



**HAL**  
open science

## La recherche à l'IGN : activités 1991

Hervé Le Men, Isabelle Destival, Christian Thom, Pascal Willis

► **To cite this version:**

Hervé Le Men, Isabelle Destival, Christian Thom, Pascal Willis. La recherche à l'IGN : activités 1991. Bulletin d'information de l'IGN N°60. 1992. hal-02372419

**HAL Id: hal-02372419**

**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02372419v1>**

Submitted on 20 Nov 2019

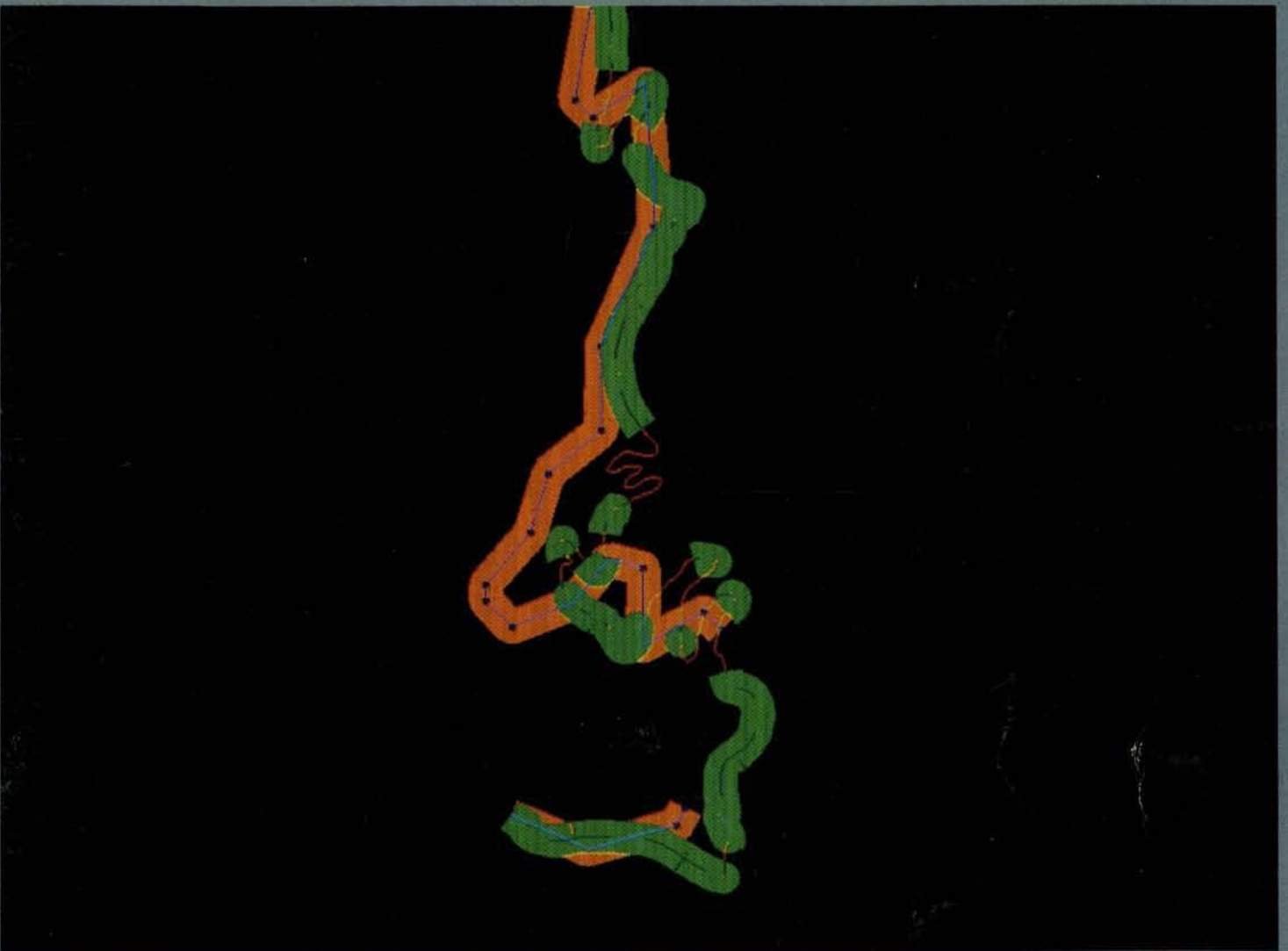
**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# B

INSTITUT  
GEOGRAPHIQUE  
NATIONAL

**BULLETIN D'INFORMATION DE L'IGN**



*Spécial Recherche*

**60**

# TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Préface .....	2
I - Présentation générale (H. LE MEN) .....	5
1.1 - Evolution des structures et des effectifs	
1.2 - Répartition des dépenses par thèmes	
1.3 - Bilan du programme de recherche	
1.4 - Bilan du programme de développement	
II - Activités du COGIT (I. DESTIVAL) .....	14
2.1 - Méthodes de saisie des données géographiques	
2.2 - Méthodes de mesure de qualité des données	
2.3 - Géométrie des images - Evaluation de capteurs	
2.4 - Gestion de l'information géographique	
2.5 - Généralisation cartographique	
III - Activités du LOEMI (L. THOM) .....	42
3.1 - Corrélation automatique à partir de points de vue multiples (en nombre supérieur à 2)	
3.2 - Réalisation d'un prototype de Caméra Aérienne Numérique	
3.3 - Participation à la réalisation de l'option interférométrie du " Very Large Telescope "	
3.4 - Station laser ultra mobile	
3.5 - Mesure de déformations de l'Écorce Terrestre	
IV - Activités du LAREG (P. WILLIS) .....	48
4.1 - Systèmes de référence	
4.2 - Méthodes de positionnement	
4.3 - Méthodes de nivellement	
4.4 - Détermination du champ de pesanteur	
4.5 - Soutien aux sciences de la Terre	
4.6 - Thèses en cours au LAREG en 1991	
V - Liste des publications .....	54
5.1 - Publications scientifiques	
5.2 - Mémoires de thèse	
5.3 - Publications techniques et rapports	
5.4 - Supports de cours	
Illustrations .....	33
Liste des sigles cités dans le texte .....	59

## PRÉFACE

*Je me réjouis que l'Institut Géographique National ait décidé de mieux faire connaître les résultats de ses recherches en les présentant de façon synthétique dans un fascicule de lecture aisée. Cette démarche témoigne de l'importance croissante accordée aux activités de recherche. Un effort de structuration des équipes et des programmes a été accompli. La recherche est maintenant identifiée comme une activité à part entière de l'IGN. Certes, le manque de personnel et la rotation excessivement rapide de ce dernier constituent encore des freins à son développement harmonieux. Ce double phénomène avait conduit dans le passé à ce que le programme de recherche approuvé ne soit que très partiellement réalisé. Il faut se féliciter que 1991 ait vu une nette amélioration de cette situation.*

*La publication régulière de ce bulletin permettra de suivre, année après année, l'état des recherches à l'IGN et compte-tenu des efforts accomplis et en cours, je suis convaincu qu'elle contribuera à diffuser une image flatteuse de l'IGN.*

*Michel PETIT*

*Président du Comité Scientifique et Technique de l'IGN,  
Directeur de la Recherche et des Affaires Économiques  
et Internationales au Ministère de l'Environnement*

### NOTE DE LA RÉDACTION

Établi en mars 1992, ce document avait d'abord la destination purement interne d'un rapport d'activités du Service de la Recherche pour l'année écoulée. Communiqué ensuite au Comité Scientifique et Technique de l'IGN - essentiellement composé de personnalités extérieures - celui-ci en a vivement recommandé la publication. C'est ainsi que la Direction Technique, dans le courant de cet été, a décidé que ce rapport ferait l'objet du présent Bulletin d'Information.

Sauf quelques modifications ponctuelles et l'apport d'illustrations, la rédaction initiale a donc été maintenue telle quelle dans un souci d'intégrité. Il en résulte qu'un certain nombre d'informations à caractère plutôt fonctionnel ne seront pas toujours bien adaptées à l'écoute d'une diffusion bien plus large qu'il n'était prévu : nous comptons ici sur la compréhension de nos lecteurs.

J. Schwengler

# **LA RECHERCHE A L'I.G.N.**

---

*Activités 1991*



# I. PRESENTATION GENERALE

*par Hervé LE MEN*

Ce compte-rendu d'activités se veut à la fois compte-rendu d'activités du Service et compte-rendu d'activités pour l'IGN en ce qui concerne les recherches et développements.

L'évolution des structures de la recherche (regroupement des recherches au sein du service) permet en effet de considérer que la plupart des recherches se sont déroulées dans le cadre d'un des trois laboratoires.

Les développements seront traités du point de vue de la maîtrise d'ouvrage (bilan de coûts et de résultats obtenus).

Sauf mention contraire, les coûts sont des coûts internes hors frais généraux.

Ce compte-rendu d'activités ne contient pas d'aspect prospectif quant aux orientations générales de la recherche.

Celles-ci font l'objet du Schéma Directeur de la Recherche sur lequel le Service a travaillé cette année; il est encore en cours de rédaction et ce compte-rendu d'activités pourra l'éclairer.

Le découpage en thèmes de recherche est en cours de redéfinition. Jusqu'ici le découpage utilisé était le suivant :

- Groupe 1 : thématique et saisie de données,
- Groupe 2 : instrumentation-capteurs,
- Groupe 3 : géométrie des images,
- Groupe 4 : gestion de l'information géographique,
- Groupe 5 : utilisation de l'information géographique,
- Groupe 6 : géodésie.

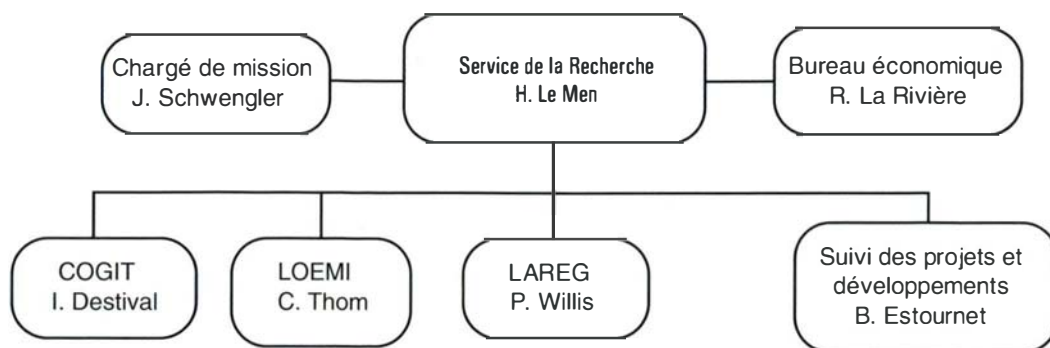
La présentation adoptée ici suit plutôt l'organisation fonctionnelle des laboratoires qui ne recoupe qu'imparfaitement le découpage en groupes.

## I.1 EVOLUTION DES STRUCTURES ET DES EFFECTIFS

### I.1.1 Evolution des structures :

Le service de la Recherche, créé le 2 avril 1990, a été profondément modifié au cours de l'année 1991 :

- Centre de coût au 1er janvier 1991.
- Création du LAREG (Laboratoire de Recherche en Géodésie), en septembre 1991, rattachement au Service de la Recherche au 1er janvier 1992.
- Démarrage de l'unité de suivi des projets et développements, en octobre 1991.



Organigramme au 1er janvier 1992.

### I.1.2 Evolution des effectifs.

	Effectifs au 1/1/91	Départs	Arrivées	Effectifs au 1/1/92
Commandement	2	2	4	4
Cogit	8	3	9	14
Loemi	6		2	8
Suivi projets	1	1	1	1
Lareg			12	12
Total	17	6	28	39
IGG/ICG/IG	8	2	4	10
IDT/IT	5	2	9	12
Géomètres			2	2
Ouvriers	2		4	6
Contractuels	2		4	6
Thésards			3	3
Total	17	4	26	39

(l'écart sur les deux totaux "départs" et "arrivées" correspond à des mouvements internes au Service : passage du COGIT au commandement du Service, et au bureau économique).

Ce tableau ne prend en compte que les personnels directement employés par l'IGN, et donc ne comprend pas les thésards payés par l'intermédiaire d'un organisme co-financeur (2), les thésards non payés (3), et les stagiaires de quelques mois. Les fonctionnaires IGN actuellement en cours de thèse ne figurent pas sous la mention "thésards".

Ce tableau met en évidence l'effort important qui a été fait en 1991 au niveau du nombre des chercheurs. A une ou deux unités près, le nombre de chercheurs et ingénieurs affectés à temps plein sur un travail de recherche atteint maintenant un niveau satisfaisant, en regard des objectifs de recherche et des moyens budgétaires de l'IGN.

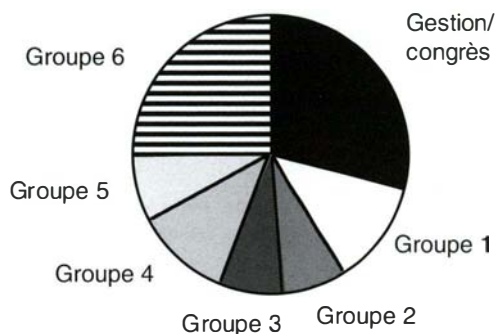
Ce tableau fait aussi apparaître un taux de mouvement très élevé. Même si on ne tient pas compte du rattachement du LAREG, le taux de rotation (départs+arrivées/effectif initial+effectif final) s'établit à 0.50, ce qui est encore plus élevé que les années passées (0.35 environ). Afin d'assurer un niveau de rotation souhaitable, mais sans désorganiser les équipes, il faudrait que ce taux se stabilise vers 0, 25 au plus.

Il faut signaler la mise en place d'une procédure régulière d'attribution de bourses de thèses : trois thèses ont pu démarrer fin 91 sur cette filière, d'autres sont prévues pour les années à venir.

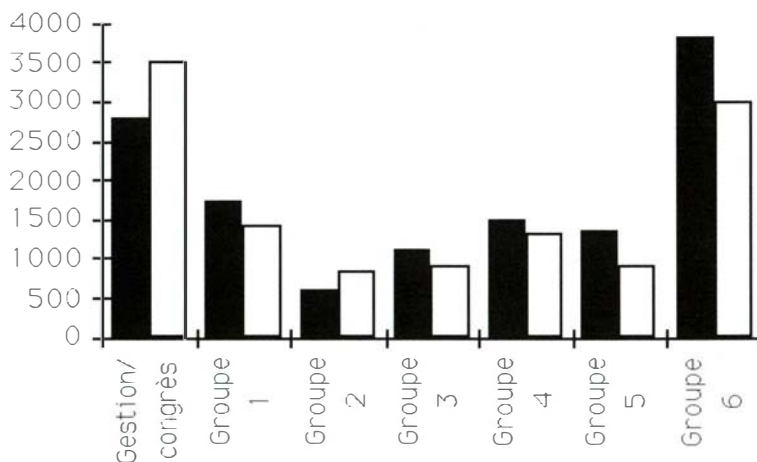


## I.2 RÉPARTITION DES DÉPENSES PAR THEMES.

### I.2.1 Recherche.



Répartition des dépenses constatées selon la décomposition utilisée ces dernières années.



Comparaison dépenses prévues/réalisées (kF)  
(prévues : noir/réalisées : blanc)

Globalement, le budget prévu (12,9 MF) a été dépensé à 92%, en très nette "amélioration" par rapport à l'année passée, si l'on utilise cet indicateur comme indicateur du taux d'activité. La répartition prévu/réalisé est un peu plus irrégulière. On constate en particulier une inflation des dépenses générales (gestion, congrès, associations scientifiques) dûe en particulier à un certain laxisme sur l'appellation "scientifique" par opposition à "commerciale" des activités concernées par ces imputations, et à des erreurs d'imputation (sur les soutiens apportés au GRGS).

L'écart sur la géodésie correspond principalement à des campagnes de mesure à l'étranger ayant dûes être reportées pour des raisons conjoncturelles et à des erreurs d'imputation complémentaires des précédentes.

## I.2.2 Développement.

Le budget développement-projet a été dépensé à 91%, chiffre stable par rapport à l'an passé. Ce relatif accord masque néanmoins des écarts très importants entre certains projets ayant dépensé beaucoup plus que prévu (BDCarto, BDrouitière...) et d'autres ayant virtuellement reporté le travail (RGF...).

## I.3 BILAN DU PROGRAMME DE RECHERCHE.

Le détail des activités de recherche est détaillé plus bas dans les comptes-rendus d'activités des laboratoires.

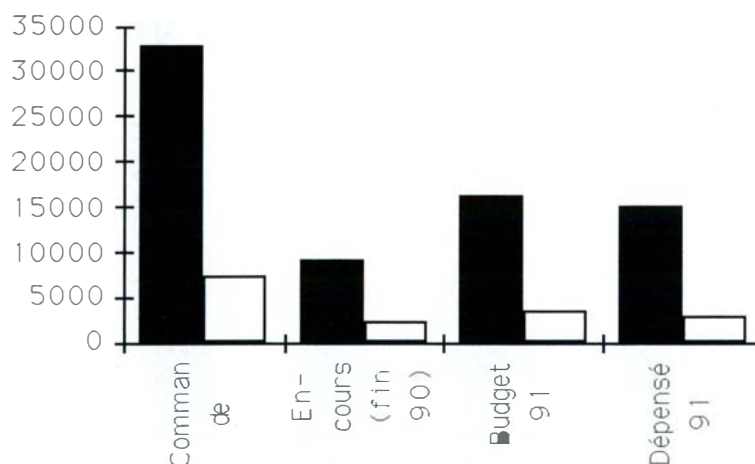
Une présentation partielle de quelques résultats significatifs a été faite lors de la "Journée Recherche", le 4 février 1992.

La diversité, voire la dispersion des sujets abordés peut paraître surprenante, et rendre difficile la lecture de ces comptes-rendus. L'effort de concentration des activités de recherche entrepris depuis la création du Service reste sans doute à poursuivre, mais cette diversité témoigne aussi des nombreux aspects de recherche dans lesquels l'IGN est impliqué de par sa nature même.

Il faut signaler le développement et la formalisation des partenariats nouveaux :

- protocole d'accord avec Aérospatiale sur l'exploitation cartographique des images radar spatiales,
- accord en cours de finalisation avec MS2I sur le développement de la restitution numérique,
- participation au GdR Cassini (groupement de recherche sur les systèmes d'information géographique).

## I.4 BILAN DU PROGRAMME DE DÉVELOPPEMENT.



Chiffres en kF. En noir "projets"; en blanc "développements".

Le montant total des commandes reste très élevé : il correspond à plus de deux années de travail de développement (environ 100 années-ingénieur), mais son augmentation est faible en 91. D'autre part l'écart "commande-encours de production" diminue, ce qui laisse espérer une stabilisation, et même une diminution en 92, correspondant à l'achèvement, en cours d'année 92 de projets importants sur les bases de données.

### **I.4.1 Développements hors projets.**

Le budget 1991 avait prévu une masse de 3400 KF pour ces actions de développements. Seuls 2770 KF ont été dépensés en 1991, soit 82%.

Près de la moitié de ce budget (44,5%) correspondait à des actions menées dans le Service des Photocartes et Spatiocartes.

On peut citer en particulier :

- l'implantation de la méthode de restitution de couples stéréo d'images SPOT sur appareils analogiques, méthode décrite dans la thèse de M. ALBATTAH sur la transformation d'un couple stéréoscopique d'images SPOT en un couple d'images épipolaires restituables sur tout appareil de restitution analogique, sans déformation du relief,

- la définition et la mise en place d'une nouvelle chaîne de cartographie numérique au Département des Travaux Hors France, en remplaçant le système d'aide à la restitution analogique par un système moderne, choisi pour sa capacité à visualiser en temps réel la saisie, à effectuer les raccords entre couples, à obtenir des données structurées, à permettre la prise en compte des toponymes et la sortie graphique de qualité,

- l'amélioration de logiciels de corrélation automatique d'images SPOT par portage sur SUN,

- l'amélioration de la chaîne d'orthophotographie numérique par portage sur SUN.

Un peu plus du quart du budget (26,5%) était prévu pour des développements au Service de la Géodésie et du Nivellement. Il n'a été dépensé qu'à 38,5%, en raison essentiellement du manque de disponibilité des personnels prévus.

Citons les actions qui ont notablement avancé :

- la chaîne de traitement des données de nivellement, depuis la saisie sur le terrain jusqu'à la compensation, en prenant en compte toutes les méthodes de nivellement pratiquées à l'IGN (niveau, théodolite, distancemètre, et variantes),

- le développement de logiciels de transformation de coordonnées.

Dans le domaine des reproductions et tirages, le Service de Photogravure et d'Impression a poursuivi l'étude sur l'automatisation de la réalisation d'épreuves de contrôle colorées : en établissant la correspondance entre niveaux de densité et temps de pose, les essais concluants de tramé direct, d'impression et de reproduction au banc de projection permettent d'envisager la création d'une nouvelle chaîne de rédaction avec uniquement des masques et des niveaux de densités, et de ne tramer qu'au moment de l'impression.

Pour sa part, le Service des Activités Aériennes a développé des logiciels de navigation utilisant le système GPS, de préparation des missions et de réalisation de tableaux d'assemblage; la mise en œuvre du système complet a été faite sur les deux Beechcraft (utilisés en missions en Guyane et au Cameroun), sur le Fokker 27 (utilisé pendant presque toute la campagne 91 en France et à l'étranger). Les deux Mystères 20 sont en cours d'équipement.

### **I.4.2 Développements en projets.**

Le budget 1991 prévoyait 16150 KF pour réaliser, en fonctionnant en "projets d'étude", les développements dont l'IGN a besoin pour assurer la production des nouveaux produits numériques, que ce soit par la définition de ces produits ou de leurs processus de fabrication, par l'organisation nouvelle de ces productions, ou par la définition des modes d'échange ou de diffusion des informations géographiques.

Ce budget a été dépensé à 92,7%. Ces activités de développements ont suivi le fonctionnement décrit dans "la charte d'organisation des projets d'études".

Pendant l'année 1991, le Service de la Recherche a suivi 21 projets, dont 8 avaient été lancés en 89, 8 en 90 et 5 en 91.

### **I.4.2.1 Les projets terminés en 1991.**

Parmi lesancements de 1990, 2 projets se sont terminés en 91, concernant la mise au point de formats d'échange d'informations géographiques.

**1** - Il s'agit du projet "Tests EDIGÉO" qui a réalisé des logiciels "jetables" pour valider la pré-norme Edigéo, en relation avec le CNIG et avec l'aide d'un certain nombre de partenaires (BRGM, EDF, le CGI). Des rapports de tests ont été écrits et le dictionnaire d'objets Edigéo a été validé et enrichi par comparaison avec les bases de données IGN (BDTopo et BDCarto).

**2** - Le projet "FEIV" a déposé ses résultats en juillet 91 : un standard FEIV, dont la marque a été déposée, normalise les Formats d'Echanges Internes à l'IGN de données Vecteur. Le format FEIV est présenté dans une plaquette et est défini par quatre documents : une définition logique, un manuel programmeur, un manuel utilisateur et une spécification d'organisation. Plusieurs interfaces ont déjà été développés entre FEIV et des systèmes géomatiques de l'IGN (TIGRIS, Système 9, ArcInfo). Un responsable produit a été désigné.

A ces deux projets, fait suite aujourd'hui le projet "Edigéo à l'IGN", qui doit assurer la passerelle entre le format interne IGN (FEIV) et le format externe (Edigéo).

Il faut noter également que 2 projets majeurs pour l'IGN (BDTopo et BDCarto) se terminent à la fin 1991.

**3** - Le projet "BDTopo" a fourni les spécifications de contenu de la BDTopo et la définition des processus de saisie. Les documents de spécification comportent quatre volets : les spécifications de contenu (liste par thème des classes avec leur définition précise), liste des classes d'objets avec leurs attributs, le modèle de données de la base, et la modélisation du réel, avec des exemples illustrés. Des articles de présentation de la BDTopo ont été publiés dans le Bulletin d'Information de l'IGN N° 59, consacré spécialement à ce produit numérique d'importance nationale. Le principe d'organisation de la production de la BDTopo a été repensé, compte tenu des innovations en matière de produit, de processus et de découpage du travail : actuellement, trois LPI (Lignes de Production Intégrée) sont mises en place et une quatrième doit être installée en 92.

Il est prévu de faire suivre ce projet d'un projet "suite", qui devra prendre en charge la définition de la mise à jour de la BDTopo et l'insertion des nouveaux matériels et nouveaux résultats de recherche.

**4** - L'autre projet majeur est celui qui définit la BDCarto. Les spécifications de contenu, qui ont dû prendre en compte la correspondance avec les données de Géoroute sont maintenant arrêtées et sont en cours de rédaction pour diffusion externe. Le processus de saisie et d'intégration (montée en base) a également été spécifié; la saisie se fait thème par thème. Pour le thème routier, les impératifs de cohérence avec Géoroute sont bien entendu pris en compte.

D'ores et déjà, un projet "Mise à jour BDCarto" étudie le processus permettant d'obtenir une BDCarto à jour selon des rythmes et des modalités dépendant des types d'objets. La phase 1 concerne le réseau routier principal, le réseau ferré et les thèmes administratif et EDF.

### **I.4.2.2 Les projets en cours en 1991.**

Le tableau récapitulatif ci-dessous fournit un résumé de tous les projets qui ont été en cours en 1991. Sans passer en revue la totalité des projets, citons en particulier les suivants :

**1** - Le projet "BDRoutières" définit le produit Géoroute, qui doit répondre aux besoins de la navigation routière embarquée. Le modèle de données a été conçu de façon à pouvoir répondre également à des utilisations telles que la gestion de flotte, la gestion du trafic,

l'optimisation de tournée, la cartographie en milieu urbain. Les spécifications de données, de saisie et de sorties graphiques ont été réalisées. La saisie est réalisée à l'aide du logiciel Mac Map sur Macintosh. Le serveur de données est implanté sous ArcInfo sur Sun. Une équipe de production a été mise en place, tournant sur les premières étapes de la chaîne.

**2 - Le BEC (Bureau d'Etudes Cartographiques)** a poursuivi en 1991 les définitions de produits cartographiques sur papier, au 1 : 25 000 et au 1 : 100 000, issus des bases de données BDTopo et BDCarto.

Pour les sorties au 1 : 25 000, à partir de la BDTopo, après l'élaboration d'une maquette sur une zone urbaine (Mulhouse), une maquette sur une zone de montagne (Pralognan-la-Vanoise) a permis d'étudier les problèmes spécifiques au figuré de montagne et aux surcharges touristiques. Le choix a été fait d'une facture pour le nouveau 1 : 25 000 qui sera issu de la BDTopo. Reste à tester la faisabilité d'une production en série, en réalisant une maquette sur une feuille complète (Montpellier) à l'aide du logiciel ArcInfo.

Pour les sorties au 1 : 100 000, à partir de la BDCarto, le recueil des besoins d'utilisateurs a permis de définir le contenu d'une maquette et les origines des données, qui ne sont pas toutes contenues dans la BDCarto. L'étude de faisabilité de ces sorties conclut à la nécessité de saisies complémentaires, d'intégration de données non IGN (EDF, Tourisme, entre autres) et de symbolisation. Outre le rapport de cette étude de faisabilité, il faut citer le mémoire d'examen professionnel de J.P. DUCUING: "Automatiser la sortie du 1 : 100 000 IGN, mythe ou réalité" ?

Lors de la Journée Recherche IGN du début de l'année 1992, le BEC exposait les résultats de ses travaux de définition de maquettes des futures cartes au 1 : 25 000 et 1 : 100 000 issues des bases de données IGN.

**3 - Le projet "Cartographie Spatiale"** a terminé ou bien avancé plusieurs actions inscrites dans ses objectifs.

Le schéma directeur du spatial a été élaboré, et approuvé, dans un rapport sur les "perspectives à long terme de la cartographie spatiale à l'IGN".

Parallèlement aux études sur la création d'un GIE IGN/Spot Image, le projet a proposé, puis mis en œuvre une nouvelle organisation de la production en cartographie spatiale, qui a abouti à la nouvelle structure toulousaine IGN Espace, regroupant le GDTA, le CRIS, l'actuel IGN Espace et le groupe APIS.

Plusieurs développements de logiciels ont été réalisés, ou sont en cours de réalisation, pour industrialiser le savoir-faire IGN en traitement d'images :

- portage de la spatiotriangulation à Toulouse avec un module "logiciel de pointé" et un module "modélisation" (en cours),
- industrialisation de la corrélation automatique, avec trois modules : pointés et modélisation (en cours de recette), corrélation et production de MNT (fin de développement), et corrections interactives (spécifications définies),
  - gestion de chantiers spatio-cartes (spécifications définies),
  - mosaïquage (mis en production),
  - habillage cartographique, sur poste de travail Macintosh (en production),
  - sortie cartographique, par flashage direct des typons d'impression en quadrichromie (filrière à tester sur de gros chantiers).

Un plan de formation dans le domaine du spatial a été réalisé avec la participation du GDTA (en cours de validation). Parallèlement, le projet a étudié les problèmes de reconversion du personnel affecté au CRIS Toulouse, pour préparer l'extinction du CRIS prévue en 1995.

### **1.4.2.3 Les projets lancés en 1991.**

Cinq projets ont été lancés en 1991. Outre les deux projets déjà évoqués plus haut ("Edigéo à l'IGN" et "Mise à jour BDCarto"), il s'agit des trois suivants :

- le projet "BDA Administrative" (fin prévue en avril 92) doit définir et fournir au futur Système d'Information Géographique National les informations décrivant les identifiants administratifs de référence,

- le projet "BDMillion" (fin prévue en 93) doit définir les spécifications de produits et de processus de fabrication pour une BD permettant la réalisation de cartes aux échelles de 1 : 1 Million, et en particulier la carte routière 901, à partir des données de la BDCarto,

- le projet "Serveur Général" (fin prévue début 93) doit définir, faire acquérir (appel d'offre) et mettre en œuvre les matériels et logiciels nécessaires pour installer à l'IGN le Serveur Général de Données Localisées, outil de diffusion interne et externe du futur Système d'Information Géographique National de l'IGN.

Enfin, des études préalables menées au cours de l'année 1991 ont permis de décider du lancement en début 1992 de trois nouveaux projets : sur l'orthophotographie numérique, sur la mise en production du Réseau Géodésique Français et sur la création d'un Centre d'Information sur les Evolutions.

**TABLEAU RECAPITULATIF DES DEVELOPPEMENTS "PROJETS" EN 1991**

<i>grands domaines d'évolution technologique</i>	<i>projets vivants en 1991 (date de fin)</i>	<i>résumés des résultats attendus</i>
<b>bases de données faiblement localisées</b>	<b>BD administratives</b> (mi 92) <b>BD documentaires</b> (fin 92) <b>BD toponymes</b> (mi 92)	- Identifiants administratifs de référence pour les informations géographiques localisées, - Données de gestion des photos aériennes, des missions aériennes et des cartes, - Données de référence en toponymes pour l'ensemble des produits IGN.
<b>bases de données fortement localisées</b>	<b>BD topographiques</b> fin réelle au 31/12/91 (projet "suite" en 92) <b>BD cartographiques</b> (début 92) <b>BD géodésiques</b> (mi 93) <b>Mise à jour BDCarto</b> (fin 93) <b>BD routières</b> (mi 92)	- Informations géographiques de base sous forme numérique à précision métrique, - Informations géographiques de base sous forme numérique à précision décimétrique, - Informations géodésiques de base, - Processus de mise à jour des données de la BDCarto, - Informations géographiques sous forme numérique décrivant le réseau routier (besoin à long terme pour la conduite automobile).
<b>produits dérivés des BD localisées</b>	<b>BD million</b> (début 93) <b>BEC</b> (Bureau d'Etude Cartographique) (93)	- Informations cartographiques sous forme numérique à l'échelle du 1 : 1 000 000, - Produits cartographiques sur papier issus de la BDTopo(1 : 25 000) et de la BDCarto (1 : 100 000)
<b>équipements et services pour diffuser l'information géographique</b>	<b>Remplacement du système SEMIO</b> (mi 93) <b>Serveur Général de données localisées</b> (début 93) <b>Bureautique</b> (92)	- Acquisition et mise en œuvre d'un nouveau système d'édition automatique de cartes, - Acquisition et mise en œuvre d'un serveur IGN pour diffuser les informations géographiques, - <b>Organisation du réseau bureautique de l'IGN.</b>
<b>normalisation des échanges d'informations géographiques</b>	<b>FEIV</b> fin réelle au 5/7/91 <b>Tests EDIGÉO</b> fin réelle au 1/2/91 <b>EDIGÉO à l'IGN</b> (mi 92)	- Description du Format d'Echange Interne à l'IGN des données Vecteur, - Programmes de tests permettant de valider la prénorme Edigéo, - Interface entre les formats FEIV et EDIGÉO.
<b>activités spatiales</b>	<b>Cartographie spatiale</b> (mi 92) <b>GPS</b>  <b>DORIS</b> (mi 92)	- Schéma d'orientation des activités spatiales; définition des produits et des processus de production, - Spécifications de l'utilisation de GPS en navigation aérienne, en géodésie, en trajectographie et orbitographie, - Evaluation de la précision du système DORIS en trajectographie; expériences de localisation et promotion du "produit DORIS".
<b>qualité des produits et des procédés</b>	<b>Standardisation des supports et formats</b> (début 92) <b>Mesure du Flou sur photos aériennes</b> (92)	- Atelier de perforation des divers supports utilisés à l'IGN et ses procédures de fonctionnement, - Système opérationnel de mesure de la qualité des photos aériennes en matière de flou.

## I.5 RECHERCHES SOUS CONTRAT.

De manière générale, le Service de la Recherche ne cherche pas de contrats d'étude ou de recherche qui inévitablement prélèvent des moyens humains prévus sur le programme de recherche et contribuent ainsi au retard de nos propres recherches.

Il arrive néanmoins que l'on soit sollicité pour des études qui sont trop strictement de notre compétence pour que l'on puisse se dégager, ou que l'opportunité se présente de valoriser des recherches déjà menées ou faisant partie de nos objectifs propres.

A titre indicatif le montant total de ces travaux, dont la plupart sont encore en cours actuellement, s'élève à 1 631 kF.

- Evaluation de la FTM du futur capteur HRG (CNES).  
Etude sur simulations. Un rapport d'étude a été diffusé.

- Evaluation du potentiel HRG pour la restitution du relief. (CNES).  
Etude sur simulations. En cours.

- Portage sur Sun de programmes de visualisation 3D d'images.  
Les algorithmes ont été mis au point au Cogit les années passées, en particulier dans le cadre d'un précédent contrat avec le Ministère de l'Environnement. Les développements ont été sous-traités. Les logiciels sont livrés à Géospace.

- Segmentation d'images Spot pour Ispra.  
Validation des algorithmes de segmentation d'images spatiales et développement d'algorithmes de classification sur parcelles. Deux rapports intermédiaires ont été faits. Fin prévue en mars 92. Cette étude est faite avec SCOT-Conseil et MS2I.

- Etude d'un procédé de télémétrie laser aéroportée sur cibles réfléchissantes terrestres pour la mesure rapide des déformations verticales du sol.  
Réalisée pour le compte de SNEAP. En cours.

- Expertise des fichiers DCW.  
Définir le contenu et la qualité des fichiers Digital Chart of the World.  
Etude largement sous-traitée. La phase 1 est terminée.

Dans la mesure où ces études rentrent dans le cadre de recherches menées dans les laboratoires, on en trouvera un compte-rendu plus détaillé dans les chapitres suivants.

## II. ACTIVITÉS DU COGIT

par Isabelle DESTIVAL

Les recherches du laboratoire COGIT (Connaissance des Objets Géographiques et des Images de Télédétection) sont organisées en trois domaines principaux :

- le premier est dénommé “**méthodes de saisie et d'évaluations des données géographiques**”; il regroupe (2.1) les recherches en traitement-analyse d'images pour la saisie d'information géographique (maintenant principalement réorientées sur l'interprétation de photographies aériennes), et les études de qualité de résultats de tels traitements (2. 2 et 2. 3).

- le deuxième, sous le titre de “**gestion de l'information géographique**” regroupe les recherches sur les systèmes de gestion de bases de données pour les BD géographiques (2. 4).

- la “**généralisation cartographique**” constitue le dernier axe et traite des problèmes de représentation des données géographiques numériques à différents niveaux d'abstraction ou de résolution (2. 5).

### II.1 MÉTHODES DE SAISIE DES DONNÉES GÉOGRAPHIQUES

Ce thème regroupe essentiellement les recherches sur l'interprétation d'images et la corrélation automatique.

#### II.1.1 Interprétation automatique des photographies aériennes numérisées.

##### II.1.1.1 Contexte - Objectifs

Cette recherche est menée en collaboration avec MS2I (qui a mis à la disposition du laboratoire un restituteur tout numérique T10N). Le calendrier fixé pour l'année 1991 était le suivant :

- janvier - février : installation d'un Traster T10N prêté par MS2i (cet aspect a pris du retard car la machine n'est opérationnelle au COGIT que depuis janvier 92; les tests ont donc été effectués sur les Vax du COGIT).

- février - juin : portage des algorithmes de détection de réseaux du Trias sur cette machine.

- juillet - décembre : validation des algorithmes de détection du réseau routier.

Dans le même temps devaient être entreprises les modifications de la partie photogrammétrie et corrélation, pour leur adaptation aux photographies aériennes.

##### II.1.1.2 Activité 91

L'avancement de cette action de recherche a été limité par manque de disponibilité des personnels engagés. L'affectation de deux personnes supplémentaires en septembre-octobre, ainsi que le recrutement d'un thésard, a permis toutefois la mise en œuvre d'une partie du programme de recherche prévu.



#### • **Extraction du réseau routier :**

Les premiers tests effectués ont rapidement montré l'inadéquation des algorithmes développés sur Spot pour l'extraction de l'information planimétrique sur photographie aérienne. Ces algorithmes reposent sur l'examen des discontinuités radiométriques et se montrent de faible fiabilité sur ces nouvelles données. En parallèle, les essais conduits par H. LE MEN sur la détection des routes par extraction de plages radiométriques homogènes semblent plus prometteurs, et nous conduisent à ré-orienter cette recherche.

L'observation du fait que l'interprétation des réseaux doit a priori être conduite par des méthodes d'extraction de régions nous conduit à nous intéresser aux techniques de segmentation d'image. L'objectif de leur étude peut être plus large : obtenir un prétraitement des données, utilisable pour une palette plus étendue de thèmes d'intérêt, et fournir dans le même temps un critère plus général de choix des opérateurs à employer sur ces images.

Le dernier trimestre 91 a en conséquence été consacré à l'étude de processus de segmentation sur les images aériennes. Deux pistes ont été abordées :

- *segmentation par détection de contours* : nous avons repris les algorithmes de segmentation sur image Spot par recherche de bassins-versants [LE MEN 1990].

Cette méthode de segmentation s'est montrée relativement décevante. On constate une sur-segmentation des surfaces de végétation, tandis que des détails topographiques importants sont perdus. L'inadéquation à notre problème de cet algorithme nous a conduits à effectuer des tests complémentaires. Les effets du paramétrage portent essentiellement sur le choix des frontières à conserver (sur des critères de surface minimale et de taux de points de contours à l'intérieur de la région segmentée [BRETON 1991]).

Cela dit, l'algorithme a été développé pour des images SPOT (avec filtrage des régions sur des critères de taille etc...) et n'était pas optimal pour l'exploitation des photographies aériennes. Nous avons donc implanté un algorithme d'extraction de l'ensemble des bassins versants calculés sur un gradient, sans critère de filtrage des régions à retenir : cet algorithme donne des résultats proches de ceux obtenus par la méthode de Nagao.

- *segmentation par extraction de plages homogènes* : la méthode appliquée est inspirée des travaux de Nagao sur photographies aériennes<sup>1</sup>.

Elle procède par filtrage préalable de l'image, puis simple seuillage d'un gradient appliqué sur l'image filtrée. Le filtre employé est un filtre lissant préservant les bords de régions homogènes (filtre de Nagao).

Cette méthode relativement simpliste donne des résultats prometteurs. Un très fort taux de sur-segmentation est obtenu, mais on n'observe pas d'omission de frontières significatives.

Le fort taux de sur-segmentation obtenu conduit à s'intéresser aux procédures de fusions de segments voisins sur des critères de radiométrie et de forme. Ces procédures sont en cours d'étude actuellement.

Le choix d'un procédé de segmentation n'est donc pas encore arrêté.

#### • **Extraction des forêts.**

L'étude de l'extraction des forêts vient en complément de celle des processus de segmentation. La végétation arborescente apparaît être la cause principale des difficultés de sur-segmentation rencontrées. L'extraction préalable des forêts pourrait considérablement simplifier les procédures de traitement ultérieures.

Une courte étude sur la caractérisation des forêts par des critères texturaux a été conduite dans le courant du mois d'octobre. Des opérateurs procédant par examen des dérivées secondes directionnelles de l'image ont été implantés, et ont montré une efficacité prometteuse sur des images à la résolution de 2m [VAUJOUR 1991]. Ces résultats ne sont toutefois pas encore opérationnels (la distinction entre les surfaces bâties et les bois n'est pas maîtrisée).

---

<sup>1</sup>[Nagao 1980] M.Nagao, T.Matsuyama : *A Structural Analysis of Complex Aerial Photographs*, Plenum Press New York - 1980

### • **Extraction du bâti.**

L'étude de la restitution des bâtiments a été entreprise en octobre dans le cadre d'une thèse effectuée au laboratoire (bourse IGN). Le travail a jusqu'à présent essentiellement porté sur l'inventaire de la bibliographie et l'étude d'opérateurs de bas niveau (détecteurs de bords).

Cette thèse a été l'occasion d'initier une collaboration avec le laboratoire de traitement d'image de l'ENST, Monsieur Henri MAITRE ayant accepté d'être directeur de ce travail, et d'y participer activement quant à la définition de ses objectifs et des méthodes employées.

#### **II.1.1.3 Programme 1992 :**

Trois pistes nous semblent intéressantes pour l'année 1992 :

- choix de la résolution de travail : le choix d'une résolution apparaît intimement lié aux thèmes recherchés; des tests devront être effectués pour déterminer la résolution optimale en fonction des thèmes étudiés; on devra donc aussi se pencher sur le problème de changement d'échelle (en particulier report des détections effectuées à basse résolution sur des images de haute résolution).

- qualité image : l'obtention d'images à très haute résolution (de l'ordre de 20 à 50 cm sol) pose des difficultés à partir de la numérisation de clichés à l'échelle du 1 : 30 000, ceci pour des raisons de volume de données et de bruit de scannage.

Il est important de déterminer si les très hautes résolutions sont nécessaires (en particulier pour l'extraction du bâti). Par ailleurs, nos études nous orientant vers l'utilisation de clichés à grande échelle, il semble important d'étudier d'ores et déjà les procédures d'amélioration de la qualité image (filtrage du bruit) afin de conserver une prise de vues au 1 : 30 000, en zone rurale pour le moins.

- processus de segmentation : il s'agira de :

- filtrer les résultats par élimination de frontières non significatives (fusion de régions en fonction des radiométries et suivi de routes par des critères géométriques dans la segmentation),

- faire un inventaire des algorithmes de segmentation utilisables.

#### **II.1.1.4 Références :**

[LE MEN 1990] H. Le Men & O. Jamet : *Interprétation Automatique de l'Occupation du Sol sur Images Spot*, Symp. Intern. Cartographie Thématique Dérivée des Images Satellites - ACI, Saint-Mandé - octobre 1990.

[BRETON 1991] E. Breton : *Classification Multi-dates par parcelles*, Rapport de projet pluridisciplinaire IT2, 1990/1991 - ENSG - septembre 1991.

[VAUJOUR 1991] Enseignes de vaisseau Vaujour & Chaderat : *Tests d'Outils pour la Détection de Forêts sur Images Numérisées*, Rapport de projet de fin d'étude, promotion 1989 - ECOLE NAVALE - novembre 1991.

### **II.1.2 Interprétation multitemporelle d'images satellite.**

#### **II.1.2.1 Contexte - Objectifs :**

Ce contrat, signé avec Scot-Conseil, pour fourniture par ce dernier de prestations à la CEE (ISPRA), concernait la mise en œuvre d'un processus d'interprétation multitemporelle automatique en vue d'établir des prévisions de récolte. Le processus d'interprétation proposé est largement fondé sur l'utilisation de logiciels existant au COGIT.

### **II.1.2.2 Activité 91 :**

L'interprétation automatique monotemporelle d'une image est effectuée par segmentation et classification des segments suivant la méthode proposée par H. LE MEN [LE MEN 1990].

L'interprétation multitemporelle est réalisée par mise à jour progressive des interprétations effectuées aux différentes dates de l'année. La mise à jour de l'interprétation à la date  $t$  procède en deux temps [LE MEN 1991] :

- premièrement, la segmentation de l'image de date  $t$  est enrichie des frontières détectées aux dates antérieures : cette étape devait faire intervenir les logiciels de mise en correspondance de graphe développés dans le cadre de l'action de recherche sur l'évaluation de résultats de segmentation d'images (cf 2.2.1), afin d'obtenir une liste des frontières à rajouter et un modèle de déformations permettant de calculer la géométrie de ces frontières dans la projection de la segmentation traitée (les images de l'étude sont de niveau 2); le rajout en lui-même devait être développé,

- deuxièmement, l'interprétation de la segmentation enrichie est effectuée par simple prise en compte de probabilités a priori de classement des segments à la date considérée; ces probabilités résultent du traitement des dates antérieures.

La taille des images traitées (2000 x 2000 pixels) nous a conduits à effectuer d'importants développements supplémentaires, la capacité mémoire de nos machines étant insuffisante pour le traitement de telles images par les algorithmes choisis.

Une segmentation par morceaux d'images de taille quelconque a été développée [BRETON 1991].

Le report des frontières détectées aux dates antérieures a posé plus de problèmes. Les algorithmes de mise en correspondance de graphe n'ont pu être utilisés pour les raisons évoquées précédemment (cf 2.2.1, évaluation de résultats de segmentation d'images).

Nous avons donc été conduits à développer des solutions alternatives au double problème de mise en cohérence géométrique de deux graphes calculés sur des images de niveau 2 (calcul de déformation et ré-échantillonnage), et de report des arcs d'un graphe dans un autre.

1. Différents algorithmes de report d'arcs ont été développés. Ils n'ont cependant pas été utilisables dans le cadre de l'étude, montrant des limitations liées soit à une trop grande complexité algorithmique [CHIRIÉ 1991], soit à des besoins en mémoire virtuelle trop grands pour notre site [JAMET 1992-2]. Nous avons en définitive été conduits au développement d'une solution procédant par traitement des images maillées d'étiquettes de régions [JAMET 1992-2].

2. Le calcul des déformations entre deux graphes a également fait l'objet d'un double développement. Une première solution par reconnaissance de nœuds des graphes a été implantée (non publié) : elle s'est montrée inadéquate pour des raisons de précision du calcul (trop faible densité de points de calage reconnus) et d'encombrement mémoire.

Une seconde solution par corrélation d'images maillées binaires a donc été développée par H. LE MEN [JAMET 1992-2].

### **II.1.2.3 Prolongements envisagés :**

Un rapport final doit être remis à ISPRA début 92.

Les objectifs de ce type de recherche sont maintenant ceux du § 2.2.1, à savoir les mesures de qualité des données d'occupation du sol.

## Références :

[LE MEN 1990] H. Le Men & O. Jamet : *Interprétation Automatique de l'Occupation du Sol sur Images Spot*, Symp. Intern. Cartographie Thématique Dérivée des Images Satellites - ACI, Saint-Mandé - octobre 1990.

[LE MEN 1991] H. Le Men, O. Jamet & E. Breton : *Mars Project, ISPRa Operation 4. 2, Rapport n° 1, Descriptif de l'Etude*, Rapport intermédiaire, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - mai 1991.

[BRETON 1991] E. Breton : *Classification Multi-dates par Parcelles*, Rapport de projet pluridisciplinaire IT2 1990/1991 - ENSG - septembre 1991.

[CHIRIÉ 1991] F. Chirié : *Classification Multitemporelle utilisant la Segmentation d'Image, Report d'Arcs Manquants*, Rapport de projet pluridisciplinaire IG1 1990/1991, ENSG - septembre 1991.

[JAMET 1992-2] O. Jamet & E. Breton : *Mars Project, ISPRa Opération 4.2, Rapport n° 2, Description des méthodes employées et résultats partiels*, Rapport intermédiaire, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - janvier 1992.

### II.1.3 Extraction des réseaux linéaires sur images SPOT.

#### II.1.3.1 Contexte - Objectifs :

Le but de cette recherche est l'automatisation de la saisie des réseaux routiers sur des images SPOT. L'objectif pour l'IGN est la spécification d'un système d'assistance à la saisie des principaux réseaux sur images pour la fabrication des spatio-cartes.

#### II.1.3.2 Activité 91 :

Divers opérateurs de détection ont été développés et comparés [DESTIVAL 86]; les arcs ont été vectorisés et décomposés en segments [DESTIVAL 88]. L'objectif est maintenant la reconstitution du réseau à partir de l'ensemble des segments (chaînage + élimination du bruit) en utilisant un système à base de connaissances.

Pour 91, cette étude a fait l'objet d'un contrat de sous-traitance à l'EHEI (Ecole des Hautes Etudes en Informatique), Univ. Paris V. Des outils de base ont été développés. L'étude est en cours et a pour l'instant donné lieu à un rapport intermédiaire.

#### II.1.3.3 Prolongements envisagés :

On souhaite essentiellement :

- travailler en coopération avec d'autres laboratoires pour la reconstitution à base de connaissances,
- suivre les recherches effectuées sur le sujet à l'INRIA (évaluation qui nous est demandée par le CNES dans le cadre de ses programmes R&T),
- évaluer l'apport d'une approche par réseaux neuronaux pour la détection.

## Références :

[DESTIVAL 86] I. Destival & H. Le Men : *Detection of linear networks on satellite images*, 8th International Conference on Pattern Recognition, Paris - 27-31 octobre 1986, p. 856.

[DESTIVAL 88] I. Destival : *Décomposition de courbes digitalisées en segments de droites (pour le suivi des réseaux linéaires sur les images SPOT)*, Journées de Télédétection, ORSTOM, Bondy - novembre 1988.

[BLIVET 89] S. Blivet : *Application de la transformation de HOUGH à la détection de droites*, Rapport de stage, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - août 1989.

[GILLIOT 91] J.M. Gilliot : *Extraction des réseaux linéaires fins*, Rapport d'activités de l'EHEI sur ce projet, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - octobre 1991.

## II.2 MÉTHODES DE MESURE DE QUALITÉ DES DONNÉES

### II.2.1 Evaluation de résultats de segmentation d'images.

Cette action vise au développement d'outils de mesure de la qualité des segmentations.

#### II.2.1.1 Contexte - Objectifs :

Cette recherche a été entreprise en 1989 et a donné lieu, dans les années qui ont suivi, à des publications sur les méthodes de mise en correspondance de graphe et de mesure de la qualité des données d'occupation du sol. Les objectifs fixés pour l'année 1991 étaient les suivants :

- mise au point de mesures de qualité des données d'occupation du sol,
- intégration des logiciels développés par B. PHALAKARN dans le cadre de sa thèse pour l'amélioration des programmes implantés sur le TRIAS du COGIT,
- mise au point d'un outil de fusion de graphes de zones pour des applications de mise à jour.

#### II.2.1.2 Activité 91

- Evaluation des segmentations et des données d'occupation du sol.

L'année 1991 a été essentiellement consacrée à la fin de la thèse de B. PHALAKARN.

De ce travail se dégage une méthodologie de mise en correspondance de graphes opérationnelle pour des données en projection cartographique (les critères de mise en correspondance retenus reposent en large part sur des propriétés de localisation) [PHALAKARN 1991].

Les expériences concernant la mesure de l'erreur se sont limitées à un jeu de données de test (segmentation calculée sur un extrait d'image Spot par des logiciels du laboratoire et vérité de terrain associée). Seule la composante géométrique de l'erreur a été abordée

- Fusion de deux graphes pour la mise à jour.

Ce problème a été abordé dans le cadre d'un contrat avec SCOT-Conseil pour l'interprétation multitemporelle de données satellitaires (Cf 2.1.2, Interprétation multitemporelle d'images satellite).

Signalons simplement ici que les algorithmes de mise en correspondance développés dans le cadre de cette recherche n'ont pu être utilisés pour cette application.

D'une part leur emploi nécessitait des modifications du paramétrage des algorithmes de mise en correspondance existants, et l'intégration des algorithmes de B. PHALAKARN. Ce travail ne pouvait être effectué dans le temps imparti.

D'autre part, les travaux de B. PHALAKARN ont souligné les difficultés de définition d'une mise en correspondance entre les frontières de deux graphes, liées aux différences

topologiques qu'ils peuvent montrer [PHALAKARN 1991] : la mise en correspondance n'apparaissait donc pas directement utilisable pour la mise à jour d'un graphe.

Un rapport complet de fin d'étude doit être rédigé courant 92.

### II.2.1.3 Prolongements envisagés :

La suite de cette étude prévoit la mise au point et la validation des outils développés. L'objectif est donc de définir des mesures de qualité portant sur des données de la BDCarto<sup>2</sup> d'une part et d'évaluer la possibilité d'insertion de processus de segmentation automatique dans la chaîne de saisie actuelle et/ou dans la mise à jour des données de la BDCarto.

### II.2.1.4 Références :

[JAMET 89] O. Jamet & B. Phalakarn : *Un algorithme rapide de mise en correspondance de cartes*; 7<sup>ème</sup> Congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle, Paris - 29 nov-1 déc 1989 - tome 3, pp. 1123 - 1130.

[JAMET 90] O. Jamet : *Mesure de la qualité de l'information d'occupation du sol dans un SIG*, premier colloque international, CNES-SFPT, Strasbourg - 6-9 nov 1990, actes dans le bulletin de la SFPT N° 122, 1991-2.

[PHALAKARN 91] B. Phalakarn : *Evaluation de la Qualité des Processus de Segmentation d'Image par Mise en Correspondance à une Référence*, Thèse de Doctorat de l'Université Paris 7 - décembre 1991.

## II.2.2 Validation d'un MNT

### II.2.2.1 Contexte - Objectifs

La minimisation de l'erreur quadratique, si elle est adaptée pour l'évaluation d'un MNT destiné à la fabrication d'orthophotos, est un indicateur extrêmement pauvre pour bien des applications. Pour des utilisateurs comme les géologues ou les géomorphologues, des critères de qualité liés au respect de la texture et des formes de terrain méritent d'être pris en compte.

Ce travail s'est fixé comme objectifs :

- de déterminer d'autres critères de qualité que l'erreur RMS (écart-type) habituellement utilisée pour satisfaire les exigences des différents utilisateurs (qui ne souhaitent pas forcément des MNT lissés),
- d'étudier la compatibilité de ces critères et
- de chercher dans la structure d'échantillonnage un moyen de satisfaire simultanément un plus grand nombre d'exigences.

---

<sup>2</sup>La Base de Données CARTOgraphique de l'IGN comporte un certain nombre de "couches" pour la plupart saisies à partir de cartes au 1: 50 000 (réseaux routier, ferré, hydrographique, électrique, limites administratives, objets isolés, etc...). La couche "occupation du sol" est saisie à partir de photo-interprétation d'images SPOT.

### II.2.2.2 Activité 91

Cette recherche a donné lieu à une thèse soutenue en 91, [POLIDORI 91-4], et a été menée en collaboration avec le laboratoire de géologie structurale de l'Université de Paris 6.

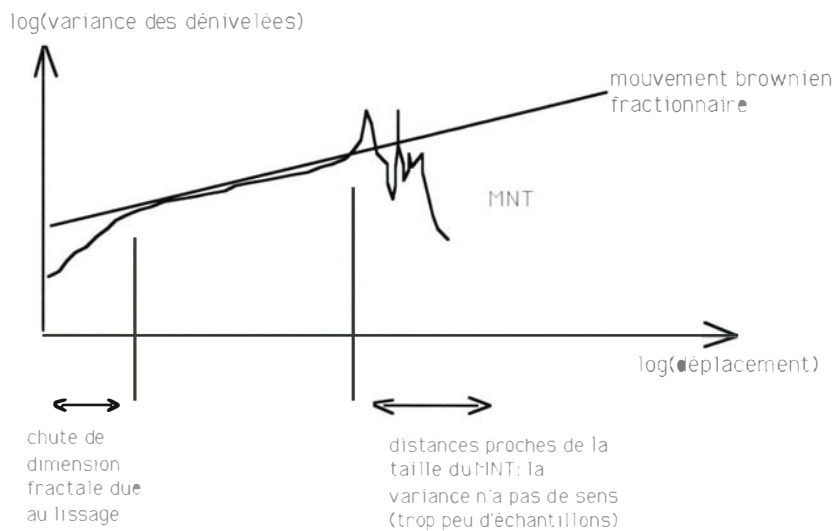
Les points-clés des méthodes développées :

#### **modélisation fractale**

Les propriétés du terrain sont modélisées par le mouvement brownien fractionnaire (la variance des dénivelées sur une distance horizontale donnée  $d$  est proportionnelle à  $d^{2(3-D)}$  où  $D$  est appelé dimension fractale).

#### **détection d'artéfacts**

• Si l'on construit le "graphe de fractalité" pour toutes les distances contenues dans le MNT, on observe le phénomène représenté sur la figure suivante :



• Le calcul de la dimension fractale le long de profils dans deux directions complémentaires dont l'une est parallèle à la direction d'interpolation permet de mettre en évidence une tendance directionnelle (MNT plus lisse dans les directions interpolées).

Ces méthodes de détection d'artéfacts devront être quantifiées pour une utilisation en production. On peut par ailleurs comparer des techniques d'échantillonnage avec des méthodes utilisées en traitement d'images.

#### **rééchantillonnage**

Une interpolation non lissante a été conçue, par ajout à l'altitude calculée d'un terme aléatoire déterminé de manière à prolonger les propriétés fractales du terrain vers les distances inférieures. Le MNT obtenu est moins bon au sens de l'erreur quadratique mais plus réaliste du point de vue de la texture.

#### **fidélité du réseau hydrographique**

Le réseau hydrographique est un élément essentiel de la topographie. Il est nécessaire qu'il soit représenté fidèlement, tant du point de vue géométrique que du point de vue topologique. L'extraction des lignes de talweg permet d'évaluer cette fidélité, et met en évidence des artéfacts liés au ré-échantillonnage. Un programme de ruissellement a été écrit et permet de mettre en évidence :

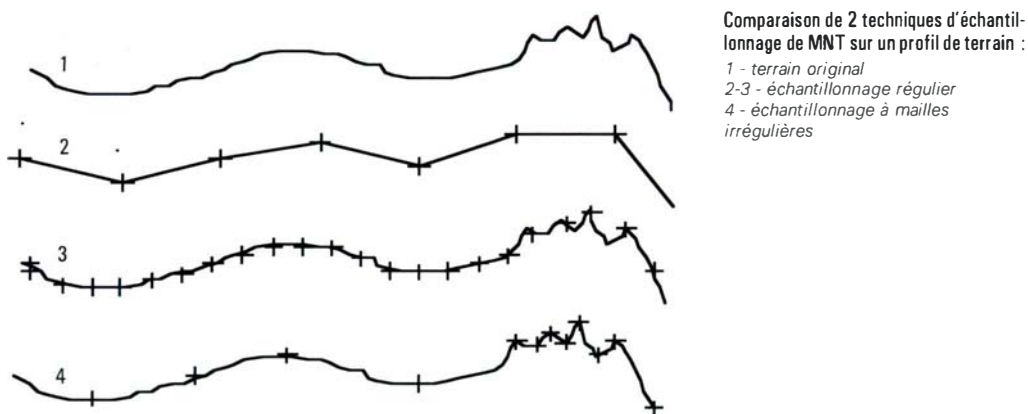
- un lissage excessif (transformant une vallée en V en une vallée en U où le talweg "cherche son chemin"),
- des tendances directionnelles qui canalisent le ruissellement,
- un niveau de bruit élevé qui fait obstacle à ce même ruissellement,

- ou encore la présence de cuvettes peu profondes liées à une interpolation de type bicubique etc ...

De même que la détection d'artefacts par le calcul de dimension fractale, cette méthode a l'avantage de ne pas nécessiter de données de référence.

#### **compatibilité des critères de qualité**

La grille régulière ne permet généralement pas de concilier toutes les exigences de qualité correspondant aux critères définis ci-dessus. Seule une grille irrégulière permet d'échantillonner correctement un terrain dont les propriétés spectrales locales ont des variations spatiales importantes. Elle permet d'échantillonner des points le long des lignes de rupture (crêtes, talwegs, épaulements...) pour que leur existence, leur position et leur forme soient fidèlement indiquées, ceci sans que le volume des données devienne excessif. Des grilles irrégulières comme les TIN (Triangular Irregular Networks) ou les grilles semi-régulières obtenues par échantillonnage progressif, sont couramment utilisées.



Ont été comparés :

- un MNT à grille irrégulière réalisé par "composite sampling" (fourni par M.Charif, ITC),
- et un MNT à maille régulière superposable au premier et interpolé à partir de courbes de niveau de la BDTopo.

L'écart-type entre les deux MNT est très faible : ils ont donc des erreurs RMS comparables. Mais le premier est beaucoup plus fidèle aux formes de terrain, notamment au réseau hydrographique (résultat logique car ce réseau est la première chose que l'on saisit dans le "composite sampling"). Cette fidélité a été confirmée par l'examen stéréoscopique des photographies aériennes au 1 : 30 000.

#### **II.2.2.3 Prolongements envisagés :**

Cette action de recherche doit être poursuivie en 92, avec en particulier l'étude de méthodes de mesure de la qualité du rendu du réseau hydrographique (par mise en correspondance d'un réseau hydro et des lignes de vallées du MNT correspondant).

#### **II.2.2.4 Références**

[POLIDORI 91-1] L. Polidori, J. Chorowicz & R. Guillaude : *Description of terrain as a fractal surface and application to digital elevation model quality assessment*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (sous presse).

[POLIDORI 91-2] L. Polidori & J. Chorowicz : *Modelling terrestrial relief with Brownian motion : application to digital elevation data evaluation and resampling*, Proc. of EARSeL'91 - Graz jul. 1991.



[POLIDORI 91-3] L. Polidori : *Validation de modèles numériques de terrain , application à la cartographie des risques géologiques*, thèse de l'université Paris 7, soutenue le 19 décembre 1991.

[RIAZANOFF] S. Riazanoff, P. Julien, B. Cervelle & J. Chorowicz : *Extraction et analyse automatiques d'un réseau hiérarchisé de talwegs; application à un MNT dérivé d'un couple stéréoscopique SPOT*, International Journal of Remote Sensing, 1992, Vol. 13, n° 2.

## **II.2.3 Evaluation de résultats de corrélation automatique**

### **II.2.3.1 Contexte - Objectifs**

Des tests ont été effectués dans le cadre d'une étude commanditée par le CNES concernant la restitution du relief martien pour le VAP.

Le VAP (Véhicule Automatique Planétaire) est destiné à l'exploration de Mars. Le projet prévoit, outre le véhicule, un instrument d'observation en orbite réalisant des prises de vues stéréoscopique (avant-arrière). A partir de ces vues, on restitue sur terre, par une méthode automatique, le relief des zones à explorer. L'instrument prévu est une caméra numérique matricielle de résolution métrique.

L'objectif était donc d'évaluer la qualité du relief restitué en fonction des performances de la caméra.

### **II.2.3.2 Activité 91**

- Simulations d'images numériques de Mars,
- Extraction de MNT par corrélation automatique,
- Evaluation de ces MNT en les comparant à un MNT de référence.

Pour cette étude, ont été effectuées :

- la mise au point de la saisie de points homologues sur VaxStation par corrélation automatique,
- la mise au point d'une méthode pour comparer un MNT déformé, non à l'échelle et non orienté avec une référence,
- l'amélioration du corrélateur : amorçage, test de fin.

### **II.2.3.3 Prolongements envisagés**

L'étude pour le CNES est terminée, mais l'évaluation de résultats de corrélation - automatique se poursuit dans le cadre du programme de recherche sur l'interprétation automatique des photographies aériennes numérisées (cf 2.1.1).

### **II.2.3.4 Références**

[JULIEN 90] P. Julien, M.C. Perret & Ch. Wagner : *Production of digital elevation models by automatic correlation of SPOT stereoscopic pairs*, International Symposium of ISPRS Commission IV, Tsukuba, Japan - 15-18 mai 1990.

[JULIEN 90] P. Julien : *Détermination de la position du faisceau SPOT*, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - novembre 1990.

[JULIEN 91-2] B. Rougé, P. Julien, J. Berthon, M. Laporte, S. Coutin-Faye & D.J.P. Moura : *Martian digital elevation (3D) modeling*, 1<sup>st</sup> ESA Workshop on computer vision and image processing for spaceborne applications, ESTEC, Noordwijk, Pays Bas, 10-12 juin 1991.

[MOREAU] E. Moreau : *Application de la méthode multigrille de résolution de systèmes linéaires à la constitution des Modèles Numériques de Terrain*, rapport de stage, service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - août 1991

[ROUGÉ 91-3] B. Rougé, P. Julien, J. Berthon, M. Laporte, S. Coutin-Faye & D.J.P. Moura : *Martian digital elevation (3D) modeling*, 42th Congress of the International Astronautical Federation, Montreal - 5-11 octobre 1991.

[JULIEN 91] P. Julien : *Simulation d'images de Mars pour le projet VAP et évaluation des modèles numériques de terrain dérivés*, rapport au CNES, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - novembre 1991.

[JULIEN] P. Julien : *Corrélation numérique sur images SPOT*, cours du module "Géométrie des images" de l'ENSG, IGN, 1991.

[JULIEN] P. Julien : *Traitements altimétriques (modèles numériques de terrain)*, cours du DEA des *Sciences de l'Information Géographique*, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN, en cours de rédaction.

## II.3 GÉOMÉTRIE DES IMAGES-EVALUATION DE CAPTEURS

### II.3.1 Evaluation du capteur HRG (Haute Résolution Géométrique)

#### II.3.1.1 Contexte - Objectifs

Cette action concerne l'évaluation du futur capteur HRG de Spot 5. L'année 1991 a été consacrée à deux études commanditées par le CNES.

#### II.3.1.2 Activité 91

**- Evaluation de l'influence de la FTM et de la quantification du capteur dans des applications cartographiques.**

Cette étude, entreprise à la fin de l'année 1990, visait à quantifier l'influence de la FTM et de la quantification sur la qualité de l'interprétation visuelle d'images HRG à la résolution de 5m, dans le cadre de la cartographie à l'échelle du 1 : 25 000.

Cette étude a donné lieu à la publication d'un rapport en janvier 92 [JAMET 1992-1].

**- Etude de l'influence du rapport B/H sur la précision de restitution du relief.**

Cette étude a été entreprise en septembre 1991. Le dernier trimestre de l'année a été consacré à la campagne de prise de vues, à la définition de la méthodologie, et à la préparation des données utiles à l'expérience.

La campagne de prises de vues effectuée en octobre a fourni une série de clichés de fort recouvrement (80%), sur trois sites, dont deux correspondent à des zones couvertes par la base de données Topographique. Les axes de prises de vues sont orientés nord-sud de façon à réaliser une stéréoscopie avant-arrière "proche" de celle du futur capteur.

Six clichés par site ont été numérisés au pas de 1m67 au sol et doivent être ré-échantillonnés à 5m pour simuler la résolution choisie actuellement pour le capteur. Dans le même temps, on a procédé au relevé, sur les clichés, de points-terrain issus de missions photographiques antérieures.

L'étude prévoit l'exploitation de ces clichés numériques dans différentes configurations stéréoscopiques (couples constitués de clichés consécutifs, d'un cliché sur 2, d'un cliché sur 3 etc...) pour le calcul de MNT par corrélation automatique. Ces MNT seront ensuite comparés à

des MNT calculés à partir des données de la BDTopo sur les deux sites où cette référence existe; une évaluation relative sera conduite sur le troisième, pour lequel la configuration de plus fort B/H servira de référence.

### II.3.1.3 Prolongements envisagés

Cette étude devrait être achevée en avril 1992.

### II.3.1.4 Références

[JAMET 1992-1] O. Jamet : *Evaluation du Capteur HRG, Etude de l'Influence de la Quantification et de la Fonction de Transfert dans le Cadre d'Applications Cartographiques*, Rapport de fin d'étude, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN, janvier 1992.

## II.3.2 Exploitation cartographique d'images radar

### II.3.2.1 Contexte - Objectifs

Le 17 juillet 1991, le satellite européen ERS1 a été mis sur orbite et a déjà fourni quelques images radar de la surface de la terre. Par ailleurs, plusieurs missions spatiales devant embarquer des radars sont en cours de préparation pour les prochaines années. Ces différents systèmes n'auront pas tous les mêmes aptitudes pour les applications cartographiques. L'objectif de cette action de recherche était d'évaluer les potentialités du radar imageur pour les applications cartographiques au vu de travaux passés ou en cours, ou à partir de simulations. Le temps consacré à cette action de recherche n'a permis d'assurer qu'une "veille technologique", des développements rudimentaires et la diffusion des résultats.

### II.3.2.2 Activité 91

Les principaux volets de cette action ont été :

- **un bilan des possibilités de cartographie du relief à partir d'images radar** : performances, contraintes, différences et similitudes entre les trois techniques que sont la radargrammétrie (fondée sur l'information géométrique), la radarclinométrie (qui utilise l'information radiométrique) et l'interférométrie (qui calcule un déphasage entre les réponses reçues d'un même pixel; cet état de l'art a fait l'objet d'une communication dans un symposium [POLIDORI 91-4],

- **l'étude pour l'achat d'un logiciel de radargrammétrie**; le logiciel autrichien SMART sera acquis en 1992,

- **le développement d'un simulateur d'images SAR et d'interférogrammes** à partir d'un MNT, d'un modèle de trajectoire, d'un modèle de rétrodiffusion ainsi que de paramètres instrumentaux. La simulation permet d'évaluer l'effet des différents paramètres sur les différents phénomènes radiométriques et géométriques liés au relief (layover, ombre ...) et sur la possibilité d'extraire des informations sur le relief (simulation d'interférogrammes et de couples stéréoscopiques). Cet algorithme de simulation permet de simuler le "speckle" (bruit multiplicatif dû à la réflexion d'une onde cohérente sur une surface rugueuse),

### - la participation au projet GARS 2000 du CNES :

Le CNES a demandé à 8 groupes d'utilisateurs potentiels (classés par applications) d'indiquer les caractéristiques instrumentales et orbitales souhaitables pour un radar spatial. La contribution du groupe cartographie a été confiée à l'IGN, ce qui s'intégrait parfaitement à l'action de recherche ERS1.

On s'est efforcé de définir la configuration pour les applications cartographiques, à partir d'éléments bibliographiques, de travaux sur les données aéroportées (Varan-S, E-SAR et STAR-1) et de tests sur des simulations, en insistant notamment sur l'intérêt d'un angle d'incidence variable, beaucoup plus nécessaire qu'une résolution accrue.

#### II.3.2.3 Prolongements envisagés

Le prolongement 92 de cette recherche prévoit :

- le test du logiciel SMART, évaluation de la précision des résultats de restitution radargrammétrique,
- une modélisation radargrammétrique des images ERS-1, puis si possible le développement d'un algorithme de correction des déformations dues au relief sur ces images et évaluation de la précision obtenue,
- un suivi des derniers résultats obtenus en interférométrie et une étude sur les possibilités de constitution de MNT à partir d'interférogrammes (on pourra extraire un MNT lorsqu'on saura lever l'ambiguïté de  $2\pi$  au passage d'une frange à l'autre).

Cette recherche fait l'objet à partir de 1992 d'une convention de collaboration avec l'Aérospatiale (établissement de Cannes) et du suivi, conjointement avec l'EHEI et l'Aérospatiale (Magny-les-Hameaux), d'une thèse sur le sujet suivant : "Etude de la rectification géométrique d'images radar SAR - Mesure des précisions obtenues en fonction de la qualité des données et des méthodes".

#### II.3.2.4 Références

[POLIDORI 89] L. Polidori, P. Kamoun & J. Raggam : *Effects of radar image distortions in a radargrammetric application of Varan-S data*, Proc. of IGARSS'89, Vancouver - jul. 1989 - pp 2483-2486.

[POLIDORI 91-4] L. Polidori : *Digital terrain models from radar images : a review*, International Symposium on Radars and Lidars in Earth and Planetary Sciences, Cannes, sept. 1991.

## II.4 GESTION DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

### II.4.1 Expérimentations de techniques de bases de données pour les données géographiques.

#### II.4.1.1 Contexte - Objectifs

##### Contexte

L'IGN s'est doté de bases de données géographiques, d'abord dans les domaines simples où l'aspect localisation est secondaire, puis dans le domaine des cartes numériques avec des volumes prévus de plusieurs centaines de milliards d'octets. Parallèlement, on passait d'une politique de numérisation opportuniste, en réponse à une demande ou un besoin

ponctuel, à une politique volontariste et planifiée avec la volonté de répondre aux besoins du plus grand nombre d'utilisateurs.

Dans ce contexte, il importe maintenant d'assurer l'intégrité, la conservation et la diffusion de ces données. C'est le rôle des serveurs. L'un d'eux, le serveur général de données localisées, joue un rôle central.

## Objectifs de la recherche

Les techniques des Systèmes de Gestion de Base de Données (SGBD) actuelles ne permettent pas de gérer efficacement les données géographiques, ce qui est particulièrement pénalisant pour les besoins du serveur général. Les principaux problèmes rencontrés concernent la modélisation de la localisation des données et les traitements correspondants ainsi que les performances d'accès aux données et de traitement.

Les recherches de l'IGN en matière de bases de données portent sur la possibilité d'utiliser la technologie des SGBD pour gérer les BD localisées en cours de production (BDCarto, BDTopo, BDRoutière). Deux approches sont considérées et comparées :

- l'extension de la technologie actuelle qui est celle des SGBD relationnels,
- l'utilisation d'une nouvelle technologie appelée SGBD Objet.

### II.4.1.2 Activités 91

- Point sur les technologies disponibles aujourd'hui et utilisables pour le serveur général de l'IGN. Cette étude a été sous-traitée à la société INFOSYS<sup>3</sup>.

- Extension de SGBD relationnels par ajout de types abstraits de données permettant de gérer des données géographiques. Cette approche a été largement étudiée dans le cadre d'une thèse soutenue en juillet 1991 [DAVID 91]. Le prolongement de ce travail est un suivi-conseil de travaux effectués par des équipes qui développent des SGBD, en l'occurrence l'équipe Géotropics du MASI (INRIA) qui étend le SGBDR Sabrina.

- Evaluation de SGBD Objets pour la gestion des données géographiques; cet axe se décompose en trois activités :

- Sous-traitance d'une étude à la société Graphaël<sup>4</sup> qui dispose d'un SGBD Objet G-Base depuis plusieurs années :
- Etude des SGBD Objets disponibles sur le marché<sup>5</sup>,
- Etude GéO2 : achat d'un SGBD Objet nommé O2 et évaluation de ce logiciel en interne.

Seule l'étude GéO2, menée en interne en collaboration avec le Département Math & Info du CNAM Paris (Professeur SCHOLL), est ci-dessous détaillée.

#### **Définition du schéma de données :**

Le schéma des données est décomposé en deux parties : le schéma des données métriques et le schéma des données géographiques. Le schéma des données **métriques** définit un graphe topologique planaire qui porte la géométrie d'une couche. Les données chargées comportent quatre couches : le découpage administratif (*adm*), les voies de communication (*cta*), le réseau hydrographique (*hya*) et l'occupation du sol (*ocs*).

Le schéma des données **géographiques** permet de définir les entités géographiques manipulées. Contrairement au schéma des données métriques, le schéma des données géographiques n'est pas figé mais il dépend des données que l'on manipule. Le schéma des données géographiques définit quelques sur-classes qui permettent d'organiser les classes d'objets géographiques en fonction de la géométrie qui est associée aux objets.

<sup>3</sup>Le rapport est résumé dans le chapitre 3 du compte-rendu de l'action de recherche SERLO

<sup>4</sup>Le rapport est résumé dans le chapitre 4 du compte-rendu de l'action de recherche SERLO

<sup>5</sup>Divers documents sur ce sujet sont disponibles au COGIT

### **Le chargement de données à partir de lots de données FEIV<sup>6</sup>**

Une étude de performance a été faite (cf "compte-rendu d'activités pour 1991 de l'action de recherche SERLO").

#### **L'affichage graphique de ces données :**

- développement d'une bibliothèque d'affichage graphique pour pouvoir afficher des points, des lignes et des surfaces avec des attributs graphiques tels que couleur de dessin et pattern de remplissage. Les possibilités de l'interface graphique LOOK de O2 étant insuffisantes, une interface graphique en O2C au dessus des primitives de XWindow (Xlib) a été développée.

- définition d'un mécanisme de légende : celui-ci doit permettre de définir la représentation graphique d'un objet géographique à partir de sa classe et éventuellement des valeurs portées par ses attributs. Ce mécanisme a pu être défini assez facilement grâce à des méthodes définies sur les classes d'objets géographiques. Grâce à l'**héritage**, il est possible de définir une légende par défaut puis d'affiner en fonction des classes que l'on veut représenter.

#### **La définition et l'utilisation d'un index spatial dans O2 :**

Dans un premier temps, on a regroupé la plupart des structures d'index proposées dans la littérature scientifique suivant le type de données auxquelles elles sont destinées. On trouve donc des index concernant les points à une dimension ou plus puis ceux concernant les surfaces et lignes qui ont recours "au triangle englobant" minimum des objets.

On a ensuite implémenté un index spatial de type R\*-Tree. Des problèmes importants de performance à la construction de l'index ont été décelés. En conséquence, il est nécessaire d'intégrer cet index dans le SGBD afin d'avoir de meilleures performances et une transparence de la mise en oeuvre dans les requêtes.

## Evaluation générale

La modélisation orientée-objet convient bien à la modélisation de données géographiques. En particulier l'héritage multiple est souvent utilisé. Le modèle de O2 permet de modéliser correctement les données géographiques et en particulier le format FEIV. Les principaux problèmes rencontrés sont ceux du choix entre objet et valeur et ceux de la gestion des liens inverses. La conception du schéma a été difficile par manque de méthode de conception.

Globalement, l'ordre de grandeur des performances semble acceptable pour les besoins de l'IGN comme serveur général sauf sur un point précis (gestion de tableaux de valeurs de taille fixe). Le chargement de toutes les couches de la BDCarto pour une feuille au 1 : 50 000 dure approximativement 1 heure (sur une SUN 3). Il est bien sûr souhaitable d'avoir de meilleures performances mais celles-ci sont déjà raisonnables si l'on compare ce temps au temps de saisie des bases de données (BDCarto, BDTopo...). Ce temps sera réduit par le développement d'un index et le passage à une machine plus rapide.

Quelques points importants pour le serveur général de l'IGN n'ont pas encore été abordés :

#### *le regroupement spatial*

Tout stockage de gros volumes de données géographiques nécessite la mise en oeuvre d'un regroupement des données sur le critère de localisation. Ce point est délicat car les mécanismes utiles pour mettre en oeuvre une stratégie de regroupement de données ne sont pas disponibles dans O2. La seule solution est de tester s'il est possible d'utiliser le mécanisme général de regroupement de O2. Ce mécanisme n'étant pas disponible dans le  $\beta$ -test, ce point n'a pas été testé.

#### *Index spatial*

Comme présenté ci-dessus, une partie de l'étude a concerné la définition et l'utilisation d'un index spatial dans O2. Des problèmes importants de performance à la construction de l'index ont été décelés (ces problèmes sont relatés dans le rapport "compte-rendu d'activités pour 1991 de l'action de recherche SERLO"). En conséquence, il est nécessaire d'intégrer cet

index dans le SGBD afin d'avoir de meilleures performances et une transparence de la mise en oeuvre dans les requêtes.

## Conclusion

Pour la gestion de données géographiques, le modèle orienté-objet apporte beaucoup par rapport au modèle relationnel, en particulier dans la facilité de définition de structures de données complexes et dans l'utilisation de l'héritage. Toutefois, un certain nombre de problèmes de modélisation et de conception ont été soulignés.

Du point de vue fonctionnalités et performances, le SGBD O2 semble pour le moment globalement satisfaisant pour les besoins du serveur général à quelques restrictions près.

### II.4.1.3 Prolongements envisagés

L'approche objet étant particulièrement intéressante pour la gestion de données géographiques, l'étude doit être poursuivie principalement dans deux directions :

- possibilité d'intégration dans le SGBD de fonctionnalités spatiales telles que la gestion d'un index,
- développement d'un modèle de référence géographique pour la gestion d'informations géographiques qui permettra en particulier :
  - de tester différentes implémentations en vue de l'obtention d'un SGBD géographique performant,
  - de définir un dictionnaire de données géographiques,
  - de développer des possibilités d'interopérabilité entre SGBD géographiques et SIG,
  - d'évaluer et de proposer des mécanismes et des langages d'interrogation pour les bases de données géographiques.

Par ailleurs, un nouvel axe a vu le jour début 92 pour l'étude des problèmes de résolution et de précision géométriques dans les bases de données géographiques, avec la préparation d'une thèse au COGIT sur le sujet (bourse IGN) dirigée par le Pr SCHOLL (CNAM). Les Systèmes d'Information Géographique intégrant et comparant des données issues de sources multiples, l'objectif est de définir un moyen d'associer aux entités géographiques leur résolution et d'en tenir compte dans les traitements afin d'être capable d'améliorer la qualité des résultats et surtout de pouvoir évaluer cette qualité dans une réponse.

### II.4.1.4 Références

[DAVID 91] B. David : *Modélisation, représentation et gestion d'information géographique, une approche en relationnel étendu*, thèse de l'Université Paris 6, soutenue le 8 juillet 1991.

[DAVID] B. David : *Compte-rendu d'activités pour 1991* de l'action de recherche *SERLO*, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN.

Rapports d'études des sociétés INFOSYS et GRAPHAEEL, documents internes, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - septembre 1991.

Rapports de stages: - P. DEMAY : mémoire CNAM  
- J. H. YAPI : mémoire de DEA  
- L. RAYNAL : rapport de stage ENSG  
(documents internes, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - septembre 1991).

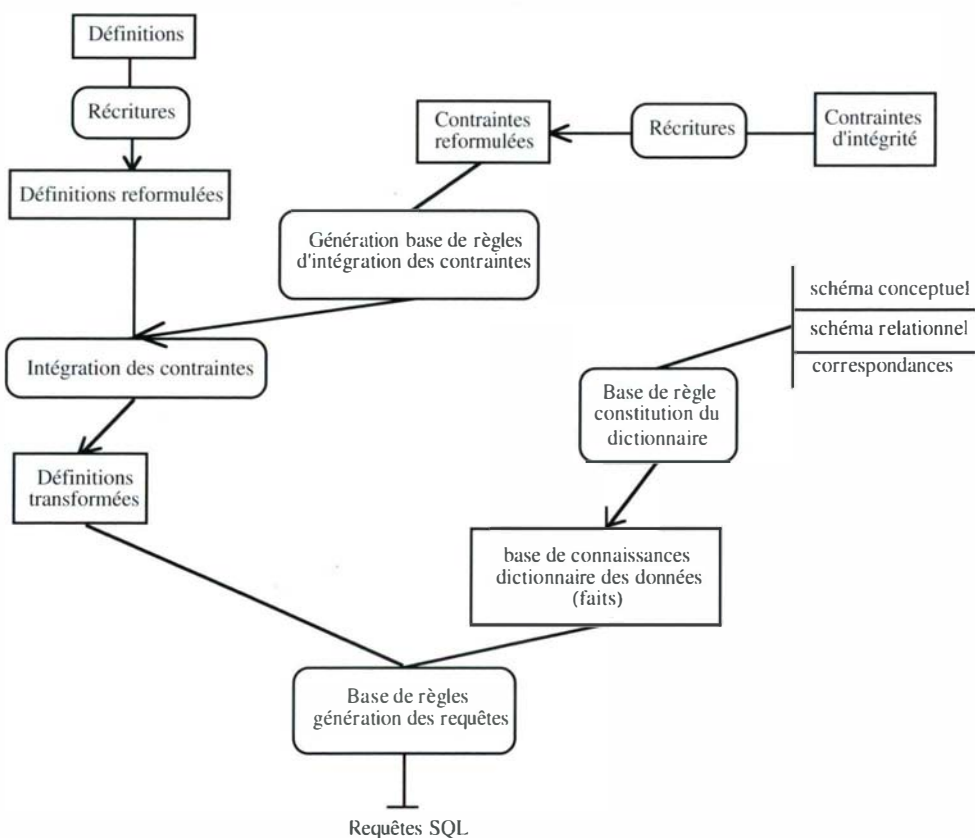
## II.4.2 Réalisation d'une interface "intelligente" pour les bases de données relationnelles

### II.4.2.1 Contexte - Objectifs

L'objectif est de pouvoir formuler des requêtes dans un langage de haut niveau et en fonction d'un schéma conceptuel de la base de données, le système se chargeant de les traduire en SQL standard. Le modèle conceptuel utilisé est un modèle entité-association étendu. Le but du système est donc de trouver une requête SQL équivalente à la requête conceptuelle proposée, compte tenu des schémas de données (relationnel et EA) et de leurs correspondances, et si possible une requête performante. Il est écrit sous forme de bases de règles (moteur GENESIA II d'EDF).

### II.4.2.2 Activité 91

Schéma de fonctionnement du système :



- amélioration de la base de règles de constitution de la base de connaissances dictionnaire des données,
- amélioration de la base de règles de manipulation/récriture des définitions d'ensembles,
- refonte de la base de génération des requêtes.

Ce travail est une collaboration avec le département IA EDF, et donne lieu à une thèse, dont la soutenance doit avoir lieu début 1992.

### II.4.2.3 Références

[LAGRANGE 89-1] B. Ginoux & J. Ph Lagrange : *Synthesis of Simple Programs which access Complex Data*, IJCAI Workshop on Automating Software Design, Detroit - Août 1989.



[LAGRANGE 89-2] B. Ginoux & J. Ph Lagrange : *An Expert System Approach to Software Engineering*, AAAI Spring Symposium Series, Stanford University - Mars 1989.

[LAGRANGE 90] J. Ph Lagrange : *A Knowledge-based System and an ER Query Language for Accessing Relational Databases*, 9<sup>th</sup> International Conference on Entity, Relationship Approach, Lausanne - Oct. 1990 - Edité par H. Kangassalo, North Holland, 1991.

[LAGRANGE] J. Ph Lagrange : *Modèle Entité-Association étendu et « modèles objets*, notes de travail, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - Mars 1991. (Présentation des modèles ER étendu utilisés et orienté-objet et comparaison de ces modèles).

## II.5 GÉNÉRALISATION CARTOGRAPHIQUE.

### II.5.1 Généralisation de cartes (ou bases de données)

#### II.5.1.1 Contexte - Objectifs :

L'objectif de cet axe de recherche est l'automatisation de la rédaction des cartes à partir des bases de données de l'IGN. Il s'agit en l'occurrence d'assister un opérateur dans les tâches de "généralisation"<sup>7</sup>.

#### II.5.1.2 Activité 91 :

Les travaux sur ce sujet ont débuté courant 91 avec le développement de logiciels de visualisation de données issues du format FEIV de l'IGN. Ils ont ensuite porté sur des opérateurs de caricature de tronçons routiers en "épingles à cheveux", avec la réalisation d'une décomposition des courbes en arcs de clothoïdes (approximées par des cubiques), décomposition tenant compte de la précision des données au départ. Cette décomposition fournit des paramètres de caractérisation d'un tronçon : points d'inflexion, sommets (articulations des clothoïdes), valeurs des tangentes aux points d'inflexion. Il s'agit maintenant de définir des règles de généralisation (choix des virages importants ou des groupes de virages serrés et nouvelle représentation à donner) en fonction de ces paramètres en s'aidant de l'observation de "généralisations manuelles". Les outils nécessaires à cette observation ont été développés (visualisation simultanée de données de départ, leur modélisation, la bande de précision, le signe conventionnel et des données issues d'échelles différentes.

#### II.5.1.3 Prolongements envisagés :

Cette recherche étant majeure pour la représentation cartographique des données contenues dans les SIG, une équipe a été créée sur ce sujet fin 91 - début 92. Elle a commencé à réfléchir à un programme de recherche pour les mois qui viennent, en collaboration avec le professeur J.C. MÜLLER de l'ITC (Pays Bas).

#### II.5.1.4 Références

[AFFHOLDER] J.G. Affholder : *Généralisation cartographique : travaux réalisés en 1991*, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN.

---

<sup>7</sup>Tout ce qui a trait à la synthétisation de l'information contenue dans une carte, en particulier pour obtenir une carte à partir d'une autre carte (ou de données saisies sur une carte) à plus grande échelle.

[DESTIVAL 91] I. Destival : *The objectives of IGN's research on generalization*, papier présenté à la session de travail sur la généralisation du Colloque de l'ACI, Bournemouth - septembre 1991.

[MULLER] J. C. Müller : *Synthèse des réunions de travail sur la généralisation*, en collaboration avec le COGIT, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN.

## II.5.2 Généralisation automatique de cartes d'occupation du sol.

### II.5.2.1 Contexte - Objectifs :

Il s'agit d'étudier une approche possible de généralisation d'occupation du sol dans un contexte de type BDCarto.

Une des applications initialement visée aurait pu être de permettre l'utilisation pour la BD carto, des photo-interprétations réalisées dans le cadre de CORINE land-cover (programme européen d'inventaire d'occupation du sol). Une autre application serait de vérifier/corriger l'état de la saisie initiale BDCarto occupation du sol, par rapport aux spécifications (élimination d'éventuels détails surabondants).

La généralisation est abordée ici du seul point de vue de l'occupation du sol : les contraintes provenant d'autres couches (routes, rivières...) ne sont pas prises en compte, mais pourraient l'être sans modification notable.

Le test a été conduit sur une feuille au 1 : 50 000 des données CORINE land-cover.

### II.5.2.2 Activité 91.

#### Approche méthodologique.

On cherche à gérer les opérations de généralisation suivantes : fusion, suppression, généralisation sémantique, caricature des formes.

#### *Représentation des données :*

La carte est représentée sous une structure de graphe planaire, référencée sur sa base de cycles.

La légende est représentée sous la forme d'arbre hiérarchique; on utilise l'ultramétrie associée dans les calculs de coûts.

La *contrainte sur le résultat* final est donnée sous deux formes :

- deux conditions strictes de résultats :
  - surface minimale des zones conservées,
  - distance minimale entre arcs (intra ou inter objets).
- une condition d'optimalité.

Cette condition d'optimalité est définie par une fonction de coût qui prend en compte le coût d'une transition thématique et le bénéfice d'une simplification des formes.

Toutes les opérations possibles sont évaluées avec cette même fonction qui prend selon les cas des expressions différentes, mais forme une "mesure".

Soit un ensemble connexe de zones de surface  $S_i$ , de thème  $t_i$ , de longueur de frontière  $L_i$ , de longueur de frontière  $l_{ij}$  entre la zone  $i$  et la zone  $j$ , que l'on amène toutes au thème  $T$ . Le coût total de cette opération est modélisé par :

$$C = \sum_{i=1}^n S_i (N(t_i) - N(t_i, T)) + \left( a \cdot \frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{L_i} \right) (N(T) - N(t_i, T))$$

$(N(t_i))$  est le niveau hiérarchique du thème  $i$  et  $N(t_i, T)$  est le niveau hiérarchique du plus proche parent commun à  $t_i$  et  $T$ .

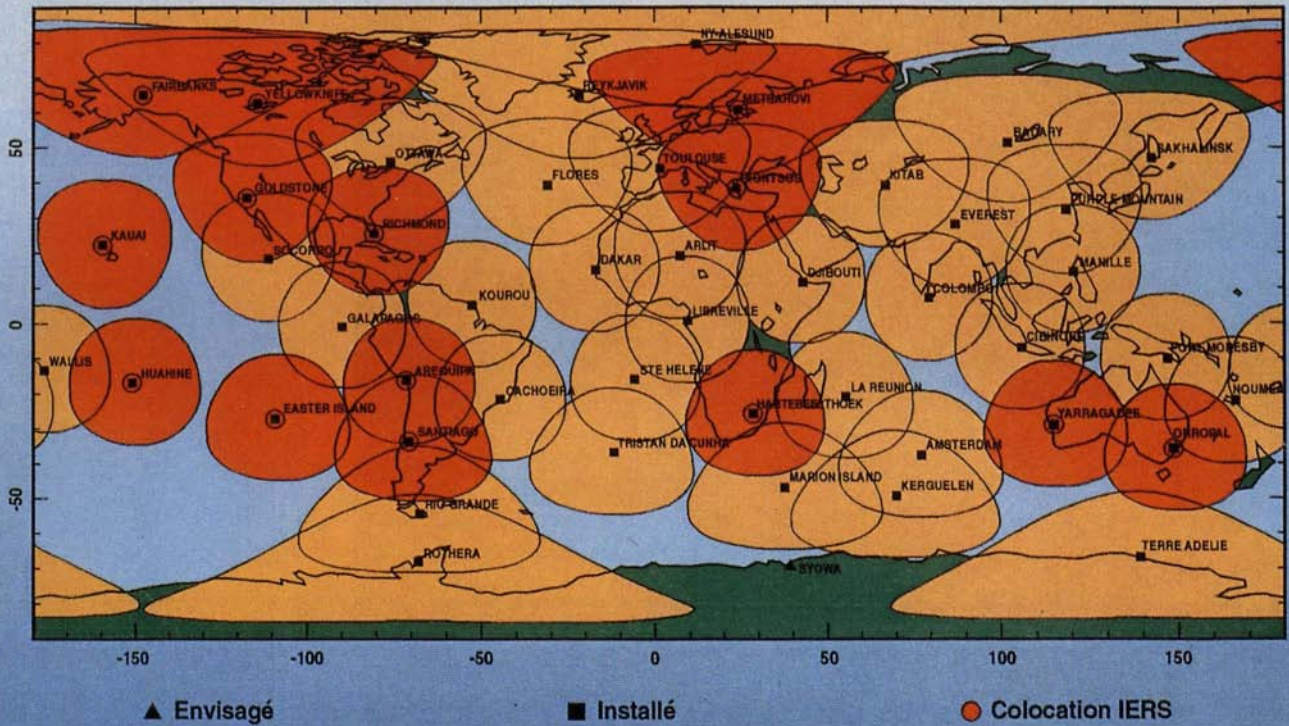
# Couverture du réseau d'orbitographie Doris - SPOT 2

Sites Doris

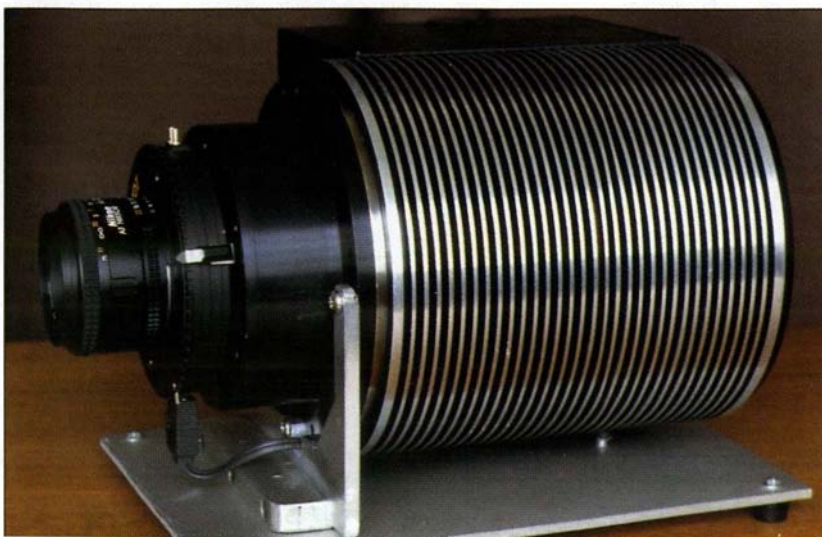
Élev. = 12 deg.

Alt. = 832 km

Edition : 1/10/1992



**Station de Grasse**  
Télémetre laser  
et balise DORIS  
en colocation



**Prototype de caméra numérique**  
matricielle (4000 x 4000 pixels)  
destinée à la prise de vues  
aériennes



### Contenu de la BD Topo

Tracé d'objets de la base de données topographique en superposition à une photographie aérienne (échelle 1 : 20 000), numérisée au pas de 20 microns.



### Segmentation Automatique :

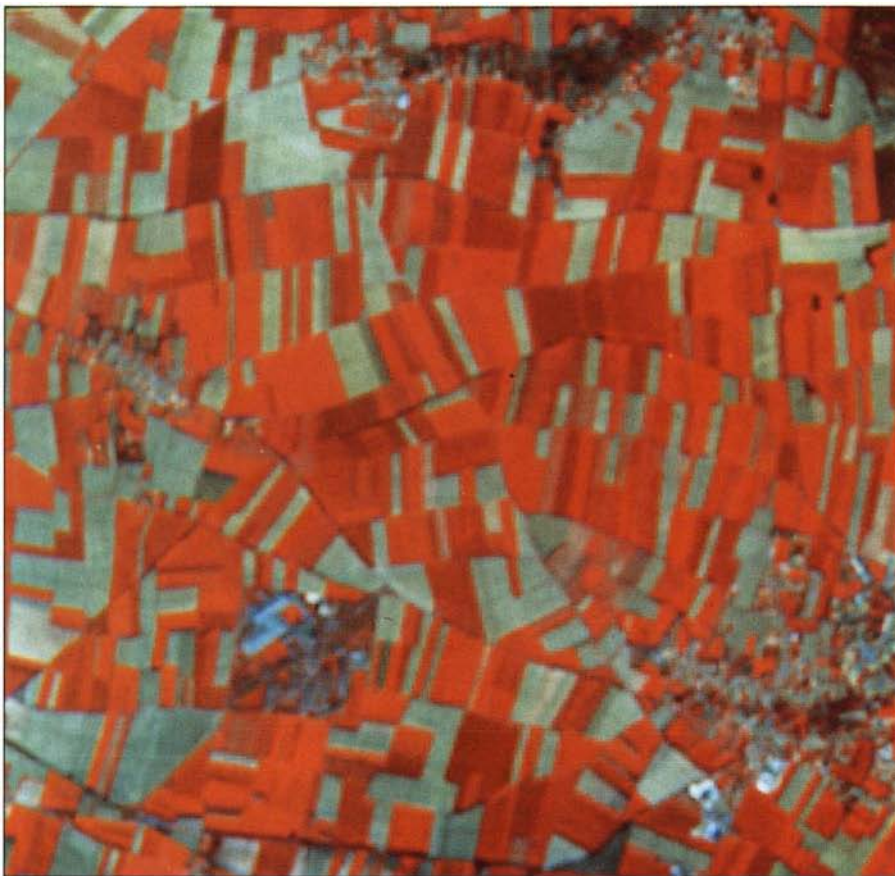
Les routes sont visibles sur des simples critères de forme (allongement et parallélisme des bords).

### Segmentation Automatique :

#### Superposition du résultat sur l'image

(Algorithme par recherche des bassins-versants d'un gradient calculé sur l'image, puis filtrage des frontières sur un critère d'homogénéité des intérieurs).

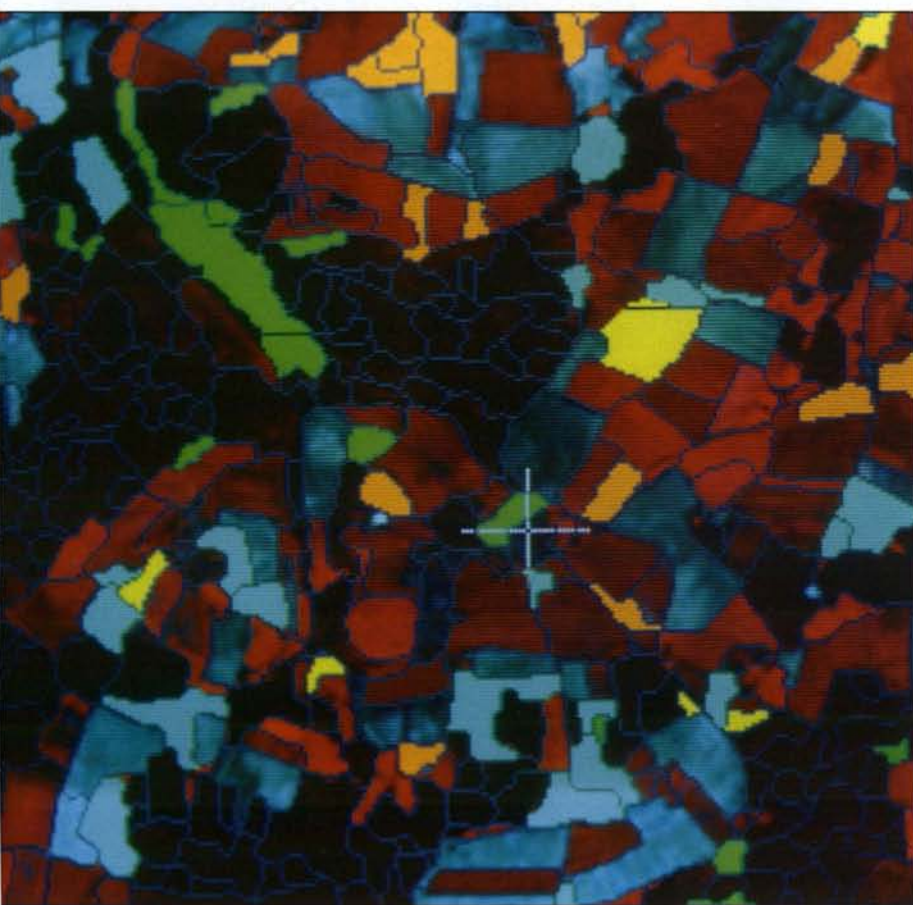
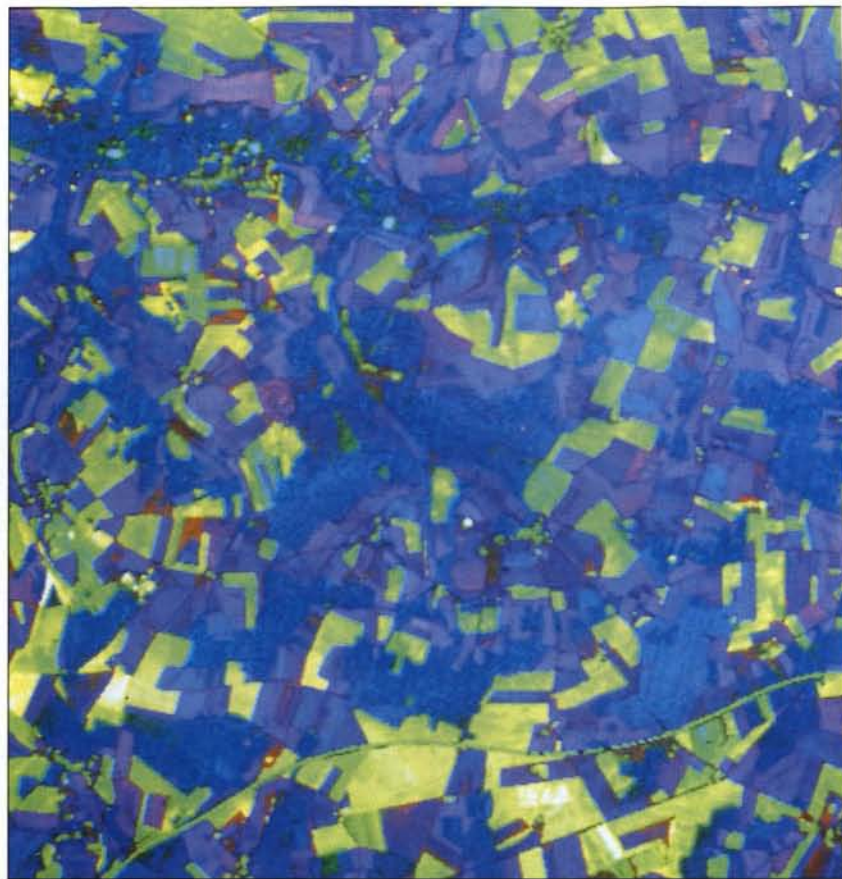
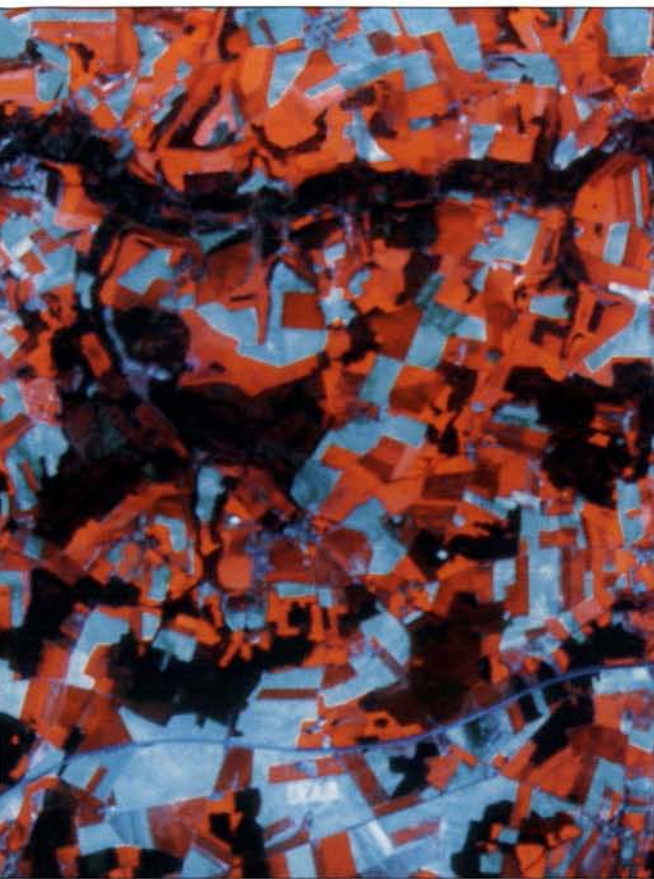
# RECHERCHE SUR L'EXTRACTION AUTOMATIQUE DU RÉSEAU ROUTIER SUR PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES



**Image SPOT utilisée**  
(Oléron, SPOT XS, résolution 20 m ;  
dimension de la zone : 10 x 10 km)



**Résultat de l'extraction automatique de segments sur un extrait de l'image**  
A gauche : Traitement de morphologie mathématique en niveaux de gris, puis seuillage par hystérésis.  
A droite : Réseau routier contenu dans la BD Carto (base de données IGN) sur le même extrait.

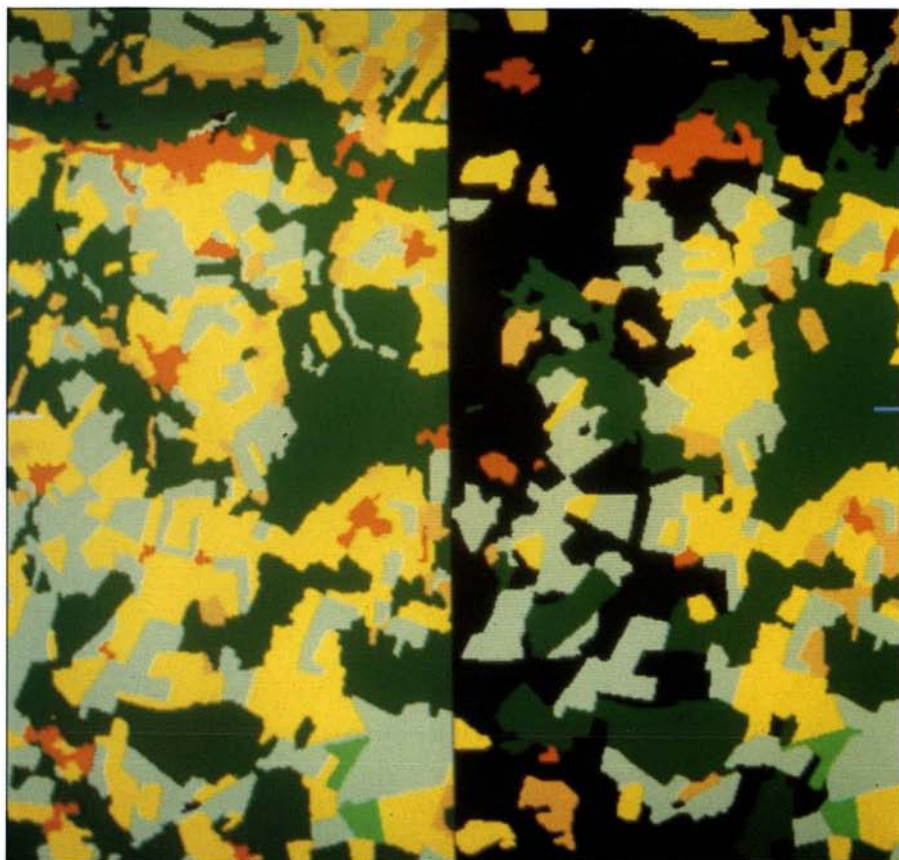


En haut à gauche  
**Image de travail :**  
SPOT XS résolution 20 m.  
(région de Château-Thierry)

En haut à droite  
**Transformation ITS**  
de l'image (Intensité-teinte-saturation)  
zone 10 x 10 km

**Apprentissage sur les zones d'entraînement**  
après segmentation automatique (contours en  
gris) de l'image.

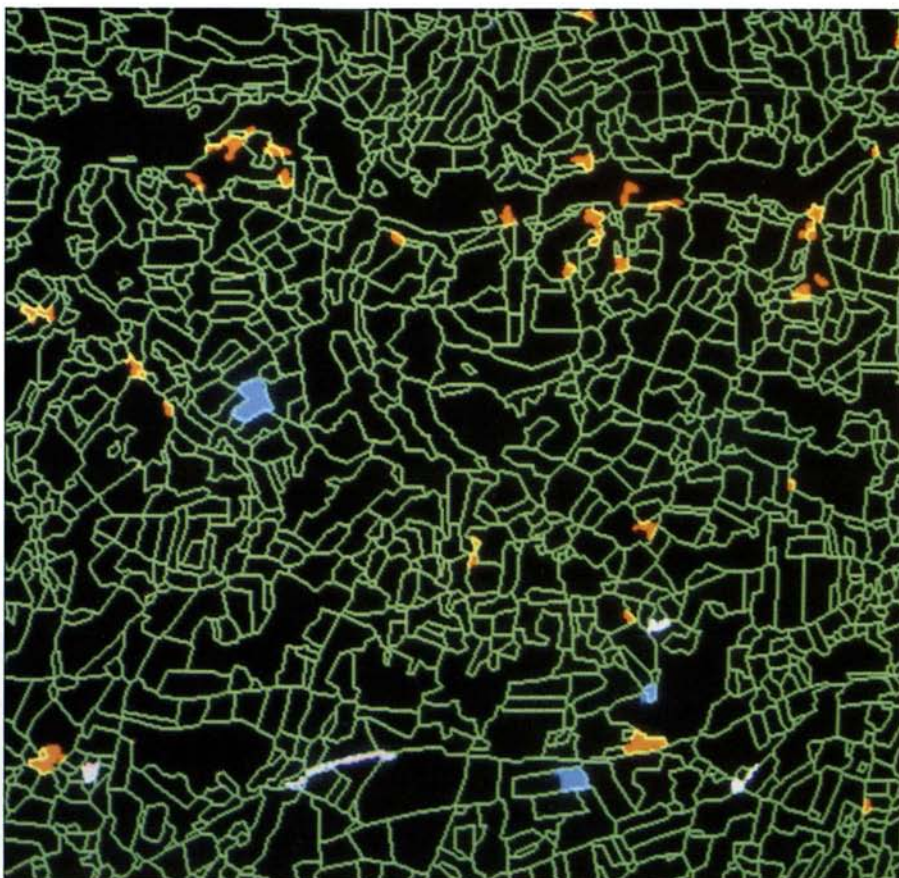
**PROCESSUS AUTOMATIQUE D'INTERPRÉTATION**



#### Résultat de l'interprétation

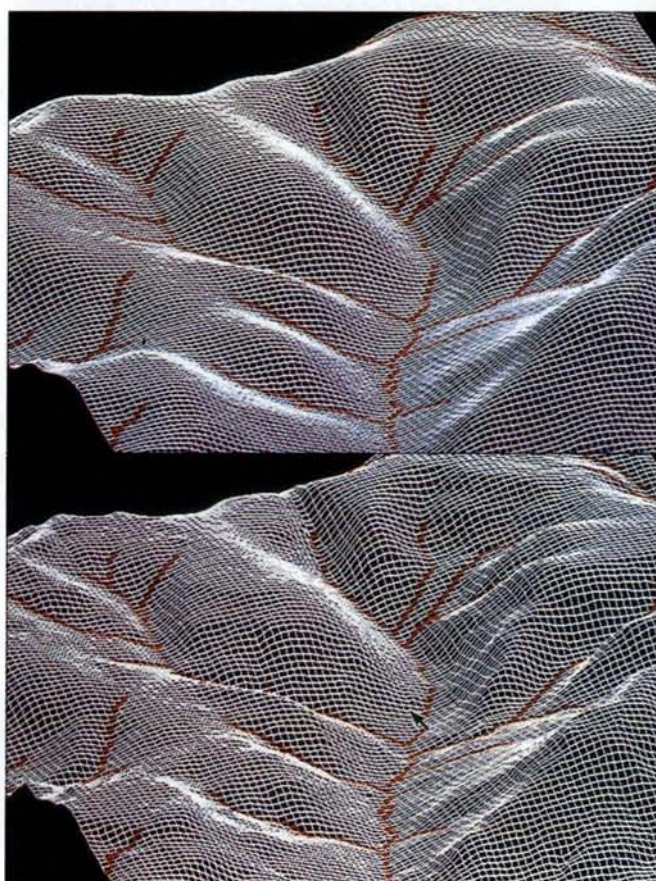
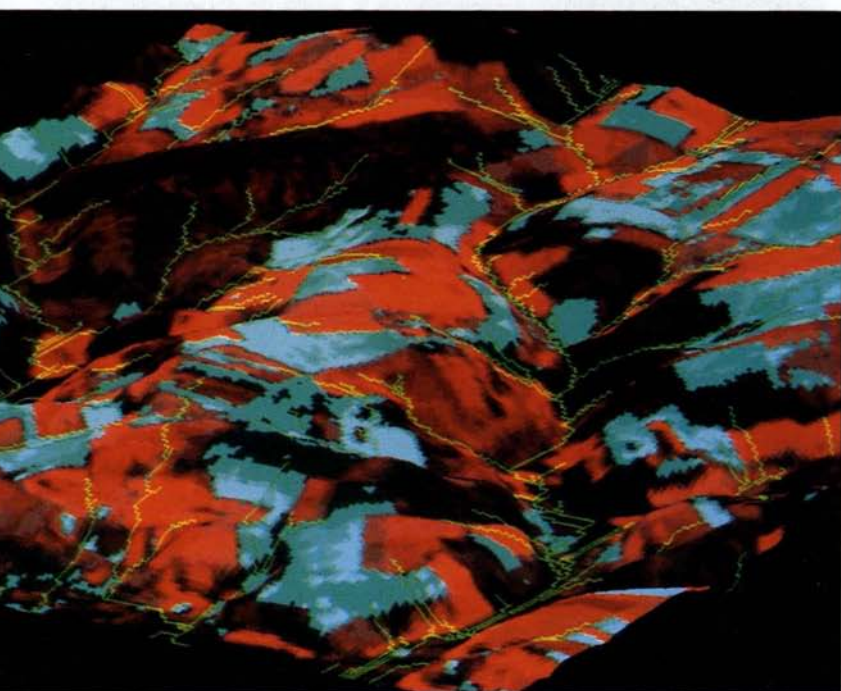
A gauche : Classification automatique des parcelles segmentées dans un espace de paramètres comprenant des critères radiométriques, des critères de forme, et des critères exogènes (altitude, pente max, passage de route)

A droite : Carte de référence réalisée par interprétation visuelle de l'image SPOT et contrôle des classes par enquête terrain.



#### Evaluation de la qualité de classement

La mesure de l'erreur est effectuée par mise en correspondance des parcelles de la segmentation automatique avec les parcelles de la référence. On peut ainsi séparer la composante géométrique de l'erreur, de ses composantes sémantiques (erreur d'attribut sur une parcelle correctement délimitée) et d'exhaustivité (rajout ou omission de parcelle). L'illustration donne un exemple de visualisation des erreurs sémantiques (en teintes de bleu) et des erreurs d'exhaustivité (en rouge).



En haut à gauche  
Images SPOT XS, résolution 20 m,  
zone 10 x 10 km (Grenoble)

En haut à droite  
Résultat de **Calibration**.

#### **Calibration absolue du capteur SPOT**

Les réflectances acquises par le satellite sont fonction de la réflectance du sol, de l'incidence d'éclairement et de la diffusion atmosphérique, et font donc apparaître sur l'image des zones d'ombre fonction de la pente du terrain. La correction est calculée sur un modèle atmosphérique simple à un seul paramètre, ajusté canal par canal sur le seul critère visuel d'élimination des ombres.

#### **Extraction des fonds de vallée (1992)**

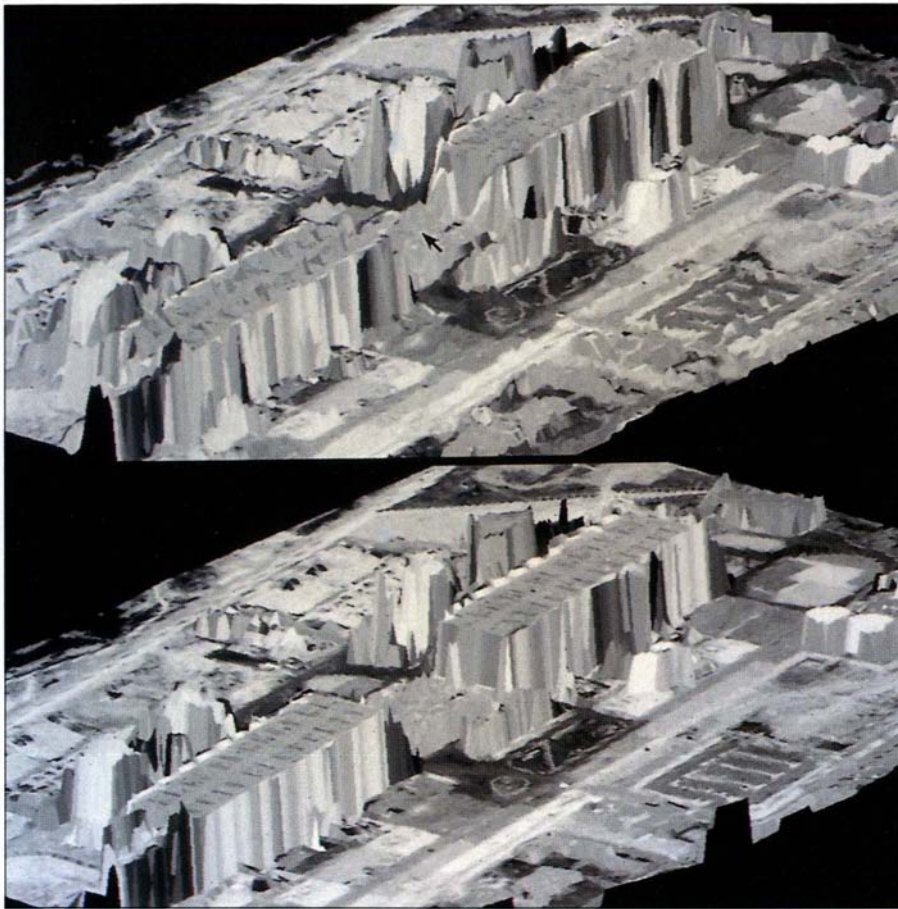
On utilise un modèle d'écoulement sur un MNT (affichage en superposition d'une image SPOT-XS vue en perspective sur le MNT utilisé pour le calcul).

#### **Généralisation du relief (1992)**

Lissage d'un MNT, préservant les fonds de vallée (en rouge) et les lignes de crête extraites automatiquement sur le MNT.

(en bas : MNT initial ; en haut MNT lissé)

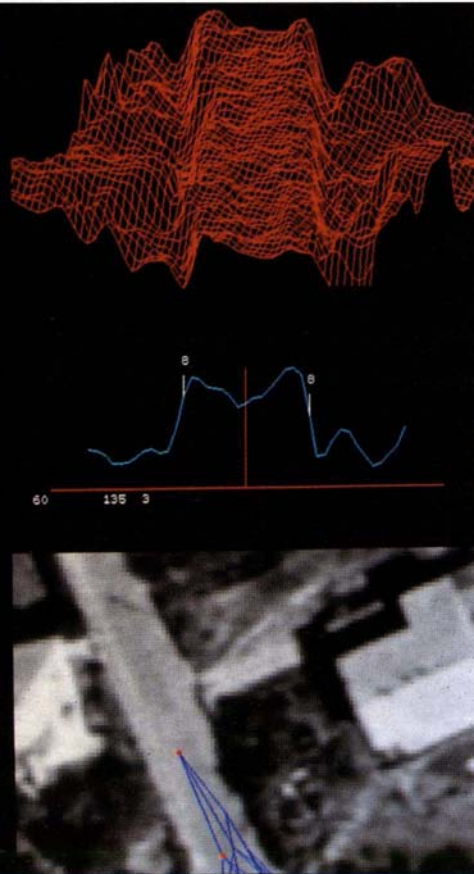




### Première étape de la reconstruction de la géométrie 3D du bâti (1992)

En haut : restitution sans traitement spécifique (Relief obtenu sur les bâtiments d'une centrale EDF par corrélation automatique, sur un couple de résolution métrique).

En bas : lissage du bâtiment par un modèle de faces planes (lissage spécifique réalisé par interpolation plane de faces définies sur l'image par segmentation automatique).

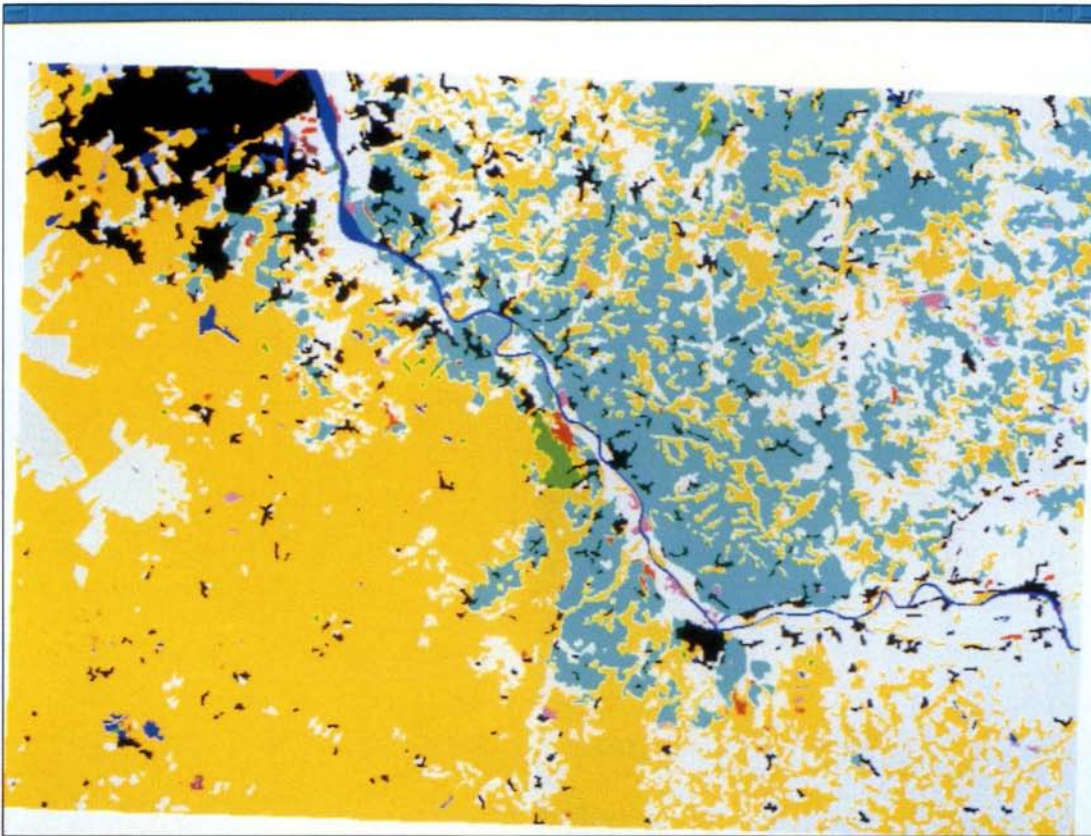


Pointer une route --> bouton gauche

### Logiciel d'étude des procédures d'aide à la saisie du réseau routier (1992)

Une extraction automatique du réseau est effectuée à partir d'un point désigné interactivement. Elle procède par propagation, en suivant l'axe routier désigné sur des critères d'homogénéité directionnelle locale de l'image et de courbure. La position du point courant est, à chaque étape recentrée par examen du profil radiométrique de la route. L'affichage de l'arbre de recherche (en bleu), et de la direction de propagation sélectionnée (nœuds en rouge) permet un contrôle du processus et un diagnostic des causes d'erreur.

Affichage de l'occupation du sol  
de la BD Carto  
stockée dans le système GéO2



**Placement automatique des toponymes.**  
Étude de placement des noms de communes  
issus de la BD Carto.

L'optimisation a lieu sur l'ensemble des configurations possibles, ce qui est un peu combinatoire. L'utilisation de quelques propriétés de la fonction de coût et de la structure de graphe permet de réduire cette combinatoire jusqu'à obtenir un temps de calcul raisonnable (quelques heures).

Les opérations de fusion et généralisation sémantique sont réalisées sur la structure de graphe. Les opérations de destruction décidées sont ensuite réalisées sous une représentation maillée.

Le respect des contraintes géométriques (distance entre arcs) est ensuite imposé sur la structure de graphe après un nouveau passage maillé-->graphe. On ne rencontre pas de problèmes majeurs d'incompatibilité (ou de propagation) à ce niveau, dans la mesure où la surface minimale exigée est compatible avec l'exigence de non-proximité entre arcs. Les problèmes peuvent alors être réglés localement sans grande difficulté par simple suppression de points intermédiaires.

## Résultats

On a effectué le passage du fichier Corine au 1 : 200 000.

Le résultat paraît satisfaisant aux yeux des cartographes auxquels il a été montré.

### II.5.2.3 Prolongements envisagés

Le cas du fichier Corine est un cas trop difficile pour juger réellement de la pertinence de la généralisation (i.e. cette généralisation est pratiquement irréalisable à la main, compte tenu de l'extrême complexité de la légende). Il conviendrait donc de refaire des tests dans des cas plus simples et plus courants (BDCarto au 1 : 250 000 par exemple).

Il faut aussi juger de l'effet pour des facteurs de généralisation plus forts : l'aspect combinatoire augmente avec l'importance de la réduction d'échelle.

Les points qui restent à étudier concernent la caricature des formes et l'importation de contraintes extérieures (limites partagées avec le réseau routier par exemple).

Cette étude a été conduite de novembre 90 à janvier 91. Elle est suspendue, faute de temps, depuis.

### II.5.2.4 Références

[LE MEN] H. Le Men : *Généralisation automatique de cartes d'occupation du sol*, rapport intermédiaire, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN.

# III. ACTIVITÉS DU LOEMI

*par Christian THOM*

## III.1 CORRÉLATION AUTOMATIQUE À PARTIR DE POINTS DE VUE MULTIPLES (EN NOMBRE SUPÉRIEUR A 2)

### III.1.1 Contexte et objectifs

La corrélation automatique (extraction automatique de l'information tridimensionnelle d'un couple d'images stéréoscopique) semble devoir être un outil important pour l'aide à la restitution automatique. Une partie de ses limitations (mauvaise résolution planimétrique des MNT obtenus, fausses corrélations) semble pouvoir être circonvenue par l'adjonction d'un troisième point de vue.

Les buts visés pour la production sont les suivants :

- Augmentation de la qualité des orthophotos en milieu urbain,
- Production automatique de MNT en terrain difficile.

### III.1.2 Activité 1991

Deux triplets d'images ont été utilisés pour mettre au point les algorithmes, l'un sur Djibouti, profitant d'images déjà numérisées pour l'étude du VAP du CNES, et l'autre sur Le Havre en collaboration avec le SPS.

La conclusion provisoire et sommaire de ces études est que la tri-corrélation fonctionne comme prévu, que la fiabilité semble effectivement meilleure que dans le cas de la stéréo. Toutefois des problèmes spécifiques demeurent à résoudre.

### III.1.3 Démarche prévue pour 1992. Points clés et calendrier

Continuation de la collaboration avec SPS Orthophoto, pour comparaison de différents processus de production des orthophotos.

Rédaction des conclusions de la recherche.

Adaptation aux caméra CCD pour photogrammétrie industrielle en temps réel.

## III.2 RÉALISATION D'UN PROTOTYPE DE CAMÉRA AÉRIENNE NUMÉRIQUE

### III.2.1 Objectifs

Réalisation d'une caméra numérique aéroportée pour les prises de vues aériennes destinées à la photogrammétrie.

Les principaux buts visés sont les suivants :

- définir les caractéristiques optimales d'une caméra numérique aéroportée,
- contrôler la qualité des images obtenues,
- étudier la possibilité offerte par les capteurs CCD d'étendre les conditions de prise de vues.

### III.2.2 Travaux réalisés en 91

Les travaux réalisés en 91 ont été en partie l'objet du stage de Patrick MOUSNIER-LOMPRÉ : définition du cahier des charges de la caméra, du calculateur embarqué, test de la caméra 1000 x 1000 obtenue en prêt, recherche d'un chargé de recherche contractuel.

La situation fin 91 est la suivante :

- la caméra, dotée d'un capteur de 4096 x 4096 pixels, est en cours de fabrication. La livraison devrait avoir lieu en tout début d'année 92.
- le calculateur embarqué destiné au pilotage de l'ensemble de l'appareillage a été livré fin décembre 91, sa recette technique étant actuellement en cours.

### III.2.3 Démarche prévue pour 1992. Points-clés et calendrier

- |                     |  |
|---------------------|--|
| - 1er trimestre 92  | Recette du calculateur embarqué.<br>Réception de la caméra et intégration dans le système embarqué.<br>Recette de la caméra. |
| - 2ème trimestre 92 | Tests en labo.   |
| - 3ème trimestre 92 | Tests en vol.<br>Expertise des images.   |

### III.2.4 Publications

Rapport de stage de P. MOUSNIER-LOMPRÉ.

## III.3 PARTICIPATION À LA RÉALISATION DE L'OPTION INTERFÉROMÉTRIE DU "VERY LARGE TELESCOPE"

### III.3.1 Objectifs

La réalisation d'un interféromètre optique pose des problèmes de métrologie très intéressants : notamment la mesure des bras de l'interféromètre à quelques dizaines de microns en temps réel, ainsi que la mesure de la position en trois dimensions du miroir secondaire avec le même type de précision.

D'autres aspects technologiques sont aussi intéressants qui concernent les capteurs employés et les algorithmes de traitement des données.

La définition du VLT est terminée mais celle de son option interférométrique est encore floue sur certains points, notamment en ce qui concerne la métrologie et les capteurs d'images.

### III.3.2 Travaux réalisés en 91

Le côté métrologie est resté en suspens. Nous nous contentons de surveiller ce qui se passe dans ce domaine.

Côté capteur, une caméra à comptage de photons (caméra **CP40**) a été mise au point avec un laboratoire de Meudon. Cette année, une nouvelle version de l'électronique et de l'informatique a été réalisée. La partie bas niveau de l'acquisition, principalement toute la partie temps réel a été écrite. La caméra nouvelle version a été ensuite mise à disposition du grand

interféromètre de l'Observatoire du Calern (OCA), le GI2T où 4 GigaOctets de données ont été acquises principalement sur l'étoile à enveloppe  $\gamma$  Cassiopée.

La caméra a été utilisée pour réaliser une opération de déconvolution, où l'on utilise un analyseur de surface d'onde pour évaluer les perturbations dues à l'atmosphère (phénomène qui limite la résolution des télescopes au sol à environ une seconde d'arc) et les corriger a posteriori. Pour permettre de synchroniser la voie acquisition d'images et la voie analyse de surface d'onde enregistrée sur magnétoscope, un numéroteur d'images vidéo a été réalisé à l'IGN l'année précédente. Il a donc été mis en service cette année. Le traitement des données est en cours.

La caméra a aussi été utilisée pour plusieurs missions d'observation au Pic du Midi, au télescope de 6 m de Zelenchouk (ex URSS), et au télescope franco-canadien de Hawai (CFHT).

Côté algorithmes de traitement, le laboratoire a joué le rôle de conseil pour la correction de la distorsion sur la caméra, et participé à la réalisation des logiciels pour la déconvolution.

### III.3.3 Démarche prévue pour 1992. Points clés et calendrier

On poursuivra les développements cités plus haut et le perfectionnement de la caméra CP40.

### III.3.4 Publications

M. TALLON, E. THIEBAULT, R. FOY, A. BLAZIT, D. BONNEAU, B. DE BATZ, G. LELIEVRE, J. Ch. DAINTY, V. MICHAU, Ch. THOM & G. ARTZNER : *Speckle Imaging and Wawefront Sensing at the GHRIL*, Quarterly Journal of Royal Astron. Soc., 1991, sous presse.

## III.4 STATION LASER ULTRA MOBILE

### III.4.1 Contexte et objectifs

Le projet est réalisé conjointement par l'IGN, le CNES et le CERGA (Observatoire de la Côte d'Azur).

Les objectifs scientifiques sont triples :

- Participer au réseau mondial de poursuite laser des satellites géodésiques (Lageos, Starlette etc...) avec une mobilité élevée lui permettant d'améliorer la couverture mondiale de stations au sol de manière aisée et ponctuelle. La couverture actuelle est en effet très fortement anisotrope et dissymétrique, et c'est la seule manière envisageable de l'améliorer de manière significative. Cette poursuite, qui permet d'obtenir une excellente trajectographie, est une source essentielle de données pour connaître le champ de pesanteur terrestre,

- Permettre la calibration en vol de satellites équipés d'un altimètre radar (océanographie, connaissance du géoïde) : ceci implique de pouvoir se mettre en station sur des sites mal accessibles, en particulier sur des îles disposant de côtes basses, emplacements très proches de la mer, et situés à proximité de la trace au sol du satellite,

- Mesurer la position de points de repères absolus dans le référentiel mondial, permettant la mesure de très grands réseaux géodésiques, soit pour permettre l'établissement de nouveaux systèmes de coordonnées, soit pour en raccorder d'autres déjà existants, soit pour accéder à la mesure des déformations de vastes provinces tectoniques.

### III.4.2 Activité 91. Etat d'avancement

Toujours par rapport aux prévisions, les spécifications n'ont pas significativement évolué, si ce n'est le fait que plusieurs des colis constitués par les sous-ensembles emballés sont relativement lourds, alors que nous ne souhaitons initialement pas dépasser 25 kg. Le

nombre de colis s'établit à 10, avec un poids total de l'ordre de 340 kg, et une maniabilité tout de même conforme aux hypothèses de départ. La consommation électrique globale par contre a plutôt diminué. Le côté positif de la solution retenue réside dans le fait que tout fonctionnera avec tous les containers fermés, et donc sans doute peu de problèmes de poussière ou d'environnement. Les containers dans lesquels une puissance électrique notable est consommée sont en effet réfrigérés, ce qui permet ce type de fonctionnement, au détriment du poids toutefois.

### III.4.3 Prolongements envisagés

La quasi-totalité des dépassements de prévisions est liée aux difficultés rencontrées pour concevoir les divers sous-ensembles mécaniques liés au télescope. Pour autant, le projet ne semble pas compromis, mais il faut tout de même encore trouver à financer près de 7 % du budget total. Une partie pourra sans doute être trouvée à l'IGN, en particulier en réalisation de pièces mécaniques dans les ateliers de Saint-Mandé.

Il faudra en outre prévoir à brève échéance la création du Comité scientifique permettant de prévoir les programmes d'utilisation de cet équipement, en particulier après la phase de suivi de Topex-Poseïdon. Jusqu'ici, l'échéance pouvait paraître lointaine, mais aujourd'hui elle devient relativement proche (quelques mois) et une démarche concertée entre le CNES, l'INSU et l'IGN semble souhaitable.

### III.4.4 Publications

[PIERRON, KASSER] F. Pierron & M. Kasser : *Nouveaux projets de la station de télémétrie laser de haute mobilité*, Colloque sur la mission du satellite Topex Poseïdon, Centre Spatial de Toulouse, CNES 1988.

[PIERRON, KASSER] F. Pierron & M. Kasser : *The French highly Mobile Laser system*, Laser Workshop, Matera - octobre 1989.

[PIERRON, KASSER] F. Pierron & M. Kasser : *The French highly Mobile Laser System, Lidar and Earth Sciences*, Cannes - septembre 1991.

[PIERRON, KASSER] F. Pierron & M. Kasser : *Développement d'une station très compacte de télémétrie laser sur satellites*, ICSO'91, Conférence Internationale d'Optique Spatiale, Toulouse - septembre 1991.

[PIERRON, KASSER] F. Pierron & M. Kasser : *New developments in Ultra-Mobile SRL System*, Crustal Dynamics meetings, NASA GSFS, Washington - octobre 1991.

## III.5 MESURE DE DÉFORMATIONS DE L'ÉCORCE TERRESTRE

### III.5.1 Contexte et objectifs

#### III.5.1.1 Contexte

Partenaires extérieurs :

- INSU, en tant que soutien financier aux programmes de recherche et caution de fait sur la qualité scientifique des projets soutenus.
- Ministère des Affaires Etrangères et CEE (DG XII) : soutien financier aux opérations scientifiques bilatérales ou communes à plusieurs pays européens.
- IPG de Paris (P. TAPPONIER, J.C. RUEGG) : participation effective à certains travaux.

- Ecole Normale Supérieure (X. LE PICHON) : chef de file et responsable scientifique pour le projet CEE / Sud-Est Asiatique.
- Université de Paris (C. RANGIN, J. ANGELIER, O. SÉBRIER) : participation effective à certains travaux (Paris VII et PARIS X).
- Nombreux organismes étrangers (géophysique, volcanologie, géologie aux Philippines, en Indonésie, à Tai-Wan, Mexique, Djibouti etc...).
- SNEAP (Elf-Aquitaine) : finance un contrat de recherche sur le procédé d'aérotrilatération laser en 1991, prolongation attendue en 1992.

Il s'agit du prolongement de l'Action de Recherche "ECORC" qui a été initiée au début des années 80, dans le but de participer aux recherches menées par les différents groupes de géophysiciens et de tectoniciens français (IPG Paris, puis Paris VI et VII, Orsay, ENS...). En prenant tout d'abord comme sujets d'étude des zones où la déformation était importante, nous avons pu mettre en évidence, avec les limites des méthodes disponibles, déjà toute une classe de phénomènes alors mal connus : alors que beaucoup exploraient les conséquences de la modélisation par la Tectonique globale des déformations de l'écorce terrestre qui prévoyait des plaques rigides, nous avons montré que des frontières de plaques subissaient des déformations appréciables (Djibouti) et que la connaissance de la cinétique était essentielle pour apprécier le comportement mécanique de frontières de plaques, déjà bien cadré grâce à d'autres types de mesures géophysiques (sismologie, magnétisme). A ce stade nous avons orienté nos efforts dans deux directions : **optimisation des mesures de terrain existantes** pour avoir les meilleures capacités opérationnelles sur le terrain avec nos moyens nécessairement limités, et **recherche de méthodes nouvelles**, en général plus précises.

C'est dans ce cadre qu'il convient de rappeler les travaux sur les mesures de distances de très haute précision, savoir pratique que l'IGN n'a d'ailleurs guère employé en production; ou encore le NIPREMO, inventé pour les applications géophysiques en 1981 et en production courante au SGN en France et pour les travaux étrangers; ou encore la Station Laser Ultra Mobile, actuellement en chantier et cofinancée par le CNES, l'INSU et l'IGN.

Les orientations plus récentes ont visé à répondre à de nouvelles classes de problèmes scientifiques, plus élémentaires du reste : **la compréhension de mécanismes dans des zones complexes**. Dans ce cadre, nous avons étudié plusieurs zones d'intérêt primordial et où nous étions bien introduits, en nouant une collaboration très poussée avec des scientifiques locaux. Citons le Golfe de Californie, la zone de Jalisco (Mexique), les Philippines, Sumatra (Indonésie), l'isthme de Corinthe (Grèce).

Ces programmes ont été largement cofinancés par l'INSU et de nombreux organismes des pays concernés, ainsi que par le Ministère des affaires étrangères, de sorte que la quasi totalité des missions et voyages n'a pas été à la charge de l'IGN. Ils nous ont par ailleurs permis de signer ou de co-signer un nombre important de publications internationales (dites de rang A dans l'évaluation du CNRS). Cela est dû principalement à la mise en chantier de nouvelles zones d'études (où donc des publications ne seront réalisées que lors de réitérations ultérieures) et ceci grâce au travail de T. DUQUESNOY tant sur le terrain qu'après les missions.

### III.5.1.2 Objectifs

Les **objectifs scientifiques** de nos études en 1991 ont été centrés sur le Sud-Est asiatique, où il semble indispensable de procéder à des mesures directes pour contraindre les modèles tectoniques proposés sur cette jonction de plusieurs plaques.

- Les mouvements actuels des plaques confrontées sont-ils conformes aux données géologiques, et, à de telles échelles les plaques sont-elles effectivement rigides?

- Quels sont les types de mouvements dans les zones où la déformation semble absorbée majoritairement ? Ceci est indispensable pour comprendre correctement la sismogénèse dans ces zones à haut risque sismique.

Il s'agit actuellement de la région tectonique du globe qui pose le plus de problèmes de compréhension, et par ailleurs celle où les équipes françaises se sont particulièrement illustrées



(P. TAPPONIER, C. RANGIN, O. SÉBRIER ...) ce qui facilite considérablement la mise en oeuvre des indispensables collaborations avec les scientifiques locaux.

Le **volet méthodologique** des études menées concerne les travaux liés à un procédé de mesures de déformations du sol, surtout verticales, par télémétrie laser depuis un avion. Un brevet a été pris par l'IGN en 1990 concernant cette méthode et de nombreux travaux restent à effectuer.

### III.5.2 Activité 91

Les opérations menées en 1991 ont consisté en une série d'opérations préliminaires, qui devront porter leurs fruits dans 3 ou 4 années. Il s'agit de :

- Mise en place de deux réseaux de déformations mixtes (réseau en trilatération sur de petites distances, et réseau GPS sur des emprises de quelques dizaines de kilomètres) sur la faille qui traverse les Philippines du Nord au Sud, qui est responsable de nombreux séismes et dont l'activité est certaine. Nos réseaux emboîtés permettront d'apprécier la partie du mouvement qui est localisée sur la faille proprement dite, et celle qui se résout en déformations des bordures des plaques concernées. L'acquisition de ces données est essentielle pour mieux comprendre la sismogénèse dans cette région.

- Même opération en travers de la faille de Sumatra (Indonésie), en complément du réseau GPS à larges mailles installé par le groupe du JPL.

- Même opération autour du canal de Corinthe.

- Opération GPS combinée sur l'Ethiopie, le Yémen et Djibouti. Il s'agit d'une part d'une première mesure d'un réseau reliant les plaques Arabique et Afrique, à réitérer dans quelques années, afin de permettre une corrélation entre les mouvements à grande, moyenne et courte distances autour du rift d'Asal. Cette opération qui apparaissait comme nécessaire depuis de nombreuses années n'a pu être effectuée que cette année, et encore incomplètement à cause des troubles qui ont eu lieu dans la partie Nord de Djibouti. Elle doit aussi permettre une évaluation des mouvements qui ont pu se produire depuis 1954, par réitération d'une partie du réseau triangulé observé à cette époque.

- Travaux méthodologiques en collaboration avec SNEAP portant sur un nouveau procédé "d'aérotétriilatération laser" permettant la mesure depuis un avion de déformations minimales du sol. Prise de brevet en 1990, étendu dans divers pays en 1991. Cette année, a été mise sur pied une simulation complète du processus et l'écriture des logiciels permettant les calculs lorsque des données réelles seront disponibles.

### III.5.3 Publications

[BARRIER, DUQUESNOY] E. Barrier & T. Duquesnoy : *Etude sismotectonique de la partie centrale de la Faille Philippine*, publ. IGN, 115 pages - avril 1991.

[DUQUESNOY, BELLIER, SÉBRIER, KASSER] T. Duquesnoy, O. Bellier, M. Sébrier & M. Kasser : *Geodetic survey of the central and southernmost segments of the great sumatran fault*, Preliminary Report, Publ. IGN - décembre 1991.

## IV. ACTIVITÉS DU LAREG

*par Pascal WILLIS*

La décision de créer en 1991 un laboratoire de recherche en géodésie à l'IGN a été prise à la réunion du Comité de Direction du 22 juillet. Les objectifs scientifiques détaillés de ce laboratoire sont décrits dans la note de présentation à ce comité de direction (IGN/SGN n° 91.1638). Le laboratoire a été créé au 1er octobre et la majorité des chercheurs a été affectée au mois de décembre 1991.

### IV.1 SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

Les objectifs de cet important thème de recherche sont les suivants : réalisation précise du Système de Référence Terrestre par combinaison des données de géodésie spatiale les plus précises disponibles (VLBI, SLR, LLR, GPS) dans le cadre de l'IERS (publication annuelle).

La réalisation en 1991 du système de référence terrestre de l'IERS pour 1990 (ITRF90) a été effectuée à partir de:

- 4 jeux de coordonnées VLBI (Interférométrie à très longue base),
- 2 jeux de coordonnées LLR (Téléométrie laser lune),
- 7 jeux de coordonnées SLR (Téléométrie laser satellite).

Ces résultats sont publiés dans les Notes Techniques de l'IERS.

Deux nouveaux aspects ont été étudiés pour l'IERS en 1991 :

- comparaison entre les champs de vitesses des stations déterminés par cette combinaison de résultats de techniques de géodésie spatiale et des champs de vitesses provenant de modèles géophysiques et géologiques,
- estimation d'un champ de vitesses à partir de la combinaison même de ces mesures spatiales.

De plus, une étude théorique (débouchant sur une thèse et sur plusieurs publications à "referee") a été conduite sur la théorie de l'élasticité relativiste et son application à l'étude des chronomètres pulsars. Le formalisme développé (s'appuyant sur la théorie relativiste et l'élasticité conçue par B. CARTER ET H. QUINTANA) constitue le noyau d'une théorie relativiste cohérente de la rotation de la Terre et des déformations dynamiques et stationnaires qu'elle peut subir. Il peut donc contribuer à une meilleure définition des systèmes de référence.

Enfin, une nouvelle étude a été initialisée en 1991, dans le cadre de la mission océanographique franco-américaine Topex/Poseïdon. Cette étude a pour but de réaliser un nouveau logiciel de compensation de jeux de coordonnées pouvant prendre en compte non seulement des coordonnées de stations terrestres, mais aussi des positions instantanées de satellites. C. BOUCHER a été accepté comme PI sur ce projet et P. WILLIS a été accepté en 1991 comme Co-I dans l'équipe américaine du JPL. La mission Topex/Poseïdon est un bon test pour cette application, car pour la première fois 3 systèmes d'orbitographie précise seront embarqués sur le même satellite (Téléométrie Laser, DORIS, GPS).

## IV.2 MÉTHODES DE POSITIONNEMENT

Les principales méthodes de positionnement précis sont étudiées au LAREG.

### IV.2.1 GPS

Concernant le GPS, qui est l'une des techniques spatiales la plus étudiée au LAREG, les activités ont principalement été menées au sein du projet GPS de l'I.G.N. :

- rédaction de documents techniques de spécification (chef de mission, opérateur, glossaire des termes relatifs à la localisation par GPS, catalogue des logiciels...). Voir la liste des documents techniques publiés en annexe,

- recalcul par S. BOTTON de missions anciennes (Meaux et Turtmann). A ce sujet, une étude particulière a été menée sur les corrections troposphériques à appliquer (dans le cas du réseau de Turtmann, pour lequel les dénivelées entre points peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres). Cette étude a été menée sous la direction de C. BOUCHER et a débouché sur une notice de spécifications techniques à l'usage des personnels de terrain (incluse dans les instructions pour le chef de mission),

- développement d'un nouveau modèle d'erreur concernant les résultats de positionnement par GPS. Cette étude a débouché sur la rédaction d'une spécification technique et doit être suivie (début 1992) de la réalisation d'un nouveau logiciel (COV/COMIX) servant d'interface au logiciel déjà existant SSCMIX et permettant de compenser des réseaux obtenus par GPS (mono ou bifrquences),

- préparation de la phase préopérationnelle du centre de données pour l'IGS : réponse à l'appel d'offre de l'IGS et rédaction par L. DANIEL d'une étude de faisabilité de ce futur centre, présentée au dernier comité de pilotage GPS,

- séjour de 3 mois de D. JAULT au JPL, afin d'obtenir une connaissance sur les traitements d'orbite précis GPS en utilisant le logiciel GIPSY. Installation à l'IGN en septembre de ce logiciel et premiers tests en fin d'année sur les données Ashtech de la campagne GIG'91. Rédaction d'une note préliminaire par D. JAULT sur la modélisation et l'utilisation de ce logiciel. Cette étude est absolument essentielle à l'IGN et doit être continuée en 1992 afin de conserver une certaine compétence technique sur ces problèmes de positionnement de très haute précision (quelques mm à quelques cm, pour des réseaux de 100 à 1 000 km).

Il faut noter de plus, dans le cadre du G.R.G.S. (responsable P. WILLIS) l'installation à Tahiti par le CNES (L. BOLOH/CNES/ESO) d'un deuxième récepteur Rogue en vue de participer au réseau de poursuite GPS pour Topex/Poseidon et, de manière plus générale, pour participer au réseau de poursuite IGS (International Geodynamics GPS Service).

De plus, au niveau français, pour la localisation des satellites bas par GPS, une certaine coordination a lieu entre les différentes équipes travaillant sur ce sujet : CNES/CST (thèse de J.-F. CRÉTAUX), GRGS/Toulouse (Thèse de F. PEROSANZ) et l'I.G.N. Cette coordination s'est traduite par quelques réunions de travail en 1991 à Saint-Mandé ou à Toulouse.

Enfin, dans le cadre du Groupe de Travail Permanent du CNIG ("Positionnement statique et Dynamique" dirigé par P. WILLIS), il faut noter la volonté de rédiger à court terme un manuel de spécifications techniques et d'aides pour les futurs utilisateurs du GPS. En 1991, seul le plan de cet ouvrage a été élaboré, ainsi que la distribution des tâches de rédaction au sein de ce groupe.

## IV.2.2 DORIS

Ces études sont réalisées dans le cadre du projet DORIS à l'IGN. Une grande partie est réalisée en fait dans le service de production en géodésie de l'IGN (SGN) :

- mise en place et maintenance du réseau de poursuite DORIS (une quarantaine de stations dans le monde). Rattachement géodésique local de ces stations,
- détermination précise des coordonnées des balises DORIS de manière régulière, obtenue en compensant les résultats de localisation extraits des mesures DORIS par d'autres groupes (CLS/Argos, GRGS/Toulouse, CNES/CST) avec les jeux de coordonnées provenant d'autres techniques spatiales (VLBI, LLR, SLR, GPS) ainsi que les valeurs précises des rattachements.

Il faut noter que l'amélioration significative des résultats de positionnement DORIS en 1991 provient principalement de la meilleure partie du modèle de champ de gravitation (GRIM4-S2) obtenu par le GRGS/Toulouse (Biancale, Balmino) en collaboration avec le DGFI-Allemagne.

De plus, l'IGN doit valider le logiciel écrit par CLS/Argos pour DORIS (à partir des spécifications écrites de l'I.G.N.) ainsi qu'évaluer pour le CNES les performances de ce nouveau système spatial (lancement en janvier 1990).

Enfin, dans le cadre du projet Topex/Poseïdon, P. WILLIS a, durant un séjour de 4 mois au USA, modifié le logiciel du JPL afin de pouvoir prendre en compte les mesures DORIS. A l'arrivée des premières mesures de cette mission (lancement du satellite prévu en juillet 1992), il sera possible de calculer avec le même logiciel la position du satellite, en utilisant à la fois les mesures GPS et les mesures DORIS, avec les mêmes hypothèses de calcul (modèles de correction, système de référence unique...). Cette étude a été menée en collaboration avec le JPL, le CNES/Toulouse et le GRGS

## IV.2.3 VLBI

Un projet français commun entre l'Observatoire de Paris, l'Observatoire de Meudon, l'IERS et l'IGN vise à réaliser un nouveau logiciel d'analyse des données VLBI. Les logiciels existants actuellement (CALC/SOLVE du GSFC, MASTERFIT du JPL...) peuvent encore être améliorés pour pouvoir traiter simultanément de grandes quantités de données, en utilisant une modélisation physique plus performante, et un environnement informatique plus adapté à de futurs développements.

Une pré-étude de faisabilité a été conduite entre ces différents organismes français.

## IV.2.4 Système de navigation inertielle

L'étude menée en 1991, dans le cadre de la thèse de D. BURTIN (en collaboration avec KMS-Danemark, le LMV-Suède et la SAGEM), vise à développer un logiciel permettant de traiter dans un même filtre des données GPS et des données inertielles. Les précisions recherchées sont de quelques mm à quelques cm pour des réseaux de faibles dimensions (de l'ordre de la dizaine de km) en utilisant un traitement des mesures en temps différé.

Une première ébauche du logiciel a été réalisée par D. BURTIN au cours de son séjour au Danemark pour la partie inertielle.

Par contre, la proposition faite à la Communauté Européenne pour financer une campagne de validation du Couplage GPS/inertiel a été refusée. Cette campagne de validation a donc dû être repoussée en 1992 et un nouveau projet est à l'étude (financement, dimensionnement de la campagne, collaborations...).

## **IV.3 MÉTHODES DE NIVELLEMENT**

Les travaux réalisés en 1991 ont permis la mise en production de nouveaux programmes de saisie de données documentaires. L'adaptation des programmes de saisie des observations de nivellement au théodolite (NIPREMO), bien que n'étant pas prévus en 1991, a été commencée en vue de la mission au Yémen.

## **IV.4 DÉTERMINATION DU CHAMP DE PESANTEUR**

Ce domaine de recherche est couvert à l'IGN par deux types d'activités très liées :

### **IV.4.1 Soutien au BGI**

Cette collaboration qui existe depuis plusieurs années entre l'IGN et le BGI se traduit concrètement par le détachement au BGI d'un géomètre et d'un pupitreux de l'IGN. Actuellement, les retombées pour l'IGN se traduisent par des cessions gratuites de données gravimétriques suivant les besoins de l'IGN. L'activité de ces personnels est décrite plus précisément dans le rapport annuel du BGI.

### **IV.4.2 Détermination de géoïde précis**

Le but de cette recherche est de développer des méthodes de détermination du géoïde. Ces résultats seront particulièrement intéressants pour exploiter convenablement les résultats de géodésie spatiale. En effet, les techniques de géodésie spatiale (de type purement géométrique) ne permettent de déterminer que des altitudes ellipsoïdales. Or, la plupart des utilisateurs veulent déterminer plutôt des altitudes orthométriques ou normales (liées à la valeur du champ de gravitation). Pour pouvoir leur fournir cette information, il est nécessaire de disposer d'un modèle précis de géoïde (centimétrique), ce qui est loin d'être le cas en France (à l'inverse d'autres pays Européens). L'IGN est sollicité par de nombreux organismes français (cabinets de géomètres, organismes scientifiques ...)

En 1991, les travaux réalisés ont été les suivants : étude bibliographique, installation sur le VAX d'une copie de démonstration du logiciel OPERA (à acheter en 1992) et tests du logiciel. De plus, le SGN a fait calculer par le SDT un modèle numérique de terrain à pas très fin couvrant la France entière, qui contribuera à améliorer la précision des géoïdes Français et Européens.

## **IV.5 SOUTIEN AUX SCIENCES DE LA TERRE**

Plusieurs actions ont été menées de front, tant sur le plan théorique (modélisation) que sur le plan pratique (réalisation ou préparation de campagne à buts géophysiques ou océanographiques) :

### **IV.5.1 Recherche sur les problèmes de modélisation**

Une première analyse d'un logiciel d'étude des déformations de la surface Terrestre a été réalisée. Le but de ce logiciel est, en particulier, de pouvoir utiliser simultanément des données géodésiques historiques (moins précises mais plus anciennes) et des données de géodésie spatiale (plus précises mais plus rapprochées dans le temps) pour distinguer des zones stables de zones se déformant (pour lesquelles on estimera des vitesses).

Afin de valider ces concepts, une étude particulière a été menée sur la région de Djibouti (zone déjà étroitement surveillée par des équipes de l'I.P.G.P. et de l'I.G.N.). Le 1er et le 2ème ordre a été entièrement recalculé. Le jeu de coordonnées obtenu a été comparé aux résultats obtenus précédemment (campagnes 1928-1934, 1972, 1978, 1979, 1987). L'étude a permis de mettre en évidence de larges zones où les déplacements sont inférieurs aux incertitudes, confirmant et complétant les études réalisées par J.C. RUEGG (I.P.G.P.) et M. KASSER. Une nouvelle campagne GPS a été organisée en 1991 par l'I.P.G.P., campagne à laquelle l'I.G.N. a participé en envoyant deux opérateurs.

L'ensemble de cette étude a été mené par D. JAULT qui a quitté l'I.G.N. en fin d'année. La suite de cette étude souffre donc d'un manque chronique de personnel (en particulier de chercheur déjà formé).

#### **IV.5.2 Réalisation de campagnes de géodésie spatiale pour des buts scientifiques**

En plus de la campagne précédemment mentionnée à Djibouti, pour des besoins géophysiques, une autre campagne importante était prévue pour 1991 en Méditerranée Occidentale (Espagne, France, Italie, Tunisie, Algérie, Maroc) auxquels, en plus des pays concernés, d'autres pays collaborent (Allemagne, Portugal) et dont les buts étaient multiples :

- localisation précise de marégraphes qui devront être utilisés pour la validation de la mission océanographique Topex/Poseidon (dont F. BARLIER du CERGA est le PI).
- détermination d'un réseau géodésique de haute précision (réalisé à partir de mesures VLBI et GPS) pour des buts géodésiques (extension d'EUREF),
- et géodynamiques (études des mouvements de la croûte terrestre autour de la Méditerranée Occidentale : extension du projet Wegener/Medlas ayant lieu depuis plusieurs années en Méditerranée orientale (Grèce/Turquie) sous la direction de P. WILSON (IFAG, Allemagne).

En 1991, un symposium a été organisé à Nice au CERGA. Néanmoins, la campagne GPS et VLBI a dû être repoussée en 1992, à cause des événements politiques dans cette partie du monde. Enfin, une réunion de travail a été organisée à l'occasion de l'UGGI de Vienne.

Cette campagne devrait avoir lieu à l'automne 1992.

### **IV.6 THESES EN COURS AU LAREG EN 1991**

Ces thèses sont réparties sur les différents axes de recherches prioritaires, de la manière suivante :

#### **IV.6.1 Thèses relatives aux Systèmes de référence**

[PRIOU] D. Priou : *Théorie de l'élasticité relativiste et son application à l'étude des chronomètres pulsars*, directeur de thèse : C. BOUCHER, à soutenir le 3 février 1992.

[DUHEM] L. Duhem : *Réalisation du Système de référence terrestre : aspect cinématique (prise en compte des déformations)*, directeur de thèse : P. WILLIS, à soutenir en 1994-1995.

#### **IV.6.2 Thèses relatives aux Méthodes de positionnement**

[M'BRA] K. M'Bra : *Utilisation des mesures du système GPS pour la localisation relative précise. Combinaison de récepteurs bifréquences*, directeur de thèse : P. WILLIS, thèse de l'Observatoire de Paris, soutenue le 16 avril 1991.

[CRETEAUX] JF. Créteaux (thésard du CNES, cofinancé par l'IGN) : *Orbitographie de satellites bas à partir de mesures du système Global Positioning System*, directeur de thèse : F. NOUEL (CNES/CST), parrain de thèse : P. Willis, à soutenir en 1992-1993.

[BURTIN] D. Burtin : *Utilisation des techniques inertielles et du GPS (Global Positioning System) en géodésie*, directeur de thèse : P. WILLIS, à soutenir en 1993.

### **IV.6.3 Thèses relatives au soutien aux Sciences de l'Univers**

[REBAI] N. Rebaï : *Contribution à un nouveau réseau géodésique Europe-Afrique : résultat d'une campagne VLBI mobile européenne de 1989*, directeur de thèse : F. BARLIER (CERGA), à soutenir en 1992-1993.

[BELLEBNA] A. Bellebna : *Compensation géodésique des données historiques du Bassin Méditerranéen Occidental : élaboration d'un modèle cinématique*, directeur de thèse : P. Willis, à soutenir en 1993-1994.

## V. LISTE DES PUBLICATIONS

Cette liste n'est malheureusement pas exhaustive. En particulier, les documents techniques internes à l'IGN émis par les projets (spécifications des BD...) n'y figurent pas.

### V.1 PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

(\* : texte soumis intégralement à un Comité de Lecture)

- [PRIOU \*] D. Priou : *Comparison between variational and traditional approaches to relativistic thermodynamics of dissipative fluids*, Phys. Revue, D5, 43, 1223 - février 1991
- [SALGE] F. Salgé : *Les défis pour le développement du marché de l'Information Géographique Numérique*, Actes du Congrès MARI'91, Paris - avril 1991.
- [WILLIS] P. Willis : *Revue sur les moyens en positionnement statique*, Journée Recherche du CNIG, Paris - mai 1991, à paraître.
- [WILLIS] P. Willis : *Le système GPS*, Journée Recherche du CNIG, Paris - mai 1991, à paraître.
- [ROUGE et al] Rougé, P. Julien, J. Berthon, M. Laporte, S. Coutin-Faye & D.J.P. Moura : *Martian digital elevation (3D) modeling, 1st ESA Workshop on computer vision and image processing for spaceborne applications*, ESTEC, Noordwijk (Pays-Bas) 10-12 juin 1991.
- [REBAI, PETIT] N. Rebaï & G. Petit : *Preliminary Results on the 1989 Mobile VLBI European Campaign, 8th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astronomy*, Dwinglo, 13-14 juin 1991, à paraître.
- [POLIDORI, CHOROWICZ] L. Polidori & J. Chorowicz : *Modelling terrestrial relief with Brownian motion : application to digital elevation data evaluation and resampling*, Proc. of EARSeL'91, Graz - jul. 1991.
- [POLIDORI et al] L. Polidori, J. Chorowicz & R. Guillaude : *Description of terrain as fractal surface and application to digital elevation model quality assesment*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (sous presse).
- [ALTAMIMI-BOUCHER] Z. Altimimi & C. Boucher : *Realization of the IERS Terrestrial Reference System*, présenté à la XXème Assemblée Générale de l'UGGI, Vienne - Août 1991, IGN/SGN, CC/G n° 559.
- [BOUCHER] C. Boucher : *Definition and realization of terrestrial reference systems*, IAG SSG n° 5.123, Report 1987-1991, présenté à la XXème Assemblée Générale de l'UGGI, Vienne, Août 1991.
- [BOUCHER] C. Boucher : *Geodetic fixing of tide gauges, problems and challenges*, présenté à la XXème Assemblée Générale de l'UGGI, Vienne - Août 1991 - Section U13, à paraître.
- [BOUCHER, WILLIS] C. Boucher & P. Willis : *Réseau DORIS*, présenté à la XXème Assemblée Générale de l'UGGI, Vienne - Août 1991 - à paraître.
- [GURTNER et al] W. Gurtner, S. Fankhauser, W. Ehrnsberger, W. Wendi, H. Friedhoff, H. Habrich, S. Botton, EUREF-89 processing : status report of the "Berne group", présenté à la XXème Assemblée Générale de l'UGGI, Vienne - Août 1991 - à paraître.
- [NEILAN et al] Neilan, J.M. Bosworth, M. Chin, T.A. Herring, W. Prescott, C. Röcken, W. Schlutter, M. Bevis, S. Fisher, B. Schupler & P. Willis : *GPS Network for the International GPS Geodynamic Service*, présenté à la XXème Assemblée Générale de l'UGGI, Vienne - Août 1991.
- [WILLIS et al] P. Willis, W. Bertiger, C. Boucher, F. Nouel, A. Piuze & J.T. Wu : *Initial steps towards integrating DORIS and GPS data : preparation for Topex/Poseidon*, présenté à la XXème Assemblée Générale de l'UGGI, Section U5, Vienne - Août 1991, IGN/SGN.



[JAMET] O. Jamet : *Mesure de la qualité de l'information d'occupation du sol dans un SIG*, Premier Colloque CNES-SFPT, Strasbourg, 6-9 novembre 1990, paru dans le bulletin de la S.F.P.T. n° 122 - 1991-2.

[DESTIVAL] I. Destival : *The objectives of IGN's research on generalization*, papier présenté à la session de travail sur la généralisation du Colloque de l'ACI, Bournemouth - septembre 1991.

[SALGE \*] F. Salgé : *L'Information Géographique Numérique (IGNUM), Un Outil pour la Forêt*, Actes du Congrès Forestier International, Paris - septembre 1991.

[LAGRANGE] J. Ph. Lagrange : *A Knowledge-based System and an ER Query Language for Accessing Relational Databases*, 9th International Conference on Entity-Relationship Approach, Lausanne, octobre 1990. Édité par H. Kangassalo, North Holland - 1991.

[PIERRON, KASSER] F. Pierron & M. Kasser : *The French Highly Mobile Laser System Lidar and Earth Sciences*, Cannes - Septembre 1991.

[POLIDORI] L. Polidori : *Digital terrain models from radar images : a review*. International Symposium on Radars and Lidars in Earth and Planetary Sciences, Cannes - septembre 1991.

[PIERRON, KASSER] F. Pierron & M. Kasser : *New developments in Ultra-mobile SLR System*, Crustal Dynamics meeting, NASA GSFC Washington - Octobre 1991.

[ROUGE et al] Rougé, P. Julien, J. Berthon, M. Laporte, S. Coutin-Faye & D.J.P Moura : *Martian digital elevation (3D) modeling*, 42th Congress of the International Astronautical Federation, Montreal, 5-11 octobre 1991.

[WILLIS \*] P. Willis : *Impact du système GPS sur la Topographie (stratégies à court terme et perspectives d'avenir)*, présenté à la Journée Rencontre de l'A.F.T. - novembre 1991, à paraître dans XYZ, revue de l'A.F.T., n° 51 - avril 1992.

[JAULT] D. Jault : *Mise en évidence de déplacements à l'aide de données géodésiques historiques*, présentation à la Journée du CNFGG, Paris - décembre 1991.

[WILLIS] P. Willis : *Compte-rendu scientifique de la XXème Assemblée Générale de l'UGG*, Vienne, 11-24 août 1991, présenté à la Journée du CNFGG, décembre 1991, IGN/SGN, à paraître.

[POLIDORI \*] L. Polidori : *Comparison of bilinear on brownian interpolation for digital elevation digital models*, ISPRS- Photogrammetry Journal of Remote Sensing (sous presse).

[PRIOU \*] D. Priou : *The perturbations of a fully relativistic and rapidly rotating neutron star (1), the non rotating limit*, accepté pour publication dans Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, London.

[PRIOU \*] D. Priou : *The perturbations of a fully relativistic and rapidly rotating neutron star*, présenté à Cargese, Italie, Journées Relativistes 1991, accepté pour publication dans Classical and Quantum Gravity.

[RIAZANOFF et al \*] S. Riazanoff, P. Julien, B. Cervelle, J. Chorowicz : *Extraction et analyse automatiques d'un réseau hiérarchisé de talwegs; Application à un MNT dérivé d'un couple stéréoscopique SPOT*. International Journal of Remote Sensing, 1992. Vol. 13, n°2.

## V.2 MÉMOIRES DE THÈSE

[MILLION] C. Million : *L'utilisation des mesures saisies en vol en aérotriangulation*, Thèse de l'Observatoire de Paris, 22 janvier 1991.

[M'BRA] K.M. M'Bra : *Utilisation des mesures du système GPS pour la localisation relative précise. Combinaison de récepteurs bifréquences. Amélioration des orbites radiodiffusées*, Thèse de l'Observatoire de Paris - avril 1991.

[DAVID] B. David : *Modélisation, représentation et gestion d'information géographique, une approche en relationnel étendu*, thèse de l'université Paris 6, soutenue le 8 juillet 1991.

[CHARIF] Charif : *Echantillonnage optimal pour un modèle numérique de terrain, partie intégrante d'un système d'information géographique*, Thèse soutenue le 14 novembre 1991.

[VEILLET] I. Veillet : *Triangulation spatiale de bloc d'images Spot*. Thèse de l'Observatoire de Paris, soutenue le 15 novembre 1991.

[PHALAKARN] B. Phalakarn : *Evaluation de la Qualité des Processus de Segmentation d'Image par Mise en Correspondance à une Référence*, Thèse de Doctorat de l'Université Paris 7 - décembre 1991.

[POLIDORI] L. Polidori : *Validation de modèles numériques de terrain - application à la cartographie des risques géologiques*, Thèse de l'université Paris 7, soutenue le 19 décembre 1991.

### V.3 PUBLICATIONS TECHNIQUES ET RAPPORTS

[LAGRANGE] J. Ph Lagrange : *Modèle Entité-Association étendu et "modèles objets", notes de travail*, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN, mars 1991.

[WILLIS, BERTIGER] P. Willis & W. Bertiger : *Processing DORIS/SPOT 2 data with the Topex/Poseidon GPS/POOD software, summary of results*; November, 20th, 1990-March, 7th, 1991, *Jet Propulsion Laboratory Interoffice Memorandum*, 335.8-91-002 - 15 mars 1991.

[WILLIS, BERTIGER] P. Willis, W. Bertiger : *Processing DORIS/SPOT 2 data with the Topex/Poseidon GPS/POOD software, user's guide and software documentation*, *Jet Propulsion Laboratory Interoffice Memorandum*, 335.8-91-003 - 15 mars 1991.

[ARMAND] M. Armand : *Réflexions méthodologiques sur la nomenclature d'un inventaire d'occupation des sols*, COGIT - décembre 1991 (diffusé en avril 1991).

[BARRIER, DUQUESNOY] E. Barrier & T. Duquesnoy : *Etude sismotectonique de la partie centrale de la Faille Philippine*, Publ. IGN, 115 pages - avril 1991.

[LE MEN et al] H. Le Men, O. Jamet & E. Breton : *Mars Project, ISPPA Opération 4.2, Rapport n°1*, descriptif de l'Etude - rapport intermédiaire, Service de la recherche, laboratoire COGIT - mai 1991.

[SALGE] F. Salgé : *Organigramme des Normes Géographiques*, rapport de projet DRIVE V1021, IGN - mai 1991.

[WILLIS et al] P. Willis, C. Boucher, L. Daniel, L. Boloh & H. Burger : *Response for the call for participation to the International Positioning System Geodynamics Service (IGS)*, IGN/SGN, - 10 juin 1991.

[MOREAU] E. Moreau : *Application de la méthode multigrille de résolution de systèmes linéaires à la constitution des Modèles Numériques de Terrain*, rapport de stage, Service de la Recherche, Laboratoire COGIT, IGN - août 1991.

[SALGE] F. Salgé : *Rapport interne CERCO, Assemblée plénière, MEGRIN a Technical, Southampton (GB)* - août 1991.

[BRETON] E. Breton : *Classification Multi-dates par Parcelles*, rapport de projet pluridisciplinaire IT2 1990/1991, ENSG - septembre 1991.

[CHIRIE] F. Chirié : *Classification Multitemporelle utilisant la Segmentation d'Image, Report d'Arcs Manquants*, rapport de projet pluridisciplinaire IG1, 1990-1991, ENSG - septembre 1991.

[DEMAY] P. Demay : *Prototype d'un SIG orienté objet : mécanique de légende*, mémoire CNAM, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - septembre 1991.

[MOUSNIER-LOMPRES] P. Mousnier-Lompré : *Etude d'une caméra numérique aéroportée*, rapport de stage pluridisciplinaire au LOEMI - septembre 1991.

[PRIOU, PETIT] D. Priou & G. Petit : *Global Radiointerferometric Analysis, projet de logiciel de traitement VLBI et de gestion d'une base de données VLBI* - septembre 1991.

- [RAYNAL] L. Raynal : *Etude et implémentation d'un index spatial sur O2, un SGBD orienté objet*, rapport de stage ENSG, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - septembre 1991.
- [YAPI] JH. Yapi : *Prototype d'un système d'informations géographiques orienté objets : conception et chargement de la base, mémoire de DEA systèmes informatiques (Paris VI et MASI)*, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - septembre 1991.
- [BOUCHER, ALTAMIMI] C. Boucher & Z. Altamimi : *The IERS Terrestrial Reference Frame, SGMS Newletters*, vol. 2, n° 2, IGN/SGN, CC/G n° 560 - octobre 1991.
- [GILLIOT] JM. Gilliot : rapport d'activités de l'EHEI sur le projet "extraction des réseaux linéaires fins", document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - octobre 1991.
- [DESTIVAL et al] I. Destival, J. Ph. Lagrange & A. Ruas : Synthèse des réunions de travail sur la généralisation en collaboration COGIT/Pr JC. MULLER, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - novembre 1991.
- [JULIEN] P. Julien : *Simulation d'images de Mars pour le projet VAP et évaluation des modèles numériques de Terrain dérivés*, rapport au CNES, document interne, Service de la Recherche, Laboratoire COGIT, IGN - novembre 1991.
- [SALGE] F. Salgé : *Main Cartographic Projects inside the European Community, Congrès*, La Corogne (Espagne), CERCQ - novembre 1991.
- [VAUJOUR, CHADERAT] Enseignes de vaisseau Vaujour & Chaderat : *Tests d'Outils pour la Détection de Forêts sur Images Numérisées*, rapport de projet de fin d'études, promotion 1989, ECOLE NAVALE - novembre 1991.
- [DAVID] B. David : Compte-rendu d'activités pour 1991 de l'action de recherche SERLO, document interne, service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - décembre 1991 (comprend une synthèse des rapports des sociétés INFOSYS et GRAPHAEEL, documents internes, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - décembre 1991.
- [DUQUESNOY et al] T. Duquesnoy, O. Bellier, M. Sébrier & M. Kasser : *Geodetic survey of the central and southernmost segments of the great sumatran fault.*, preliminary report, Publ. IGN - décembre 1991.
- [JAMET] O. Jamet : *Evaluation du Capteur HRG, Etude de l'Influence de la Quantification et de la Fonction de Transfert dans le Cadre d'Applications Cartographiques*, Rapport de fin d'étude, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - janvier 1992.
- [JAMET, BRETON] O. Jamet & E. Breton : *Mars Project, ISPra Opération 4.2, Rapport n°2, Description des méthodes employées et résultats partiels* - Rapport intermédiaire, document interne, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, IGN - janvier 1992.
- [WILLIS et al] Willis, J.G. Affholder, M. Le Pape, S. Botton, F. Bourassin & L. Daniel : *Glossaire des termes relatifs à la localisation par GPS*, version 3.0 - janvier 1992.
- [BOUCHER] C. Boucher : *Definition and realization of terrestrial reference systems*, IAG SSG n° 5.123 -Report 1987-1991.
- [DUHEM] L. Duhem : *Combinaisons de jeux de vitesses pour la détermination des déformations du réseau mondial de référence*, rapport de DEA, SGN/IGN, 1991.
- [BOTTON et al] S. Botton, P. Willis & F. Bourassin : Aide à la notice Ashtech, IGN/SGN, IT/G n° 106, à diffuser.
- [BOTTON et al] S. Botton, C. Boucher & P. Willis : Rapport de mission Turtmann, IGN/SGN, CR/G n° 30, à paraître.
- [BOTTON et al] S. Botton, C. Boucher & P. Willis : Rapport de mission Meaux, IGN/SGN, CR/G n° 31, à paraître.
- [BOURASSIN, BOTTON] F. Bourassin & S. Botton : Aide à la notice SERCEL, IGN/SGN, IT/G n° 105, à diffuser.
- [BOUCHER, ALTAMIMI] C. Boucher & Z. Altamimi : *ITRF 89 and other realizations of the IERS Terrestrial Reference System for 1989*, IERS Technical Note, n° 6, Observatoire de Paris - 1991.

[BOUCHER, ALTIMIMI] C. Boucher & Z. Altamimi : *ITRF 90 and othe realizations of the IERS Terrestrial Reference System for 1990*, IERS Technical Note, n° 9, Observatoire de Paris -1991.

[DANIEL] L. Daniel : *Mise en place d'un centre d'archivage de données GPS : Etude de faisabilité*, IGN/SGN, NT/G n° 65, à diffuser.

[JAULT] D. Jault : *Géodésie Spatiale et mouvements de l'écorce terrestre*, Note technique GRGS, NT n° 11.

[WILLIS, BOTTON] P. Willis & S. Botton : *Instructions techniques pour le chef de mission GPS d'une campagne de géodésie par GPS*, IGN/SGN, IT/G n° 93, à diffuser.

. Bulletin d'Information de l'IGN n° 59 : *Spécial BDTopo* - 4ème trimestre 1991.

. *Etat du réseau DORIS*, CM-RP-3-968-IGN, édition n° 8 du 20 juillet 1991.

## V.4 SUPPORTS DE COURS

[DUQUENNE] H. Duquenne : *Systèmes de référence et systèmes de coordonnées*, Cycle de formation continue de l'ENSG, Méthodes Modernes de Positionnement Géodésique, mai 1991, à diffuser.

[WILLIS] P. Willis : *Panorama des techniques de positionnement*, Cycle de formation continue de l'ENSG, Méthodes Modernes de Positionnement Géodésique, mai 1991, à diffuser.

[WILLIS] P. Willis : *Le système GPS*, Cycle de formation continue de l'ENSG, Méthodes Modernes de Positionnement Géodésique, mai 1991, à diffuser.

[WILLIS] P. Willis : *Le système GPS en navigation*, formation SAE, juin 1991.

[JULIEN] P. Julien : *Corrélation automatique des images SPOT*, cours du module "géométrie des images" de l'ENSG, IGN, 1991.

[DUQUENNE] H. Duquenne : cours de Géodésie Physique, DEA Astronomie Fondamentale, Mécanique Céleste et Géodésie, IGN/SGN, à diffuser.

## Liste des sigles appelés dans le texte

<b>AFT</b>	Association Française de Topographie
<b>APIS</b>	Acquisition et Pré-traitement des Images Spatiales
<b>BGI</b>	Bureau Gravimétrique International
<b>BRGM</b>	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
<b>CERGA</b>	Centre d'Etudes et de Recherche Géodynamique et Astronomique
<b>CGI</b>	Centre Géographique Interarmées
<b>CNES</b>	Centre National d'Etudes Spatiales
<b>CNFGG</b>	Comité National Français de Géodésie et Géophysique
<b>CNIG</b>	Conseil National de l'Information Géographique
<b>COGIT</b>	(Labo) Connaissance des Objets Géographiques et Images de Télédétection (IGN)
<b>CORINE</b>	Coordination de l'Information sur l'Environnement
<b>CRIS</b>	Centre de Rectification d'Images Spatiales
<b>Dépt IA/EDF</b>	Département Intelligence Artificielle / EDF
<b>DGFI-Allemagne</b>	Deutsch Geodatisches Forschungsinstitut (Allemagne)
<b>DORIS</b>	Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
<b>ENSG</b>	Ecole Nationale des Sciences Géographiques (IGN)
<b>ENST</b>	Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications
<b>ERS 1</b>	ESA Remote Sensing Satellite 1
<b>EUREF</b>	European Reference Frame
<b>FTM</b>	Foiben Taosarintanin' Madagasikara (Inst. Géog. et Hydrog. Nat.de Madagascar)
<b>GDTA</b>	Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GRGS</b>	Groupe de Recherche en Géodésie Spatiale
<b>HRG</b>	Haute Résolution Géométrique
<b>IERS</b>	International Earth Rotation Service
<b>IFAG</b>	Institut für Angewandte Geodäsie
<b>IGS</b>	International GPS Geodynamics Service
<b>INRIA</b>	Institut National de Recherche en Informatique et Automatique
<b>IPGP</b>	Institut de Physique du Globe de Paris
<b>ISPRA</b>	Institut for Remote Sensing of CCE (Italie)
<b>ITC</b>	International Training Center (NL)
<b>JPL</b>	Jet Propulsion Laboratory
<b>LAREG</b>	Laboratoire de Recherche en Géodésie (IGN)
<b>LLR</b>	Lunar Laser Ranging
<b>LOEMI</b>	Laboratoire d'Optique, d'Electronique et de Micro-Informatique (IGN)
<b>MNT</b>	Modèle Numérique de Terrain
<b>MS2I</b>	MATRA-SEP Imagerie et Informatique
<b>RGF</b>	Réseau Géodésique Français
<b>SAGEM</b>	Société d'Applications Générales et Electricité Mécanique
<b>SDT</b>	Service de la Carte Dérivée et Thématique (IGN)
<b>SFPT</b>	Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection
<b>SGBD</b>	Système de Gestion de Bases de Données
<b>SGN</b>	Service de Géodésie et de Nivellement (IGN)
<b>SLR</b>	Satellite Laser Ranging
<b>SNEAP</b>	Société Nationale Elf-Aquitaine Production
<b>SPS</b>	Service Photocartes et Spatiocartes (IGN)
<b>SQL</b>	Select Query Language
<b>UGGI</b>	Union Géodésique et Géophysique Internationale
<b>VAP</b>	Véhicule Automatique Planétaire
<b>VLBI</b>	Very Long Base Interferométrie

## **Contacts :**

**Service de la Recherche**  
Hervé LE MEN - poste 8315

**Connaissance des Objets Géographiques et des Images de Télédétection (COGIT)**  
Olivier JAMET - poste 8069

**Laboratoire d'Opto-Electronique et de Micro-Informatique (LOEMI)**  
Christian THOM - poste 8240

**Laboratoire de Recherche en Géodésie (LAREG)**  
Pascal WILLIS - poste 8329

**Directeur de la Publication** : Claude BOUCHER  
**Rédacteur en Chef** : Jacques SCHWENGLER

Édité par le Département Communication  
Imprimé à l'Institut Géographique National  
Copyright Bulletin d'Information de l'I.G.N.

136 bis, rue de Grenelle - 75700 Paris  
Tél. : 43.98.80.00

Imprimerie de l'INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL

Dépôt légal 4<sup>e</sup> trimestre 1992  
N° d'édition : 164 — N° d'impression : 185