultats nouveaux

### 5.1 Propagation géodésique : généralisation en dimension quelconque.

**Mots clés** : équation de Hamilton-Jacobi, level-set, mise en correspondance, propagation



géodésique.

**Participants :** Hussein Yahia, Etienne Huot, Isabelle Herlin.

Nous avons étudié une généralisation, à un nombre quelconque de dimensions, des résultats établis l’an dernier (voir le rapport d’activité du projet Air, année 1999) concernant l’évolution d’une famille de surfaces. Une telle généralisation est intéressante pour les raisons suivantes :

- d’un point de vue théorique, un schéma d’évolution très général est ainsi formulé en dimension quelconque,
- elle offre de nouveaux points de vue pour aborder certains problèmes pratiques.

Le cadre général est le suivant : soit  $X$  une hypersurface compacte et connexe de  $\mathbb{R}^n$ , (sous-variété de dimension  $n-1$ ) et  $\Xi_0$  une sous-variété de dimension  $n-2$  “tracée” sur  $X$ . On cherche à déterminer l’équation d’évolution, en fonction du paramètre  $t$ , de la famille de sous-variétés  $\Xi_t$  située à distance géodésique  $t$  de  $\Xi_0$  :

$$\Xi_t = \{x \in X \mid d_X(x, \Xi_0) = t\}$$

où  $d_X$  désigne la distance géodésique sur  $X$ . Cette équation d’évolution se détermine en considérant un paramétrage orthogonal  $\alpha(u_1, u_2, \dots, u_{n-2}, t)$  d’une famille de  $n-2$  sous-variétés dans  $X$ . Soit  $\vec{N}$  le champ de vecteurs normal sur  $X$ . Si la famille  $\alpha(\bullet, t)$  suit la loi d’évolution suivante :

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = * \left( \vec{N} \wedge \tau^{\vec{u}_1} \wedge \tau^{\vec{u}_2} \wedge \dots \wedge \tau^{\vec{u}_{n-2}} \right) \quad (1)$$

où  $*$  :  $\Lambda^{n-1}(\mathbb{R}^n) \longrightarrow \Lambda^1(\mathbb{R}^n) \simeq \mathbb{R}^n$  est l’opérateur de Hodge (utilisé ici simplement pour construire un produit vectoriel en dimension  $n$ ), alors  $\alpha(u_1, u_2, \dots, u_{n-2}, t)$  est, pour tout  $t$ , un paramétrage local de  $\Xi_t$ , et le schéma d’évolution ci-dessus représente donc celui de la famille de sous-variétés ( $\Xi_t$ ).

On considère ensuite la projection  $\pi$  de  $\Xi_t$  sur l’hyperplan  $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$  de  $\mathbb{R}^n$ . Pour cela, on suppose à présent que  $X$  est le graphe d’une fonction  $f : \mathbb{R}^{n-1} \longrightarrow \mathbb{R}$ . Les attributs différentiels de  $X$  sont représentés par la famille de quantités :  $p_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$ , ( $1 \leq i \leq n-1$ ). On établit un schéma d’évolution eulérien pour la famille de projections  $\pi \circ \alpha(u_1, u_2, \dots, u_{n-2}, t)$ , qui est par conséquent écrite sous forme d’un *level-set* :  $\varphi^{-1}(0)$ , pour une fonction

$$\varphi : \mathbb{R}^{n-1} \oplus \mathbb{R} \longrightarrow \mathbb{R}$$

Ce schéma d’évolution est :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \sqrt{U^t M U}$$

où  $M$  est la matrice d’une forme quadratique :

$$M = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n-1} p_i^2} \begin{pmatrix} 1 + \sum_{j \neq 1} p_j^2 & -p_1 p_2 & \dots & -p_1 p_{n-1} \\ -p_2 p_1 & 1 + \sum_{j \neq 2} p_j^2 & \dots & -p_2 p_{n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -p_{n-1} p_1 & -p_{n-1} p_2 & \dots & 1 + \sum_{j \neq n-1} p_j^2 \end{pmatrix}$$

et  $U$  le vecteur colonne des  $\frac{\partial \varphi}{\partial x_i}$ ,  $1 \leq i \leq n - 1$ . Le schéma numérique établi pour l'évolution des surfaces se généralise sans difficulté, mais il reste inexploitable en dimension quelconque pour des raisons de complexité algorithmique. Une question intéressante est donc de trouver des schémas de résolution adaptés. Signalons également que le modèle de mise en correspondance développé pour les surfaces s'étend de la même manière aux cas des variétés quelconques.

Nous avons appliqué ce processus de mise en correspondance de surfaces sur des données météorologiques. Ces données sont acquises dans le canal infrarouge et mesurent la température. Il est établi que cette température est directement reliée à l'élévation des nuages, d'où l'intérêt de cet exemple. Les données initiales sont illustrées sur la figure 1 et le résultat de la mise en correspondance est présenté sur la figure 2.

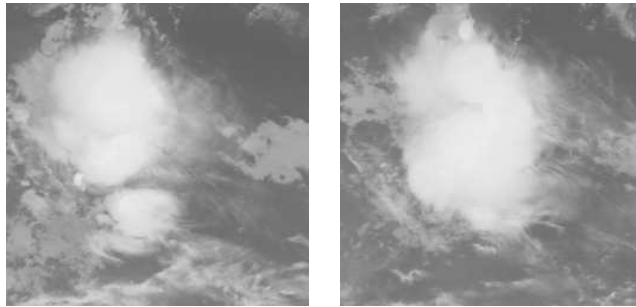


FIG. 1 – Structures source (a) et destination (b) pour la mise en correspondance.

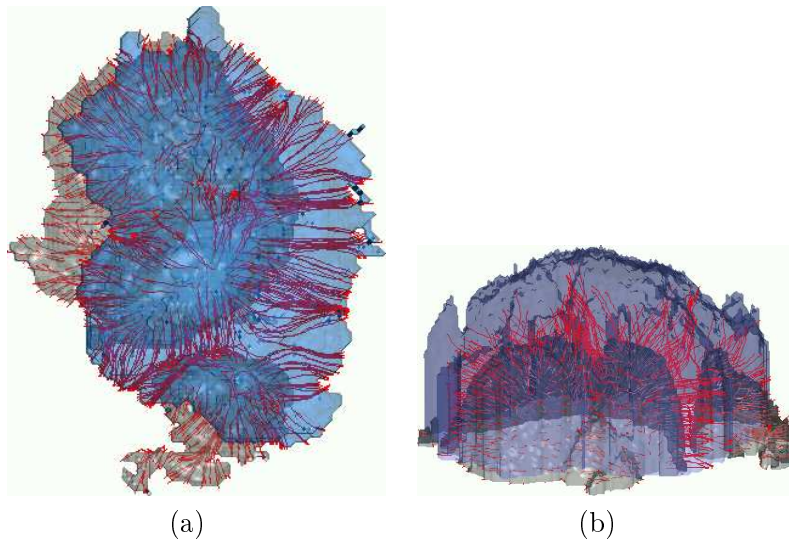


FIG. 2 – Deux vues distinctes montrant le résultat de la mise en correspondance.

## 5.2 Mise à jour de modèle numérique de terrain au moyen de l'imagerie RADAR

**Mots clés :** formulation eulérienne, image SPOT, interférogramme, MNT, surface déformable.

**Participants :** Dominique Béréziat, Isabelle Herlin, Isaac Cohen.

Nous proposons une méthode permettant d'obtenir un Modèle Numérique de Terrain (MNT), c'est-à-dire la donnée altimétrique en chaque point d'une portion de terrain, à partir de l'imagerie satellitaire et en particulier de l'imagerie RADAR. Actuellement, il existe deux typologies de méthodes :

- à partir d'un couple d'images acquises dans le domaine visible (par exemple SPOT), on applique des techniques de stéréoscopie permettant une reconstruction tridimensionnelle des scènes observées ;
- à partir d'interférogrammes (données RADAR), on peut calculer avec une très grande précision la distance cible-capteur. Toutefois cette distance n'est connue qu'à un modulo  $2\pi$  près : on applique ensuite des algorithmes de *déroulement de phase* pour lever cette ambiguïté, et retrouver le Modèle Numérique de Terrain.

Chacune de ces méthodes possède des inconvénients. La première technique fournit des résultats peu précis du fait même de la résolution des capteurs utilisés. La seconde demande une technique de déroulement de phase pas toujours bien maîtrisée.

Nous proposons donc une méthode qui utilise les MNT SPOT, puis exploite les interférogrammes sans avoir à effectuer l'étape de déroulement de phase. Il faut au préalable remarquer que l'on peut extraire des lignes d'iso-élévation sur un interférogramme. On observe ensuite que le gradient spatial, en chaque point de la surface définie par le MNT, est orthogonal à la tangente sur la ligne d'iso-élévation correspondante. Cette propriété est illustrée par la figure 3.

Deux approches sont considérées pour formuler le problème de construction du MNT. La première consiste à utiliser le concept de surface active et à considérer le MNT recherché comme une surface, qui peut se déformer sous l'action d'une ou plusieurs forces. Une de ces forces modélise la propriété de la figure 3. On rajoute alors d'autres contraintes, telle que la régularité géométrique de la surface déformée. La surface déformable est formalisée par le graphe d'une fonction  $z = z(x, y)$ , et on définit la fonctionnelle suivante :

$$E(z) = E_{reg}(z) + \int_{\Omega} \|z - h\|^2 dx dy - \int_{\Omega} \|\nabla z \wedge v\|^2 dx dy \quad (2)$$

où la fonction  $h$  est le graphe de la surface définie par le MNT initial à améliorer, et  $v$  les lignes d'iso-élévation extraites de l'interférogramme. Le terme  $E_{reg}$  est une contrainte classique de régularité géométrique de la surface recherchée. Le second terme impose que la surface déformable  $z$  soit proche de la surface initiale  $h$ . Enfin, le dernier terme modélise la propriété illustrée par la figure 3. Cette fonctionnelle est minimisée en calculant le zéro des équations d'Euler-Lagrange associées.

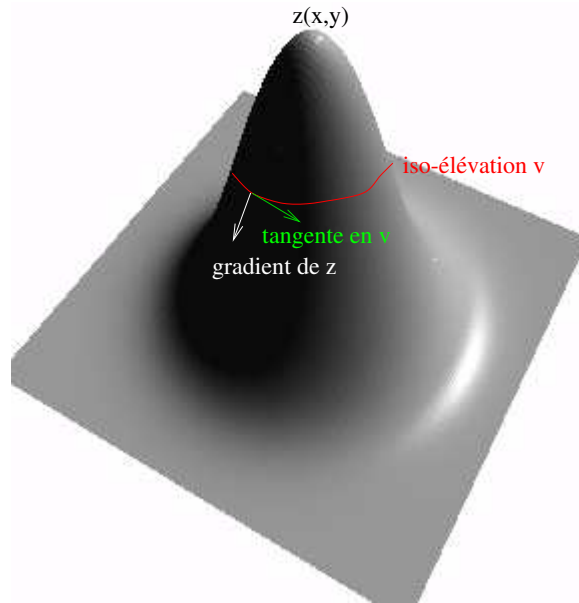


FIG. 3 – La tangente en un point d'une ligne d'iso-élévation est orthogonale à la normale à la surface  $z$ .

La deuxième approche consiste à exploiter le développement récent des formulations eulériennes. Ainsi, les formulations des contours et surfaces déformables peuvent être réécrites en terme de fonctions implicites (*Level Set*). L'idée est de faire évoluer une surface  $S$  dans un espace de  $\mathbb{R}^3$ , qui représente le potentiel des forces de déformation s'exerçant sur la surface. Pour rester conforme à la propriété explicitée sur la figure 3, l'espace  $\mathcal{D}$  sur lequel la surface  $S$  évolue est construite de la manière suivante : on calcule toutes les tangentes aux lignes d'iso-contours de l'interférogramme. Ces tangentes sont ensuite extrudées sur la troisième dimension. La surface initiale  $S$  est représentée sous forme implicite d'une carte de distance signée de  $\mathbb{R}^3$ , puis déformée en suivant les géodésiques de l'espace  $\mathcal{D}$ . On utilise pour cela un schéma numérique implicite stable proposé par Sethian <sup>[Set96]</sup>, puis généralisé dans  $\mathbb{R}^n$  par Huot *et al* [15]. L'avantage de ces schémas numériques est leur grande stabilité par rapport à ceux classiquement employés pour la minimisation de fonctionnelles telles que celle de l'équation 2. De plus, la formulation implicite associé autorise des variations de topologie des surfaces.

### 5.3 Analyse de trajectoires de nuages sur des séquences d'images

**Mots clés** : analyse en composantes principales, analyse du mouvement, descripteurs de

---

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

Fourier.

**Participants :** Jacopo Grazzini, Dominique Béréziat.

On propose une méthode qui permet l'analyse des trajectoires de pixels dans une séquence d'images. L'objectif, dans le cadre météorologique, est de pouvoir faire de la discrimination et de la classification de structures nuageuses de types différents.

Des méthodes d'estimation de mouvement permettent la reconstruction au cours du temps des trajectoires des points de nuages. Afin de comparer les différentes courbes obtenues, on doit les représenter indépendamment de leur localisation, de leur orientation et de leur échelle. On utilise une représentation mathématique invariante par transformations affines, qui consiste à calculer le vecteur des modules des descripteurs de Fourier. Soit, par exemple, un jeu d'observations discrètes  $(\varphi^x(m), \varphi^y(m))_{1 \leq m \leq T}$  de la trajectoire  $\varphi$  d'un pixel, on considère le vecteur de représentation  $(\mathbf{c}_m)_{1 \leq m \leq T}$  défini par :

$$\mathbf{c}_m = \rho_m / \rho_1 \quad , \quad \rho_m = \left( |\mathcal{F}(\varphi^x)|^2 + |\mathcal{F}(\varphi^y)|^2 \right)^{1/2}$$

où  $\mathcal{F}$  désigne la transformée de Fourier. Compte tenu de la grande dimension de l'espace de représentation engendré, on utilise ensuite des méthodes d'analyse factorielle qui permettent la réduction de la complexité de cette représentation. Une analyse en composantes principales (ACP) sur les vecteurs de représentation des trajectoires fournit les axes principaux sur lesquels on réalise une analyse discriminante. Cette discrimination permet ensuite de séparer au mieux les trajectoires associées aux différentes structures nuageuses. L'identification de structures nuageuses nécessite deux phases d'étude :

1. une phase d'apprentissage : on calcule les représentations de trajectoires pour différents types de structures ;
2. une phase opérationnelle : on calcule la représentation d'une trajectoire de la structure inconnue à identifier et on l'affecte à la classe la plus proche.

La figure 4 présente les résultats de l'analyse des trajectoires de deux structures nuageuses différentes.

Il faut observer que la caractérisation des structures nuageuses par les trajectoires de points extraits sur ces structures n'est pas toujours possible. Par ailleurs, certaines structures, telles que les vortex, sont composées de pixels ayant des trajectoires très dissemblables et constituent des classes hétérogènes, dont la représentation par le module de Fourier ne permet pas d'appréhender la variabilité de manière satisfaisante.

Compte tenu de cette difficulté, il est nécessaire de trouver une méthode de représentation mieux adaptée au problème, qui soit davantage sensible aux différences géométriques entre les courbes. On pourra ensuite constituer un ensemble d'apprentissage comme collection de trajectoires caractéristiques des différentes structures nuageuses visualisées dans les séquences d'images.

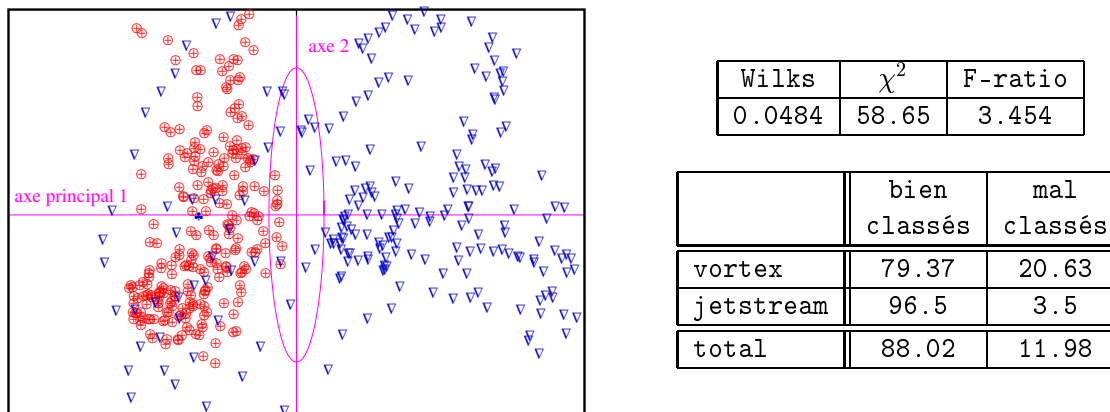


FIG. 4 – À gauche : projection des vecteurs de représentation des trajectoires de deux structures nuageuses ( $\oplus$  : vortex, et  $\nabla$  : jetstream). À droite : tests de discrimination et estimation de la discrimination par validation croisée.

#### 5.4 Estimation de l'évapotranspiration par imagerie satellite

**Mots clés** : bilan d'énergie, évapotranspiration, température de surface, transfert radiatif.

**Participants** : Fabien Lahoche, Isabelle Herlin.

Le suivi temporel des ressources hydriques de bassins versants du Sud de l'Afrique nécessite d'établir des cartes quotidiennes d'évapotranspiration (quantité d'eau perdue par évaporation du sol et des végétaux). Ces cartes servent de données d'entrée dans les modèles informatiques utilisés par les hydrologues<sup>[Sch95]</sup>. Pour estimer l'évapotranspiration, on considère un modèle simplifié de la balance d'énergie à la surface (équation 3) :

$$ETR_{24h} - R_{n24h} = A + B \times (T^{surf} - T^{air}) \quad (3)$$

où  $ETR_{24h}$  est l'évapotranspiration journalière,  $R_{n24h}$  représente le rayonnement net journalier,  $T^{surf}$  et  $T^{air}$  sont respectivement les températures de surface et de l'air et  $A$ ,  $B$  sont des constantes empiriques. L'équation 3 est utilisée en deux étapes successives :

1. L'utilisation d'un ensemble de données locales d'apprentissage et/ou vérités terrain, permet d'estimer tous les paramètres  $ETR_{24h}$ ,  $R_{n24h}$  et  $(T^{surf} - T^{air})$  sur la zone d'apprentissage. Les constantes  $A$  et  $B$  sont alors évaluées et l'équation 3 est calibrée. Une forte corrélation entre le gradient de température surface-air et la température de surface seule est également établie, afin de simplifier l'équation (3).
2. On estime ensuite  $R_{n24h}$ ,  $(T^{surf} - T^{air})$  à large échelle, sur toute la zone correspondant au bassin versant :
  - le gradient de température surface-air est estimé, à large échelle, à partir de la tempé-

[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.

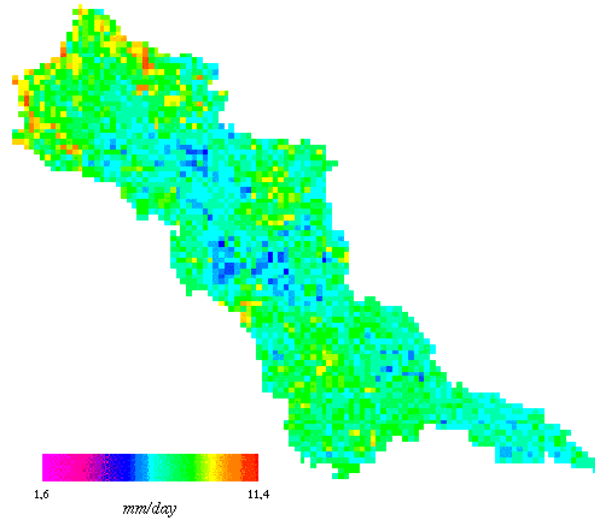


FIG. 5 – Valeur moyenne mensuelle de l'évapotranspiration pour le bassin versant Mkomazi (Afrique du Sud) pour Janvier 1999.

rature de surface, déduite des acquisitions satellitaires quotidiennes NOAA/AVHRR (à 1100 mètres de résolution spatiale),

- le rayonnement net  $R_{n24h}$  est évalué à partir d'une estimation de l'albédo de surface (déduit des acquisitions NOAA/AVHRR), d'une estimation du rayonnement solaire incident et de la transmissivité de l'atmosphère (simulés à l'aide d'un modèle de transfert radiatif).

Ceci permet d'estimer alors  $ETR_{24h}$  sur tout le bassin versant, de manière quotidienne.

La figure 5 illustre le résultat du modèle : carte d'évapotranspiration moyenne pour le bassin versant Mkomazi (Afrique du Sud) pour Janvier 1999 (moyenne des évapotranspirations quotidiennes).

## 5.5 Variabilité de la température de surface selon le type d'occupation de sol

**Mots clés :** analyse sub-pixel, fusion, température de surface.

**Participants :** Fabien Lahoche, Sonia Bouzidi.

Afin de caractériser la variabilité de l'évapotranspiration (quantité d'eau perdue par évaporation du sol et de la plante) selon le type d'occupation de sol, il est tout d'abord nécessaire de caractériser la variabilité de la température de surface, pour ensuite établir des cartes quotidiennes de température de surface à l'échelle de la parcelle. Aucun capteur satellitaire à ce

jour n'offre cependant l'information temporelle quotidienne et la résolution spatiale élevée nécessaires.

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, le profil temporel de température lui correspondant. Ces profils sont obtenus après une phase d'apprentissage sur une petite zone par fusion des données NOAA/AVHRR avec l'image de classification.

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

$$T_i^{surf} = \sum_{j=1}^{N_c} \frac{\varepsilon_j}{\epsilon_i} \rho_{ij} T_j^{surf} \quad (4)$$

où  $N_c$  est le nombre d'occupations de sol,  $T_i^{surf}$  est la température de surface du pixel  $i$ ,  $T_j^{surf}$  est la température du couvert  $j$ ,  $\epsilon_i$  est l'émissivité thermique du pixel  $i$ ,  $\varepsilon_j$  est l'émissivité thermique du couvert  $j$  et  $\rho_{ij}$  est la proportion surfacique de ce composant  $j$  à l'intérieur du pixel  $i$ . L'inversion de ce modèle composite sur la zone d'apprentissage permet alors d'accéder aux profils individuels de température et de créer des cartes, sur les zones d'intérêt. Ces profils individuels sont ensuite validés de manière statistique et par comparaison, à une date donnée, avec le canal thermique Landsat TM. La figure 6 illustre le résultat du procédé : carte de température de surface à 30 mètres de résolution spatiale pour le bassin versant Mkomazi (Afrique du Sud) pour le mois de janvier 1999 (moyenne des températures quotidiennes).

## 5.6 Variabilité de la réflectance et de la température de surface selon la topographie

**Mots clés** : image Landsat TM, réflectance, température, topographie.

**Participants** : Nadja Benblidia, Fabien Lahoche, Isabelle Herlin.

Cette étude, débutée cette année, concerne la caractérisation de la variabilité des réflectances et températures de surface selon la nature de la topographie (altitude et pente), ceci pour chaque type d'occupation de sol. Le but de cette étude est d'incorporer l'information topographique dans un processus de classification d'images satellites et d'améliorer une image de classification déjà existante, qui bénéficie d'une photo-interprétation mais qui ne tient pas compte de la topographie.

À ce stade, cette variabilité a été mise en évidence avec l'analyse d'une zone de bassin versant, où sont simultanément disponibles une image Landsat Thematic Mapper, une image de classification (ayant bénéficié de la photo interprétation) et un Modèle Numérique de Terrain. Une occupation de sol est alors caractérisée par les histogrammes de niveaux de gris (réflectance et température) des différentes plages d'altitude (figure 7). La prise en compte de cette variabilité topographique de la réflectance, dans un processus de classification de l'image Landsat, permet ensuite d'obtenir une nouvelle image de classification améliorée et prenant en compte l'influence de la topographie.



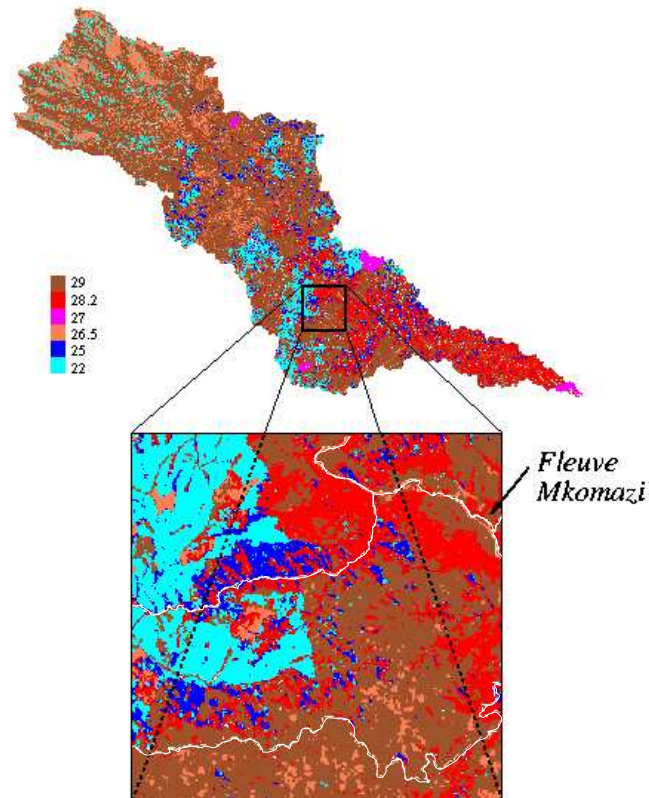


FIG. 6 – Carte de température de surface (degrés Celsius) pour le mois de décembre 1998 (bassin versant Mkomazi), 30 mètres de résolution spatiale.

### 5.7 Estimation de profils verticaux d'espèces chimiques : inversion de modèle radiatif

**Mots clés :** différenciation automatique, environnement, modèle adjoint, pollution atmosphérique, problème inverse, transfert radiatif.

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

L'estimation de *profils verticaux* d'espèces chimiques (concentration d'espèces en fonction de l'altitude) est un enjeu fondamental pour la télédétection de la qualité de l'air. Quand les mesures sont radiatives, typiquement l'intensité lumineuse observée à plusieurs longueurs d'onde (ce qui est le cas de mesures satellitaires ou aéroportées), on est amené à inverser un modèle de transfert radiatif. Ce modèle exprime l'interaction d'une onde électromagnétique, la lumière, avec les variables d'état : les différents constituants de l'atmosphère, la température. L'inversion d'un modèle radiatif, pour retrouver la constitution de l'atmosphère, est classiquement reconnue comme un problème mal posé.

L'approche choisie consiste à utiliser des méthodes numériques performantes, et pourtant

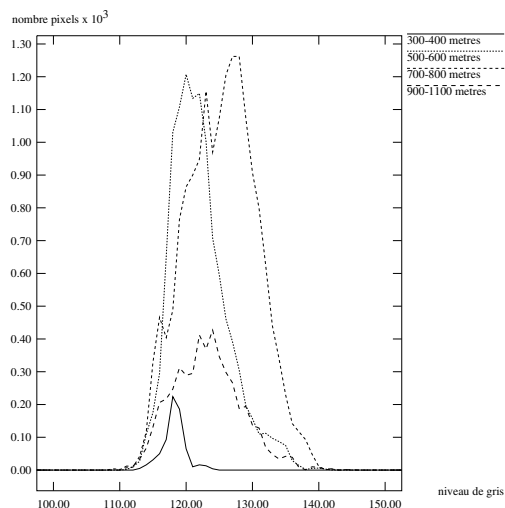


FIG. 7 – Histogramme des niveaux de gris du canal thermique (Landsat TM) pour l'herbe, à différentes plages d'altitude.

peu utilisées par les praticiens du domaine, pour apporter des réponses objectives à des problèmes majeurs encore largement ouverts :

- choix des meilleures observations, autrement dit des longueurs d'onde les plus pertinentes pour caractériser une espèce donnée ;
- influence de l'utilisation de profils a priori, par exemple issus de climatologies, et de manière générale, influence de la pénalisation de la méthode d'inversion ;
- étude du découplage de l'estimation des variables d'état, en l'occurrence température et concentrations.

L'approche consiste dans un premier temps à développer un modèle direct simplifié : transfert radiatif infra-rouge (diffusion de la lumière négligée), nombre d'espèces limité. Ce modèle est écrit en vue d'une différentiation automatique pour l'obtention du modèle adjoint, utilisé pour l'inversion. A ce stade d'étude, le modèle direct est en cours de finalisation et la méthode d'inversion est spécifiée.

## 5.8 Estimation de profils verticaux d'espèces chimiques : couplage radiatif-chimie

**Mots clés** : cinétique chimique, différentiation automatique, environnement, modèle adjoint, pollution atmosphérique, problème inverse, transfert radiatif.

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

Une méthode alternative à l'estimation de profils verticaux par inversion d'un modèle ra-

diatif est possible quand des données dynamiques sont disponibles. C'est par exemple le cas de données acquises pendant l'expérience ESQUIF, au cours de laquelle un avion a acquis des mesures radiatives répétées en survolant le Boulevard Périphérique à Paris. L'information supplémentaire apportée est très riche. En effet, l'estimation des profils verticaux à partir de seules mesures radiatives est mal posée, tandis que la répétitivité des mesures permet d'introduire la dynamique des concentrations d'espèces chimiques, par le biais d'un modèle de cinétique chimique.

Dans ce cas, le modèle physique à inverser est le modèle chimique, tandis que les mesures radiatives, qui fournissent de manière fiable le contenu vertical intégré des différentes espèces, sont considérées comme des contraintes. Des techniques d'assimilation de données sont alors envisageables.

A ce stade de la recherche, les résultats sont essentiellement analytiques, et concernent des modèles simplifiés linéaires, par exemple supposant toutes les espèces chimiques connues sauf une. La méthode d'inversion devient alors très simple, et on peut exhiber des contraintes portant sur le rapport entre la vitesse de la chimie et la période des observations : une chimie trop lente ne permet pas de spatialiser, car la dynamique n'apporte pas d'information ; de même, une chimie trop rapide est un cas défavorable, car le rythme des observations est trop lent pour appréhender la dynamique.

Dans les cas plus réalistes, comme par exemple un modèle de cinétique chimique non linéaire, la méthode numérique est spécifiée : assimilation des contraintes radiatives par modélisation adjointe du modèle dynamique. Les expériences numériques commenceront en 2001.

## 5.9 Estimation de l'ensoleillement au sol

**Mots clés** : diffusion, environnement, pollution atmosphérique, transfert radiatif.

**Participants** : Sylvie Lorsolo, Jean-Paul Berroir, Bruno Sportisse.

Le projet européen DECAIR aborde l'estimation par satellite de données d'entrée pour les modèles de simulation et de prévision de la pollution atmosphérique à l'échelle régionale. L'approche satellitaire est considérée comme une alternative à l'utilisation de capteurs in-situ, permettant non seulement une amélioration de la qualité des données, mais aussi l'automatisation de la collecte des données.

Parmi ces données, l'ensoleillement au sol est considéré comme primordial, de part sa grande influence sur les constantes cinétiques des réactions chimiques intervenant notamment pour la création d'ozone. En contexte opérationnel, cet ensoleillement est le plus souvent calculé de manière très simplifiée, en appliquant un ratio dépendant de la nébulosité, à l'ensoleillement nominal connu.

Les mesures effectuées par les satellites météorologiques dans le visible fournissent la quantité de lumière solaire réfléchi et diffusée vers l'espace par la terre et l'atmosphère. La principale difficulté est alors la prise en compte de la contribution de l'atmosphère, et plus particulièrement des nuages : ceux-ci jouent un rôle majeur dans la propagation de la lumière, et les phénomènes physiques y intervenant (diffusion multiple de la lumière) sont très complexes.

Les travaux menés ont tout d'abord concerné le contenu théorique du problème, puis ont donné lieu à une application à l'aide de données METEOSAT. Du point de vue théorique, il

s'agit de sélectionner des modèles de diffusion simplifiés (approximation d'Eddington, à deux et  $n$  flux, développement en série de la diffusion multiple) et d'étudier leurs limites, notamment pour les nuages fins. On a ainsi pu quantifier l'amélioration par rapport à des approches de type bilan, qui ne prennent pas en compte la structure de l'atmosphère. Ces modèles ont été testés sur des données METEOSAT dans des conditions bien spécifiées : au dessus d'un sol noir (océan), sur des nuages identifiés.

Les problèmes ouverts restent nombreux, et concernent principalement l'estimation des paramètres des modèles physiques, donc des paramètres nuageux (répartition de la taille et de la phase des diffusants). Cette étude ouvre des applications nombreuses, comme le calcul de constantes photolytiques pour les réactions gazeuses (ozone), multiphasées (aérosols), et à plus long terme l'assimilation dans des modèles de qualité de l'eau de pluie. Plus généralement, la question "Que peut-on voir à travers les nuages ?" représente un enjeu majeur pour la télédétection spatiale.

## 5.10 Mise à jour automatique de l'occupation du sol

**Mots clés** : classification, environnement, exécution distribuée, workflow.

**Participants** : Antoine Bourdais, Jean-Paul Berroir, Isabelle Herlin.

Dans le cadre du projet DECAIR et des études sur l'estimation par satellite de données d'entrée pour les modèles de pollution atmosphérique, une application importante est la mise à jour automatique de la description de la surface du domaine étudié : cela permet, pour un site donné, une meilleure actualisation de cette description afin de prendre en compte les variations saisonnières de l'occupation du sol dues au cycle végétal. Cela permet également une implémentation plus aisée d'un modèle de pollution donné à de nouvelles agglomérations.

Si de nombreuses techniques de classification des images multispectrales (type SPOT, LANDSAT) existent pour procéder à l'interprétation d'un site, une difficulté majeure réside dans l'automatisation de ces procédés : comme les caractéristiques spectrales des différents types de sol sont susceptibles de varier significativement d'un site à l'autre et d'une saison à l'autre, il est toujours nécessaire de "calibrer" ces informations en fonction du lieu et de la date. Une méthode a ainsi été développée, dans le but de maintenir une base de données de caractéristiques spectrales et de classer automatiquement de nouvelles scènes satellitales acquises sur un site. Cette méthode suppose une phase préliminaire interactive d'initialisation, puis l'exécution est déclenchée automatiquement à chaque nouvelle acquisition d'image.

L'exécution automatique est contrôlée par un moteur de *workflow*, en cours de développement par le projet CARAVEL. Il s'agit de spécifier exactement, pour chaque étape du traitement, non seulement les données manipulées mais les programmes qui les traitent. Un format de métadonnées a donc été adopté, à même de décrire données et programmes. Les codes ont été entièrement écrits pour être compatible avec cette spécification. A ce stade, les algorithmes de traitement d'image ont été implémentés et testés off-line. L'interface avec le moteur de workflow commencera prochainement.

### 5.11 Contrat THETIS : réalisation d'un prototype pour l'intégration d'outils de traitement d'image dans le middleware distribué LeSelect.

**Mots clés :** API, contour actif, interface graphique, middleware distribué, WWW.

**Participants :** Hussein Yahia, Jean-Pierre Matsumoto, Abdelghani Bekkaoui, Isabelle Herlin.

Nous avons finalisé le développement d'un prototype pour l'intégration de chaînes de traitement d'image dédiées à la modélisation et au suivi de structures océanographiques, dans le middleware distribué LeSelect, développé par le projet Caravel. Ces développements interviennent pour la réalisation du contrat européen THETIS. Une chaîne complète de traitement d'images a ainsi été intégrée dans LeSelect. Elle permet les opérations suivantes :

- analyse et approximation du mouvement dans des séquences d'images océanographiques,
- extraction de zones d'intérêt,
- détection de contours, calcul de cartes de distance,
- segmentation par contour actif.

Le développement utilise les notions de wrappers de données et de programmes. Il permet la publication distribuée de données et de programmes sous tout type de format, pourvu que les wrappers de ce format existent. Le prototype ainsi développé a donné lieu à une démonstration lors des journées d'évaluation Recormed en mai 2000. On montre, figure 8, une session d'utilisation du prototype.

Rappelons que ce prototype s'utilise en se connectant à un serveur LeSelect par l'intermédiaire d'un navigateur Web. Il utilise, en dehors des programmes publiés pour le traitement d'image proprement dit, diverses technologies Java et Web : servlets, applets, javascript, *etc.*

## 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 de gestion d'un problème environnemental.

Pour les recherches en traitement d'image ou en estimation de paramètres, on peut citer :

- A.R.C. COMODE, coordonnée par Bruno Sportisse, à laquelle participent le laboratoire CERMICS de l'ENPC, le CERFACS et les projets AIR et IDOPT.

Au niveau applicatif, des collaborations importantes ont lieu avec le laboratoire suivant :

- 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.

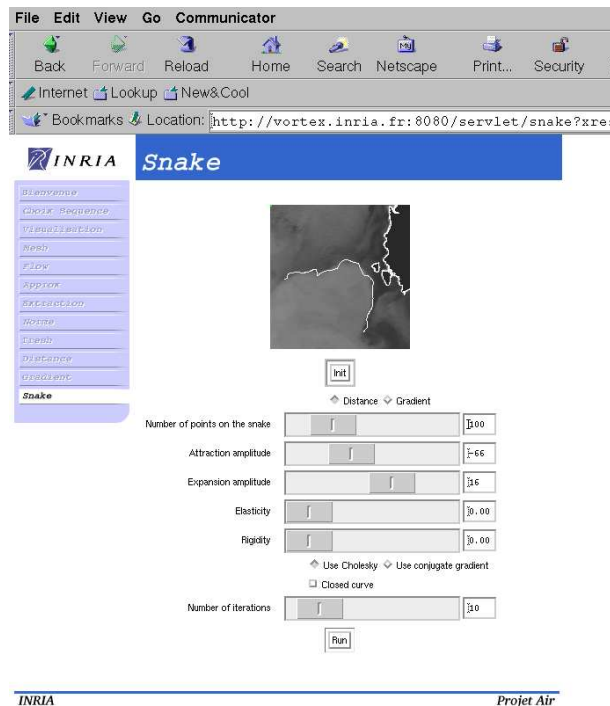


FIG. 8 – Une session d'utilisation du prototype développé pour le contrat Thetis.

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 [7] 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 par le projet AIR en collaboration avec le projet CARAVEL.

### 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 et il exerce la fonction de Research Professor dans cette équipe.

Un projet de recherche, ECOAIR, a été accepté dans le cadre de la collaboration INRIA-CNPQ. Une collaboration de deux ans est donc établie avec différentes universités de Rio de Janeiro au Brésil. Le but est l'obtention d'information sur l'érosion du sol, à partir des données satellitaires, afin de créer un système d'information spécifique pour la gestion du Pantanal au Brésil.

### 6.4 Visites et invitations de chercheurs

Nadjia Benblidia, maître assistante de l'université de Blida en Algérie, a fait un séjour de huit mois dans le projet AIR. 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.

## 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". Des workshops ont lieu régulièrement deux fois par an.

### 7.2 Comités éditoriaux de conférences

Isabelle Herlin a été membre du comité de programme de WMC 2000 (janvier 2000, San Diego, USA). Elle est également membre du comité de programme de APMS 2001, coorganisé par l'ENPC et l'INRIA sur le thème de la pollution atmosphérique.

### 7.3 Enseignement

- Estimation du mouvement : 2ème année d'école d'ingénieur, IIE, 15 heures (Dominique Béréziat).
- Robotique : 2ème année en école d'ingénieur, IIE, 20 heures (Dominique Béréziat).
- Programmation et algorithmique, 1ère année en école d'ingénieur, IIE, 60 heures (Dominique Béréziat).
- Encadrement de projets informatiques, 1ère année en école d'ingénieur, IIE, 50 heures (Dominique Béréziat).

- Étude de cas, contours actifs : 4ème année d'école d'ingénieur, ESIEE, 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).
- Informatique et Statistiques : 2ème année de sciences économiques, Université Paris IX Dauphine, 34 heures (Jacopo Grazzini).
- Traitement d'image : 3ème année d'école d'ingénieur, ISTM, 45 heures (Isabelle Herlin).
- Traitement d'image : DEA génie biomédical, université de Créteil, 8 heures (Isabelle Herlin).
- Traitement d'image : 5ème année d'école d'ingénieur, ESIEE, 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).
- Infographie 2D et Java : 2ème année, école supérieure d'ingénierie Léonard de Vinci, 30 heures (Hussein Yahia, Isabelle Herlin).
- Synthèse d'image et multimédia : 3ème année 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 :

- J.P. Berroir : mise à jour automatique de l'occupation du sol, CERREVE, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, mars 2000.
- J.P. Berroir : présentation du projet européen DECAIR, 7ème workshop du groupe de travail ERCIM "modélisation environnementale", Las Palmas, septembre 2000.
- J.P. Berroir : Journées ISIS "Signal et Image au service de la Sécurité dans la Société de l'Information" Meudon, octobre 2000.
- J.P. Berroir et I. Herlin : workshops du contrat européen DECAIR : Madrid en avril 2000 et Sophia-Antipolis en novembre 2000.
- I. Herlin et F. Lahoche : Workshop Final du contrat européen INCO-PED IWRMS ( Integrated Water Resources Management System ) Pretoria, (Afrique du Sud), mars 2000.



- I. Herlin : présentation du projet AIR, EMBRAPA, Rio de Janeiro, Brésil, novembre 2000.
- E. Huot : présentation au journées thématiques sur la surveillance du GdR ISIS : Etude de l'évolution du sol par imagerie satellitaire. Meudon-la-forêt, octobre 2000.
- H. Yahia : contrat THETIS: participation et démonstration du prototype de traitement d'image à la journée d'évaluation Recormed, Palma de Majorca, mai 2000.
- H. Yahia : contrat DECAIR, dissémination des résultats. Participation au congrès ICA-ROS, Ile de Lesbos, Grèce, septembre 2000.

## 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, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3191.html>.
- [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.
- [3] E. HUOT, H. YAHIA, I. COHEN, I. HERLIN, « Surface matching with large deformations and arbitrary topology: a geodesic distance evolution scheme on a 3-manifold », *in : Proceedings of European Conference on Computer Vision*, Dublin, Ireland, 2000.

### Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [4] E. HUOT, *Étude de l'évolution temporelle de phénomènes terrestres au moyen de l'imagerie radar*, thèse de doctorat, Université de Caen, January 2000.

### Articles et chapitres de livre

- [5] D. BÉRÉZIAT, J.-P. BERROIR, « Motion Estimation on Meteorological Infrared Data using a Total Brightness Invariance Hypothesis », *Environnement Modeling System*, 2000, à paraître.
- [6] J. P. BERROIR, I. COHEN, D. BÉRÉZIAT, S. BOUZIDI, I. HERLIN, H. YAHIA, « Traitement d'Images et Séquences de Données Océanographiques », *Océanis, Editions de l'Institut Océanographique*, 2000.
- [7] S. BOUZIDI, F. LAHOUCHE, I. HERLIN, H. STAUDENRAUSCH, V. HOCHSCHILD, « The development of an innovative computer-based Integrated Water Resources Management System for water resources analyses », *Systems Analysis Modelling Simulation*, 2000, à paraître.
- [8] E. HUOT, H. YAHIA, I. COHEN, I. HERLIN, « Matching Structures by Computing Minimal Paths on a Manifold », *Special Issue on Partial Differential Equations in Image Processing, Computer Vision and Computer Graphics, Journal of Visual Communication and Image Representation*, à paraître.

- [9] F. LLIRBAT, J. MATSUMOTO, E. SIMON, J. BERROIR, I. HERLIN, H. YAHIA, « Using Scientific Workflow Techniques for Automatic Processing of Environmental Data », *System Analysis Modelling Simulation*, 2000, à paraître.

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

- [10] D. BÉRÉZIAT, I. HERLIN, L. YOUNES, « A Generalized Optical Flow Constraint and its Physical Interpretation », *in: Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE (éditeur), Head Island, South Carolina, June 2000.
- [11] D. BÉRÉZIAT, I. HERLIN, « Object Based Optical Flow Estimation with an Affine Prior Model », *in: Proceedings of International Conference on Pattern Recognition*, IAPR (éditeur), vol. 3, p. 1060–1063, Barcelona, September 2000.
- [12] S. BOUZIDI, F. LAHOUCHE, I. HERLIN, « Land use classification at meso-scale using remotely sensed data », *in: Proceedings of 19th ISPRS Congress and Exhibition, geoinformation for all*, Amsterdam, Netherlands, July 2000.
- [13] I. HERLIN, H. YAHIA, V. PARISI-BARADAD, I. COHEN, J. SUDRE, « Modeling Oceanographic Structures in Sea Surface Temperature Satellite Image Sequences », *in: Proceedings of International Conference On Environmental Modeling And Simulation*, SCS (éditeur), San Diego, California, 2000.
- [14] V. HOCHCHILD, I. HERLIN, S. MORETTI, T. RANCHIN, H. STAUDENRAUSH, « Application of remote sensing to the development of an Integrated Water Resources Management System (IWRMS) », *in: 28th International Symposium on remote sensing of environment*, Cape Town, South Africa, March 2000.
- [15] E. HUOT, H. YAHIA, I. COHEN, I. HERLIN, « Surface matching with large deformations and arbitrary topology: a geodesic distance evolution scheme on a 3-manifold », *in: Proceedings of European Conference on Computer Vision*, Dublin, Ireland, 2000.
- [16] E. HUOT, H. YAHIA, I. HERLIN, I. COHEN, « A General Surface Matching Model: Application to Ground Evolution Tracking », *in: Proceedings of International Conference on Pattern Recognition, ICPR'2000*, IAPR (éditeur), vol. 3, p. 167–170, Barcelona, September 2000.
- [17] F. LAHOUCHE, J. P. BERROIR, S. BOUZIDI, I. HERLIN, « Fusion of Landsat TM and NOAA/AVHRR data for evaporation maps generation in a semi-arid catchment », *in: Proceedings of the 3rd Conference on Fusion of Earth Data*, p. 83–90, Sophia Antipolis, France, January 2000.
- [18] H. YAHIA, E. HUOT, I. HERLIN, I. COHEN, « Geodesic distance evolution of surfaces: a new method for matching surfaces », *in: Proceedings of CVPR*, IEEE (éditeur), Head Island, South Carolina, June 2000.
- [19] H. YAHIA, J. P. MATSUMOTO, I. HERLIN, « An Image Processing Scenario for Thetis », *in: Conferencia De Las Regiones Periféricas Marítimas De Europa, Red Recormed*, Universidad De Las Islas Baleares, UIB, p. 29–36, Palma de Mallorca, Spain, May 18-19 2000.

## Rapports de recherche et publications internes

- [20] E. SIMON, F. XHUMARI, I. HERLIN, H. YAHIA, *Integration of data sources: Design and implementation of wrappers*, édition Thetis Contract Deliverable 6.2, Task WP6.2: Data Repositories Integration, Thetis-RE 4009, January, <http://kos.ics.forth.gr:8000>.
- [21] H. YAHIA, *User Interface*, édition Thetis Contract Deliverable number D5.1 and D5.2, Thetis-RE 4009, June, <http://kos.ics.forth.gr:8000>.

## Divers

- [22] A. BEKKAOUI, *Conception et développement d'outils de traitement d'images distribués. Intégration dans le Middleware distribué LeSelect*, rapport de stage, Université Mohamed V, Ecole Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes, Juin 2000.
- [23] A. BOURDAIS, *Reconnaissance de l'occupation des sols par traitement de données de télédétection*, rapport de stage, INSA Rouen, 2000.
- [24] J. GRAZZINI, *Étude des trajectoires et de la déformation de structures nuageuses dans des séquences d'images satellites*, rapport de DEA, Université Paris VII Denis Diderot, septembre 2000.
- [25] S. LORSOLO, *Estimation de l'ensoleillement au sol par analyse de données METEOSAT*, rapport de DEA, Université de Toulon, 2000.