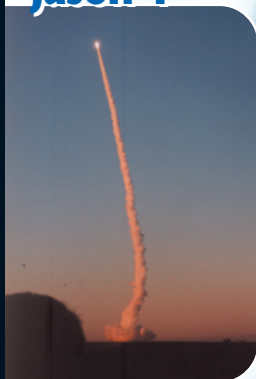


# xvz

Éditée par  
l'Association  
Française de  
Topographie  
n°90

- topographie
- géodésie
- photogrammétrie
- SIG
- géomatique
- métrologie
- hydrographie
- topométrie
- cartographie
- génie civil

Jason-1



***La photogrammétrie  
au service de l'étude  
des avalanches***





**Directeur de la publication**

André Bailly  
Ingénieur Géomètre ETP

Rédaction et administration XYZ  
secrétariat : tous les jours de 9 h à 17 h

**Comité de Rédaction**

Emmanuel Natchitz  
Enseignant Chercheur ESTP  
Pierre Grussenmeyer  
Maître de Conférences - ENSAIS  
Bertrand Ravez  
Responsable de service Topographique  
Bouygues TP

**Responsable du site internet**

Tania Neusch

**Conseil d'orientation scientifique**

Jean Bourgoïn  
Ingénieur Général Hydrographe ER  
Robert Chevalier  
Géomètre-Expert DPLG  
Suzanne Débarbat  
Astronome Observatoire de Paris  
Raymond d'Hollander  
Ingénieur Général Géographe - IGN  
Jacques Riffault  
Directeur Commercial  
Robert Vincent  
Ingénieur ECP  
Dr Pascal Willis  
Ingénieur en chef Géographe - IGN

**Publicité**

Maurice Maletas

**Conception et maquette**

Dorothée Picard

**Abonnements**

Evelyn Mesnis

**Autre publication**

L'annuaire de l'AFT

**IMPRIMERIE MODERNE USHA**

137 avenue de Conthe  
BP 337 15003 Aurillac Cedex  
Tél. : 04 71 63 44 60  
Fax : 04 71 64 09 09

**Dépôt légal**

4<sup>e</sup> trimestre 2002 ISSN 0290-9057  
N° CPPAP : 093 g 80866

Tirage de ce numéro : 2 500 ex

**Abonnement annuel**

France CEE : 73 €  
Étranger (avion, frais compris) : 76 €  
Les règlements payés par chèques  
payables sur une banque située hors de  
France doivent être majorés de 10 €  
le numéro : 20 €

Le bulletin d'adhésion est en p. 79

Membre du SPCS Syndicat de la Presse  
Culturelle et Scientifique

L'AFT n'est pas responsable des opinions  
émises dans les conférences qu'elle  
organise ou les articles qu'elle publie.  
Tous droits de reproduction ou d'adaptation  
strictement réservés.

**La revue XYZ est éditée par l'AFT Association Française de Topographie**

Membre de la FIG (Fédération Internationale des Géomètres) 

2 avenue Pasteur - 94165 Saint Mandé cedex - Tél. : 01 43 98 84 80 - Fax : 01 43 74 72 80

E-mail : [aftopo@club-internet.fr](mailto:aftopo@club-internet.fr) • Site internet : <http://perso.club-internet.fr/aftopo>

**■ Editorial ..... 5****■ Info-Topo**

Les informations de la profession ..... 7

**■ Manifestations**

- > Les Journées Techniques Leica-Geosystems  
en partenariat avec Atlog  
*Christian Meyer* ..... 16
- > Forum de photogrammétrie  
du 31 janvier 2002 ..... 17
- > NAVSAT 2001 Navigation  
et positionnement par satellites ..... 18

**■ Compte-rendu**

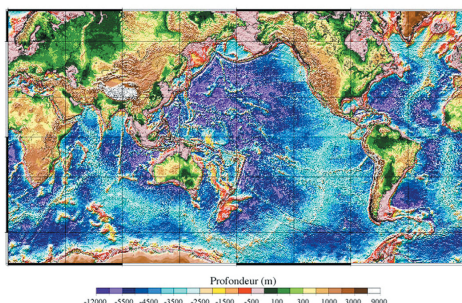
- 24<sup>e</sup> colloque de l'AFT à St-Amand-Montrond
- > L'Office National Interprofessionnel des  
Céréales (ONIC) et les SIG  
*Laurent Roman* ..... 20
- > Les terrassements à l'ère des  
technologies spatiales *M. Hintzy* ..... 22
- > Le topographe et l'hydrologue...  
Conte moderne et drolatique...  
*Yann Druet*..... 24
- > Urbanisme : La loi SRU - Réforme des  
instruments des politiques urbaines  
*Pierre Favier* ..... 27

**■ Photogrammétrie**

- > Détermination  
de volumes de neige  
par photogrammétrie  
pour l'étude de  
la dynamique  
d'avalanche  
*J. Vallet* ..... 30

**■ Techniques nouvelles**

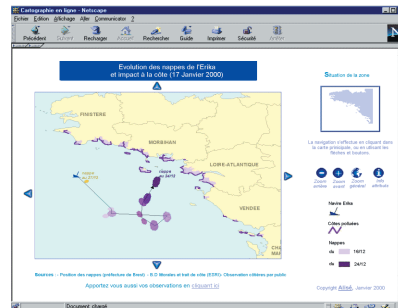
- > Jason-1 le satellite mesureur  
des océans - *Pascal Bonnefond,  
Pierre Exertier et Karin Fogstrand* ..... 39



- > Dans les coulisses  
du Supermode de Spot 5 ..... 43
- > L'exploitation des données Spot 5 ..... 46

**■ SIG**

- > Contrôle de qualité des modèles  
numériques des bases de données  
géographiques - *José Francisco Zelasco* ..... 50
- > Atlas dynamique sur le WEB,  
des pollutions associées au naufrage  
de l'Erika - *Hélène Durand* ..... 56

**■ Cadastre**

- Perspectives de modernisation  
des systèmes cadastraux  
*Moha ELAYACHI, El Hassane SEMLALI  
Mustapha BOUKBECH et Houda ESSAADI*..... 60

**■ Géodésie**

- L'application d'un système de coordonnées  
dans un autre référentiel  
*Claude Million* ..... 64

**■ Art et Géométrie**

- Christophe Cuzin :  
La géométrie éclairée  
*Jean-Pierre Maillard* ..... 68

**■ GSF ..... 70****■ Topo-vécue**

- Topographie en Syrie - *Sébastien Lenne,  
Mathilde de la Losa* ..... 71

**■ Livres ..... 74**

Pour la recherche de nos annonceurs  
consulter la page 67.

## XYZ et l'AFT : toujours en évolution

*La revue XYZ n'a jamais cessé d'évoluer depuis la parution de son premier numéro en 1979. Il faut saluer le travail des fondateurs de l'AFT, qui ont su mettre en place une structure pour promouvoir et développer la Topographie avec de nombreux partenaires en France et à l'étranger. Il nous appartient, en étroite relation avec nos Anciens, de poursuivre cette œuvre.*

*L'objectif principal de l'AFT est de publier une revue trimestrielle de qualité. Vous êtes nombreux à saluer la forme actuelle de notre publication et vos conseils sont précieux pour ceux qui y travaillent quotidiennement. En tant qu'éditeur de la revue XYZ, nous avons adhéré en 2001 au Syndicat de la Presse Culturelle et Scientifique (SPCS), membre de la Fédération Nationale de la Presse d'information Spécialisée (FNPS).*

*Le SPCS regroupe près de 90 éditeurs de plus de 200 publications qui couvrent des domaines aussi larges que les sciences pures, les sciences appliquées, la géographie, l'histoire, la littérature, l'art, la philosophie, etc. Cette adhésion est la reconnaissance de notre capacité à nourrir un débat depuis la création de l'association, à mobiliser des énergies et à rassembler des courants de sensibilité ou d'intérêt. Elle nous renforce dans notre volonté de publier en toute indépendance les projets et travaux les plus significatifs de notre profession. Elle doit aussi marquer notre volonté de présence sur la scène internationale.*

*Le comité de rédaction et d'orientation scientifique de la revue XYZ travaille en relation avec les auteurs pour proposer des articles originaux. C'est notre mission première.*

*Nous sommes aussi prêts à répondre à des demandes spécifiques de votre part et à préparer des cahiers thématiques, en relation avec les chercheurs, les constructeurs et les utilisateurs.*

*Le site internet de l'AFT est un complément indispensable à la revue. Les sommaires et l'album photo des couvertures de toutes les revues sont accessibles sur notre site.*

*Nos liens vers d'autres pages professionnelles ou personnelles restent à développer, avec l'aide des adhérents. Les différentes rubriques de la revue et du site internet doivent permettre à chacune et chacun d'apporter sa contribution. Au cours de l'année 2002, nous allons commencer la numérisation d'une sélection d'articles de références, pour les rendre plus facilement accessibles et téléchargeables. Mais ne jetez pas pour autant vos anciens numéros ! Les revues XYZ se collectionnent et des demandes de collections complètes nous parviennent régulièrement.*

**Pierre Grussenmeyer**  
Membre du comité de rédaction

## Les Journées Techniques Leica-Geosystems en partenariat avec Atlog

*Un "Tour de France" de neuf villes a été organisé par ces deux sociétés au cours des mois de novembre et de décembre 2001. Des conférences ont ainsi été données pour présenter les produits de ces marques et surtout pour expliquer les nouvelles tendances du marché topographique (au sens large du terme) 70 personnes participaient à la journée organisée à Bordeaux le 11 décembre 2001.*

### ■ Sur le "stand Leica"

- La révolution du RGF, le RGP, les stations de référence.
- Les nouvelles méthodes de levé et d'implantation.
- Le GPS dans le monde des SIG.

### ■ Sur le "stand Atlog"

- Cartographie-Topographie ATLAS.
- Gestion et maintenance de l'éclairage public - CANDELA
- Levé topographique sur le terrain avec Penpad - GEOVISUAL.
- Etude des réseaux électriques aériens et souterrains - ERAS

Bien sûr il fallait faire un choix parmi plusieurs conférences ou démonstrations qui se déroulaient simultanément. En ce qui me concerne, j'ai suivi avec beaucoup d'intérêt plusieurs conférences dont l'exposé de M. de Moegen.

Celui-ci, a rapidement décrit avec une grande clarté, les principales répercussions du Système de Référence RGF sur les travaux de type topographique.

Il a d'abord fait un bref exposé sur l'histoire de Leica Geosystems (création de la société Wild en 1921... etc), de son organisation actuelle et de ses objectifs pour le futur.

Il a brossé un bref rappel sur les systèmes géodésiques. Le réseau NTF et la projection Lambert (80000 points) et le NGF (réseau de Nivellement IGN69), leurs précisions relatives et absolues.

Les précisions planimétriques du réseau NTF se sont révélées rapidement insuffisantes eu égard au développement des nouveaux outils de mesure et notamment du GPS.

Aussi, un nouveau réseau, légal, vient d'être mis en place et appelé RGF (RRF, RBF, RGP) ; il est associé à la projection RGF93. Ce nouveau système est en 3D, (contrairement à la NTF), mais

pose un problème concernant la 3<sup>e</sup> dimension ; celle-ci est la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde, tandis que le réseau du nivellement français est relatif au géoïde, surface gauche non géométrique. Pour les utilisateurs pour passer de la NTF\_NGF au RGF, l'IGN a mis au point des grilles de conversion.

### ■ Présentation GPS

Quelle est la situation en France en ce qui concerne les stations de Référence ?

Il existe maintenant différents réseaux

- "Phares et Balises", valables uniquement pour les bords de mer.
- RGP (réseau géodésique permanent) fédéré par l'IGN,
- Collectivités locales, stations privées ...

Le schéma d'une station permanente a été présenté, transmission des corrections par UHF ou GSM, ainsi que les coûts (entre 95 et 220 kf). M. de Moegen a ainsi insisté sur l'intérêt du RGF pour les utilisateurs GPS : gain en précision, cohérence, même si on bascule sur la NTF.

Parmi les autres conférences signalées ci-dessus, citons :

- Le GPS pour les SIG ; Utilisation du logiciel GIS Datapro ; démonstrations sur ses différentes fonctionnalités
- Le levé topographique et l'implantation sur le terrain à l'aide du logiciel Geovisual et la "planchette" électronique Penpad, qui, combinée avec des stations Leica (station totale ou GPS) permet un levé topo ou création et révision d'un SIG. Solution très novatrice et en pleine expansion !

Sans nul doute, ces initiatives auprès d'un large public répondent positivement à tous ceux qui s'interrogent sur les technologies du futur lesquelles débordent très largement les méthodes de levé classiques ! ●

CHRISTIAN MEYER - AFT

### Contacts

#### Leica Geosystems SARL,

Parc du St-Laurent, 54, route de Sartrouville F 78232 LE PECQ Cedex,  
Tél : 01 30 09 17 00 - Fax : 01 30 09 17 01,  
[www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com)

#### ATLOG,

522, avenue Reine Mathilde F 76520 Franqueville,  
Tél : 02 32 86 86 00 - Fax : 02 32 86 86 01  
[www.atlog.net](http://www.atlog.net)



# Forum de photogrammétrie du 31 janvier 2002

***Le premier forum Photogrammétrie de l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques (ENSG) s'est tenu la journée du jeudi 31 janvier 2002. Cette manifestation a été organisée par les élèves de la première promotion du Mastère Photogrammétrie Numérique, Image Métrique et Vision 3D; avec le soutien de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection.***

Cet événement a réuni plus de 150 personnes de tous horizons : responsables de sociétés proposant des stations de restitution et de production de données photogrammétriques, chercheurs, géomètres experts, ingénieurs géographes, représentants de sociétés de distribution de données spatiales, élèves de l'ENSG et professeurs venant de toutes les régions de France mais également d'Allemagne, de Belgique, de Suisse, de Hollande et du Maroc.

Cette journée était articulée autour de quatre conférences d'une heure sur des thèmes au cœur des problématiques les plus récentes du monde de la Photogrammétrie :

- A 9h00, M. Michel Kasser, chef de service de l'IGN, a présenté une conférence qui a enthousiasmé l'auditoire, sur les perspectives qu'offre l'arrivée des satellites à très haute résolution, comme Ikonos 2 ou les futures Pléiades, et le rôle que ces images vont être amenées à jouer face à la photographie aérienne classique.

- A 11h30, M. Vincent Tiberghien, PDG de la société FIT, a animé un très intéressant débat sur les enjeux et les problèmes liés au passage au tout numérique pour les sociétés de production de données photogrammétriques. Les questions sur les coûts, les changements de méthode, de matériel mais également les aspects de précision et de difficulté d'exploitation ont été abordées, mais c'est la question sur la difficulté de trouver des opérateurs qualifiés, maîtrisant à la fois l'informatique et les techniques de restitution qui a suscité les plus vives réactions.

- A 14h00, M. Hartmut Rosengarten, de ZI Imaging, est intervenu sur le très innovant concept de diffusion de données géoréférencées par Internet. Cette conférence a donné lieu à la présentation d'une solution développée par ZI Imaging, Terrashare, susceptible de répondre à la demande croissante de données géographiques.

- A 17h00, M. Pierre Grussenmeyer, professeur de l'ENSAIS Strasbourg, a conclu cette journée par une excellente présentation sur les principes de la photogrammétrie architecturale, étayée par de nombreux exemples et mettant l'accent sur les perspectives qu'offrent le développement des appa-

reils photographiques numériques et les logiciels de photo-modélisation.

Les pauses entre chaque conférence étaient l'occasion pour les participants de rencontrer les 9 sociétés venues présenter leurs produits. Autour des unités d'enseignement de photogrammétrie de l'ENSG, les sociétés LH-Systems, ESRI France, ZI-Imaging, Inpho, Digitech International, Research Systems, Istar, Maury Informatique, pour Rollei, et IGN FI ont présenté leurs stations de restitution numérique ( TopStéreo - IGN FI, Socet Set - LH-Systems, ImageStation - ZI Imaging... ).

Les représentants de Research Systems proposaient le langage de développement IDL ainsi que les dernières évolutions du logiciel ENVI; tandis que, sur le stand d'ESRI se tenait une démonstration du logiciel ERDAS Imagine.

Maury Informatique, diffuseur de Rollei en France, a exposé des animations de scènes urbaines en environnement photoréaliste, créées à partir de prises de vue redressées grâce au logiciel Rolleimetric MSR, version 4.

Notons également la présentation de la station de restitution numérique Poivilliers E, développée par M. Yves Egels, enseignant à l'ENSG, avec pour support un levé de coffre gothique pour le Louvre.

Ainsi, le succès de cette journée dénote une forte demande de ce type de manifestation, tant par la diffusion des connaissances sur les évolutions du monde de la Photogrammétrie que par la création d'un espace de rencontre entre ses différents acteurs. Nous pouvons dès lors espérer qu'elle évoluera vers une manifestation annuelle reconnue, organisée par les promotions successives du Mastère de Photogrammétrie Numérique de l'ENSG. ●

## Contacts

Pour les élèves du Mastère Photogrammétrie Numérique,  
Nicolas Bellaïche & Matthieu Deveau – <http://www.ensg.ign.fr>



**M. Rosengarten, ZI Imaging**

# NAVSAT 2001 Navigation et positionnement par satellites

*La deuxième édition de NAVSAT 2001 s'est déroulée du 13 au 15 novembre à l'ACROPOLIS de NICE. Ce congrès, organisé par XXL Communication et soutenu par le Centre Français du Commerce Extérieur, réunissait dans son comité de programme un brillant aréopage de, spécialistes de toutes disciplines des problèmes de positionnement spatial, présidé par Bernard MATHIEU du CNES.*

**L**es organisateurs ont su réunir un très grand nombre de participants étrangers, plus de 70 intervenants et 60% des 600 congressistes. Les conférences avaient été regroupées en onze sessions autour des centres d'intérêt suivants : Standardisation, certification des systèmes - Applications innovantes - Applications scientifiques et spatiales - Positionnement des personnes - Travaux publics et agricoles - Applications maritimes - Géodésie, cartographie - Applications aux secours publics et à la défense - Route et transports publics - Aviation civile et générale - Applications ferroviaires - Synchronisation et mesure du temps.

Il n'est naturellement pas question de détailler les quelque cinquante conférences, qui sont collationnées dans un cd-rom. Citons pour illustrer la variété des sujets traités une étude sur la préservation des tortues de mer, le programme pilote de la ville de Vienne pour une régulation du trafic routier, la description du réseau permanent GPS de l'IGN, les perspectives d'amélioration du secours en mer, etc... Une liste des communications des intervenants français est donnée en annexe. Par ailleurs nous retrouverons sur les stands de l'exposition les applications

effectivement réalisées et commercialisées.

Une grande place a été réservée tant dans diverses conférences que dans la table ronde finale au système GALILEO. Ce projet, dont la phase de définition a été décidé par le conseil des ministres des transports de l'Union Européenne en juin 1999, vise à doter l'Europe d'un système de navigation spatiale indépendant, mais complémentaire du GPS américain et du GLONASS russe ; l'Agence Spatiale Européenne (ESA) est maître d'œuvre du projet. Très ambitieux, celui-ci vise entre autres à garantir "l'intégrité" du système (comprendre la permanence et la fiabilité des mesures), condition totalement indispensable pour ses applications à la navigation aérienne, mais aussi à coordonner toutes ses applications possibles, car c'est la variété et la qualité du service rendu qui seront sa justification. Il devrait aboutir dans les années 2003-2005 grâce à un financement associant public et privé (Public Private Partnership P.P.P.). D'ores et déjà de nombreux acteurs impliqués dans l'industrie spatiale travaillent sur les applications futures (14 partenaires dans le projet SAGA piloté par Thales Avionics). Dans Galileo Industries, chef de file du développement, on retrouve directement



ou par filiales interposées tous les grands noms : E.A.D.S., Alcatel, Thales, B.E.A., ALENIA SPAZIO.

L'architecture de GALILEO comprendrait 30 satellites (dont 3 en orbite de rechange) en orbite moyenne (MEO) à 23.616 km et un réseau au sol de stations de contrôle émettant des signaux d'intégrité. Le système intégrerait EGNOS (European Geostationary navigation Overlay Service), actuellement en phase de test. Rappelons qu'EGNOS est un des trois services interrégionaux\* destinés à améliorer les réseaux GPS et GLONASS en vue de la navigation aérienne, grâce à trois satellites géostationnaires (IOR, AOR-E et ARTEMIS), EGNOS émet en temps quasi réel des signaux d'intégrité sur l'état des constellations GPS et GLONASS.

L'exposition rassemblait plus de 50 exposants. Thales Navigation occupait la place d'honneur à rentrée. Au cœur de l'exposition le CNES présentait un intéressant programme de projections et de conférences, dont sa participation au programme ESTB de test d'EGNOS, à savoir la responsabilité du banc d'essai pour la période de 2001-2003.

Les trois majors de la topographie, LEICA, TOPCON et TRIMBLE, démontraient sur leurs stands leurs plus récents matériels. XYZ et GÉOMÈTRE figuraient en bonne place dans le catalogue.

Le nouveau système 500 de LEICA a déjà été présenté dans le numéro de juin de





XYZ : SR 510 mono-fréquence, SR 520 bi-fréquence, SR 530 bi-fréquence avec la totalité des options RTK pour applications cinématiques en temps réel. L'appareil en démonstration était équipé de deux modems enfichables parfaitement intégrés, l'un pour les transmissions radio à courte distance, l'autre pour les transmissions GSM à grande distance.

TOPCON présentait, pour la première fois en France, les deux nouveaux récepteurs HIPER et ODYSSEY-E, successeurs de la série LEGACY. Ces modèles se distinguent particulièrement. Par un souci de compacité et d'intégration. HIPER réunit dans un même carter l'antenne, le récepteur GPS, le modem pour les liaisons radio et GSM ; le tout peut être monté sur canne, avec le contrôleur, son clavier et son écran sur un boîtier séparé. L'appareil est bi-fréquence et peut fonctionner en statique ou cinématique RTK. ODYSSEY-E a les mêmes possibilités, mais fonctionne plus classiquement avec une antenne séparée et un boîtier réunissant récepteur GPS, modems et contrôleur, ce dernier intégrant WINDOWS E ; une option de l'appareil permet la réception des signaux GLONASS.

Pour TRIMBLE, la Station Totale 5700, déjà comme des lecteurs de XYZ, était la dixième génération de récepteurs GPS de la marque. TRIMBLE présente également sur cd-rom des applications aux travaux publics mettant en valeur les marques fédérées dans sa "TOOLBOX" : ZEISS, GEODIMETER et SPECTRA PHYSICS ; on y peut voir en action un engin de chantier avec deux récepteurs GPS à chaque extrémité de la lame ; à l'intérieur de la cabine le conducteur peut sur son écran contrôler la position et l'inclinaison de celle-ci et suivre les passes successives de son engin. TRIMBLE commercialise également des modules de réception GPS à destination de l'industrie. De nombreux constructeurs, présents à l'exposition, suivent la même voie et le prix de ces modules GPS a chuté de façon spectaculaire autour de 10\$, ce qui autorise des prix très compétitifs pour les instruments grand public.

Ce sont précisément ces instruments que l'on trouve au stand GARMIN ; tous sont des récepteurs 12 canaux compatibles différentiels ; leur précision est inférieure à 15 m en utilisation normale et à 5 m avec un récepteur de corrections diffé-

rentielles ; les logiciels sont en français. La gamme des portables démarre avec des appareils de 150 g. de la taille d'un téléphone mobile et d'un prix de l'ordre de 1.500 F ; les données sont obtenues en plusieurs formats de sortie et dans un nombre impressionnant de systèmes géodésiques ; l'écran permet des tracés de route ; divers accessoires peuvent être inclus : compas électronique, altimètre. Dans le haut de gamme, pour des prix pouvant atteindre 12.000 F et des poids qui ne dépassent pas 700 grammes, on trouvera des cartographies en couleur insérables par cartouches de 8 à 128 Mo, un guidage vocal entre 2 points déterminés, un calculateur de voyage, etc... On peut être étonné par l'ampleur du travail de stockage de données ; le constructeur propose en effet les données cartographiques du monde entier (sauf Amérique) avec routes, voies ferrées, plans de ville, aides à la navigation maritime, les cartes IGN au 1/25.000, les cartes marines du SHOM, etc...

Une gamme lourde est dédiée à la navigation maritime. Les performances GPS sont les mêmes ; mais les appareils sont plus lourds avec un écran de 15 à 25 cm et une batterie externe. Certains modèles incluent un sondeur ultra-son. Prix de 3.000 à 30.000 F.

Signalons les intéressantes applications d'INTEGRAL MEDIA : MEDIABUS et SECURIBUS. SECURIBUS permet de suivre dans un poste central les positions d'une flotte d'autobus positionnés par GPS et de recevoir les enregistrements des caméras placées à l'intérieur ; opérationnel depuis 18 mois, le système est en service à Bordeaux depuis 5 mois, MEDIABUS déclenche sur un véhicule touristique (autocar, bateau, etc) un commentaire en fonction de la position GPS ; le commentaire peut être visuel, telle la projection des œuvres d'un musée ou de détails d'architecture non directement visibles ; on peut songer à des réservations de places de spectacles depuis L'autobus, à des messages publicitaires, le système permettant toutes les combinaisons possibles. En fait la limite des deux systèmes est la capacité de transmission des données entre le mobile et la centrale ; aussi les transmissions à haut débit du type UMTS sont-elles très attendues dans ce secteur.

Des solutions voisines ont été dévelop-

pées par SENA qui équipe une société d'ambulances de MADRID.

Faisant l'impasse sur divers constructeurs encore peu diffusés en France, tels NAVCOM, Datafactory, FASTRAX, INSYST, nous terminerons la visite avec THALES. Certes les équipements destinés à la topographie sont un peu noyés dans l'imposante production de ce grand constructeur, on retrouve un équipement de la série 6500 susceptible de recevoir les corrections EGNOS et WAAS. THALES a repris MAGELLAN, première firme à avoir réalisé des récepteurs GPS de poche, ASHTEC, MLPDSNP, marquant ainsi son intention d'occuper une place de plus en plus importante dans ce secteur.

Les exposants étaient dans l'ensemble très moyennement satisfaits de la fréquentation. Peut-être eut-il été judicieux d'ouvrir plus largement les portes à un public choisi, car il est dommage de réserver à des spécialistes une information sur les techniques spatiales dont certaines applications, dans un proche avenir, concerneront le grand public.

On peut également regretter qu'une fois de plus la langue officielle ait été l'anglais, toutes les conférences, tables rondes, cérémonie de clôture se tenaient en anglais et seule la conférence d'ouverture a bénéficié d'une traduction simultanée. Malgré ces quelques critiques NAVSAT 2001 a été incontestablement une manifestation très bien organisée ; le nombre et la qualité des participants témoignent de son succès. Son utilité est évidente car les techniques de positionnement et de navigation par satellites, qui ont déjà profondément modifié les méthodes des topographes, sont appelées conjointement au développement des transmissions à modifier tout aussi profondément la vie quotidienne.

NAVSAT sera reconduit en 2002, vraisemblablement à la même date et au même lieu.

NavBusiness, première convention d'affaires dans le domaine de la navigation et du positionnement par satellites, a connu, elle aussi un vif succès. Plus de 400 rendez-vous ont été ainsi organisés. Ceux-ci ont été extrêmement bénéfiques à tous les participants et leur ont ouvert des horizons nouveaux. ●

\* Les deux autres services sont WAAS pour les États-Unis et MSAS pour le Japon.



# L'Office National Interprofessionnel des Céréales (ONIC) et les SIG

*Premier Office Agricole créé en 1936 pour réguler le marché du blé, l'ONIC (Office National Interprofessionnel des Céréales) est un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial, placé sous la double tutelle du Ministère de l'Agriculture du Ministère des Finances. Ses métiers de base, essentiellement tournés vers l'accompagnement de la filière, depuis la production jusqu'à la commercialisation, ont été profondément bouleversés par la mise en place de la nouvelle PAC en 1993, qui privilège l'aide à la surface, par rapport à l'aide aux produits. En tant qu'organisme payeur d'un nombre non négligeable d'aides à l'agriculture, pour le compte de l'Union Européenne (40 milliards de FF par an), l'ONIC s'est en effet vu confier le paiement et le contrôle sur place des ACS (Aides Compensatoires aux Surfaces). Dès lors, allait se mettre en place une organisation de contrôle faisant appel à la panoplie la plus large des outils et méthodes de topographie qui explique l'invitation qui nous a été faite de participer à votre colloque, ce dont nous vous remercions.*

## Quelques chiffres à aujourd'hui...

- plus de 300 000 exploitations contrôlées depuis 1993
- 50 000 parcelles agricoles mesurées chaque année
- 600 topofils et 400 planimètres à disposition des contrôleurs
- 60 GPS différentiels
- Plus de 70% de contrôles réalisés par télédétection en 2001 (combinaisons images satellites et photos aériennes).

Les moyens et les formations mis en œuvre ont rapidement positionné l'ONIC comme leader dans le domaine des mesures au sol liées aux aides communautaires. Ainsi, faisant suite au rapprochement avec l'ONICOL (Office National Interprofessionnel des Oléagineux, ex SIDO) opéré en 1999 nous nous sommes vu confier le montage du SIG oléicole, rendu obligatoire par l'Union Européenne à tous les Etats membres producteurs d'huile d'olive.

## Le SIG Oléicole (OLISIG)

Le verger oléicole Français, modeste par rapport à ses voisins Italiens et Espagnols, étend néanmoins ses 3 millions d'oliviers sur une zone de 33 000 km, répartie sur 13 départements du sud de la France. L'objectif du SIG, en cours d'achèvement, a été de transposer le casier oléicole existant, fondé sur une déclaration cadastrale, en un ensemble de polygones représentant chaque verger, localisé sur une orthophoto noir et blanc, et permettant de valider (ou non) par comptage automatique ou manuel, les oliviers déclarés par les producteurs.

La couverture aérienne utilisée pour l'occasion a été réalisée en septembre 1997 par l'IGN, pour le compte de la Commission Européenne, qui avait à l'époque entrepris une gigantesque investigation statistique à l'échelle de l'ensemble des Etats Membres concernés, pour disposer d'une information autonome sur le verger communautaire. Cette photographie en noir et blanc, à résolution du mètre, a été orthorectifiée avec une précision de 2,50 mètres,

et recalée sur le cadastre scanné, avec pointage de chaque parcelle "utile", c'est à dire figurant dans le casier oléicole cadastral. L'entreprise s'est révélée plus ardue que prévue, en raison de l'extrême hétérogénéité du verger Français, et des visites sur places plus nombreuses que prévu, pour recueillir des informations trop imprécises sur écran. Cette opération a néanmoins conforté encore nos compétences dans ce domaine qui nous ont permis de développer par ailleurs dans nos équipes Régionales (17 Services extérieurs, 350 agents fonctionnaires) la phase de PIAO (Photo Interprétation Assistée par Ordinateur) relative au contrôle des aides surfaces par télédétection.

Dès lors, à l'occasion de la parution du Règlement 1593/2000 de la Commission, qui impose à chaque Etat Membre la mise en place d'un SIG pour les aides fondées sur les surfaces, c'est tout naturellement vers l'ONIC que s'est tourné le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche pour participer activement au basculement du système actuel, reposant sur le cadastre, vers le dessin des



îlots de culture, constitutif d'un SIG généralisé France entière.

## Le SIG "Aides compensatoires aux Surfaces"

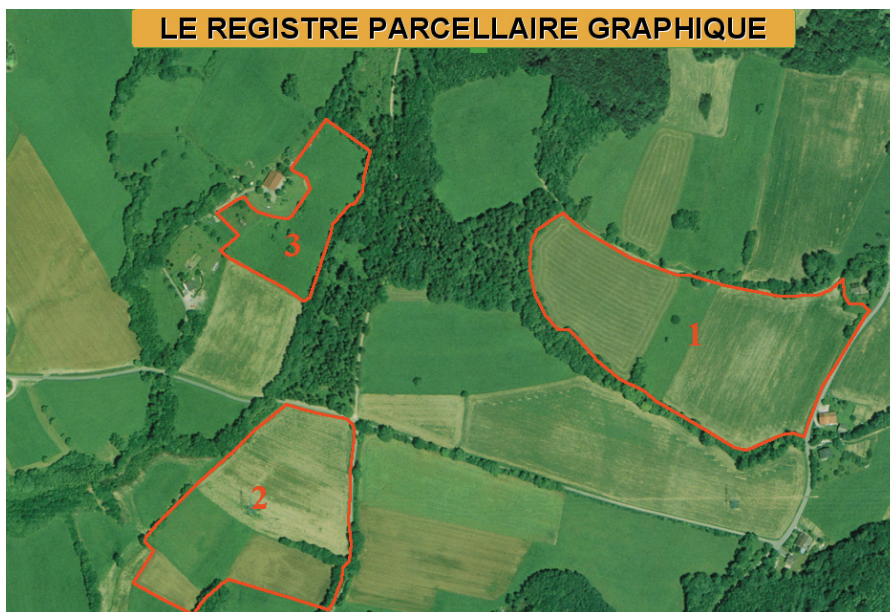
Compte tenu des progrès accomplis dans le domaine des SIG depuis la mise en place des aides surfaces (1993), la Commission Européenne a estimé nécessaire, dans un souci de simplification des dispositifs de déclaration, de généraliser à l'ensemble des Etats Membres l'usage d'une couverture photographique, à résolution du mètre, et renouvelée tous les 5 ans, sur laquelle les agriculteurs pourraient aisément se repérer. Il s'agit donc pour la France de mettre en place avant 2005 un nouveau système déclaratif qui remplace le registre parcellaire cadastral actuel par un registre parcellaire graphique. Le défi est d'importance car le système mis en place doit être fiable, simple et facile d'utilisation, et achevé impérativement dans les délais (1<sup>er</sup> janvier 2005, couverture nationale) sous peine de remontrance forte de la part des autorités de Bruxelles. Il était donc fondamental de bien maîtriser le changement de système.

### ■ La phase expérimentale :

Afin d'évaluer plusieurs modalités de passage du registre parcellaire cadastral au registre parcellaire graphique, le Ministère de l'Agriculture a demandé à l'ONIC de réaliser, avec les Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt concernées, une série d'expérimentations qui se sont déroulées dans le courant de l'année 2001, et viennent de s'achever.

Les 3 méthodes évaluées ont été les suivantes :

- Le registre parcellaire graphique pré-imprimé transmis aux agriculteurs est établi à partir des parcelles cadastrales numérisées du registre parcellaire de l'année précédente.
- L'agriculteur reçoit une série de photographies aériennes qui couvrent ses îlots déclarés l'année précéden-



te, mais sans pré-impression des parcelles cadastrales déclarées (utilisation des limites de sections cadastrales vectorisées).

- L'agriculteur indique ses îlots à un opérateur qui les trace directement sur un écran d'ordinateur où se trouve chargée l'orthophotographie aérienne sur fond de SCAN 25 IGN.

### ■ Les résultats de l'expérimentation :

- La première méthode décrite nécessite la numérisation de la totalité des parcelles cadastrales "agricoles" de la France entière, ce qui nécessiterait un gigantesque chantier de numérisation sur 3 ans, au moment même où la Direction Générale des Impôts s'apprête à démarrer le scannage de l'ensemble des planches cadastrales afin de constituer avec l'IGN le futur RGE. Cette orientation, pourtant séduisante mais coûteuse et difficilement compatible avec le calendrier retenu, ne sera vraisemblablement pas retenue comme méthode nationale.
- La seconde méthode, qui s'appuie sur une scannérisation des plans d'assemblage, a donné des résultats tout aussi satisfaisants que la première, pour un coût évidemment moindre. Les agriculteurs ne semblent pas connaître de difficultés

majeures sur une photo noir et blanc au 1/7 500 pour repérer les îlots de culture qu'ils exploitent. Cette méthode présente d'ores et déjà une mise en œuvre plus aisée.

- La troisième méthode, bien perçue des agriculteurs, ne peut pas être généralisée (430 000 déclarations déposées en 2001 !). En revanche, sa faisabilité, testée avec succès, en fait un outil précieux pour les cas difficiles..

## Conclusion : et demain ?

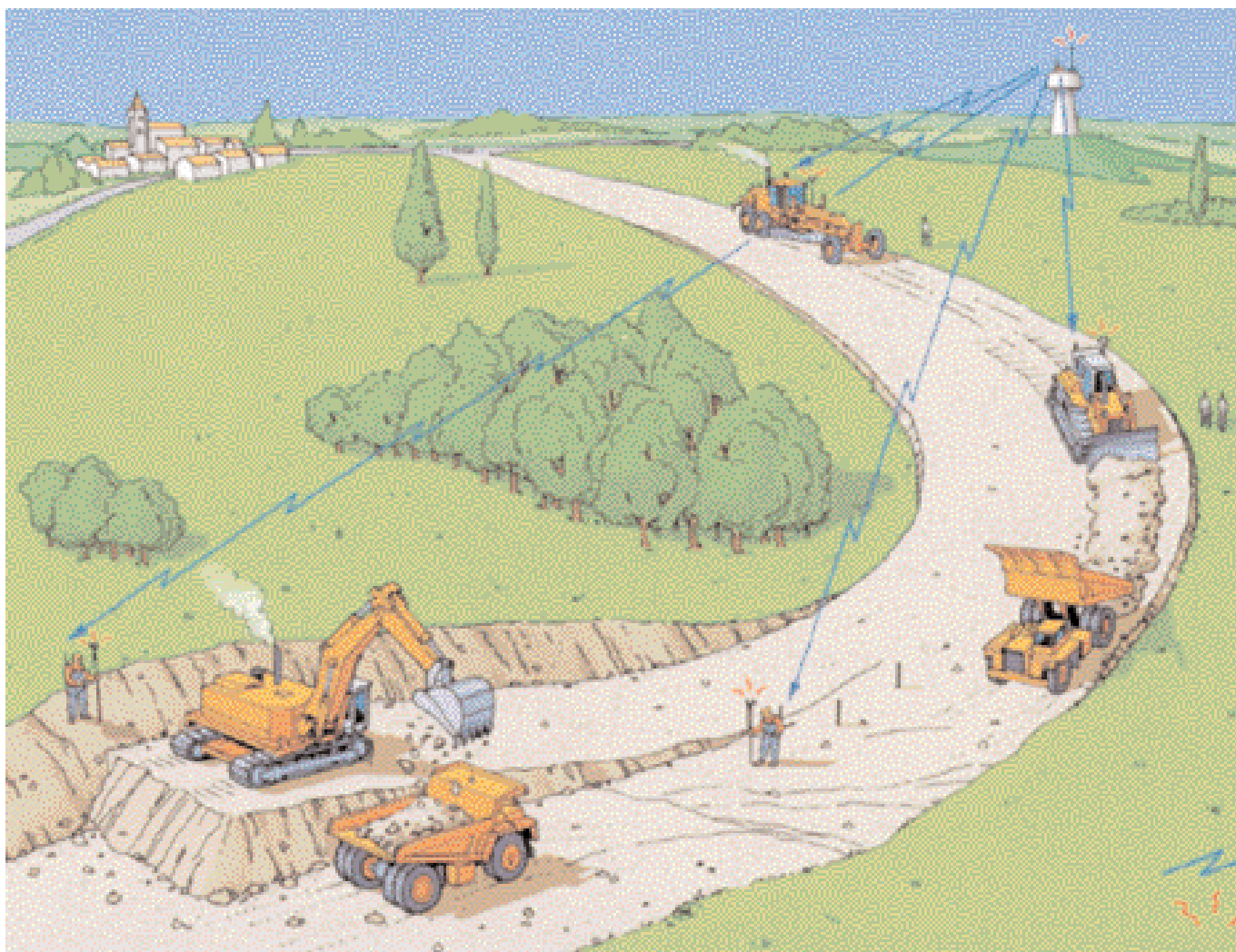
Demain, c'est déjà aujourd'hui, puisque l'année 2002 verra le basculement de 10 départements en méthode dite "sections" vers la déclaration graphique. En d'autres termes, l'administration, avec l'aide de ses partenaires, doit être en mesure de fournir à la fin du premier trimestre 2002, à près de 50 000 agriculteurs, l'image de leur exploitation, et de traiter les informations graphiques qui lui seront retournées.

L'ONIC se met en ordre de bataille pour relever, aux côtés du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, et des Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt, ce nouveau défi qui jette les bases de la généralisation de l'approche "géographique" dans l'agriculture. ●

**LAURENT ROMAN**

Adjoint au Chef du Service des Contrôles de l'ONIC/ONIOL

# Les terrassements à l'ère des technologies spatiales



*Guider les engins de terrassement avec précision a toujours été un objectif essentiel sur les chantiers pour respecter la géométrie du projet. La conception d'une nouvelle machine de réglage des platesformes par rabotage, le Rotograde 6 000, par la société GTM Construction, aux performances inégalées, a amené celle-ci à rechercher une technique de guidage différente des méthodes conventionnelles (palpeurs, laser, stations robotisées, ...), dont la mise en œuvre lourde limitait le rendement.*

**L**e défi a consisté à développer un système de guidage et d'asservissement permettant d'obtenir une précision altimétrique centimétrique à partir des mesures GPS dont la précision n'est que de 4 à 5 cm. L'idée originale consiste à traiter, non pas la mesure GPS elle-même, mais les écarts entre les différentes mesures transmises de façon statistique.

Un partenariat a été conclu entre GTM Construction et Thalès Navigation qui a permis de développer la gamme CENTAUR (Civil Engineering Technology for Automatic Roadmaking), avec la participation de Rabaud pour les domaines mécaniques et hydrauliques de l'asservissement.



La recherche d'un système complètement automatisé a conduit à développer 3 logiciels qui couvrent l'ensemble des opérations sur le chantier : du levé initial du terrain à l'asservissement des engins de réglage en passant par le calcul du projet et les implantations topographiques.

Cette innovation majeure a été récompensée par le grand prix de l'innovation Groupe GTM du "Neurone Economie" du palmarès des Entrepreneurs Européens de la Technologie, et de la médaille d'or du concours de l'innovation TP Tech 2001.

Adapté aux différents besoins du chantier, CENTAUR se présente en trois modules distincts :

■ **Le module Project** qui permet la saisie ou l'importation du projet à réaliser (route, autoroute, voie ferrée, aéroports, plateforme,...) à partir des données fournies par la maîtrise d'œuvre. C'est un logiciel convivial qui fonctionne sur micro-ordinateur compatible Windows 95/98/NT. Project génère un fichier de travail au format CENTAUR nécessaire au fonctionnement de Driver et pouvant être utilisé pour Walker.

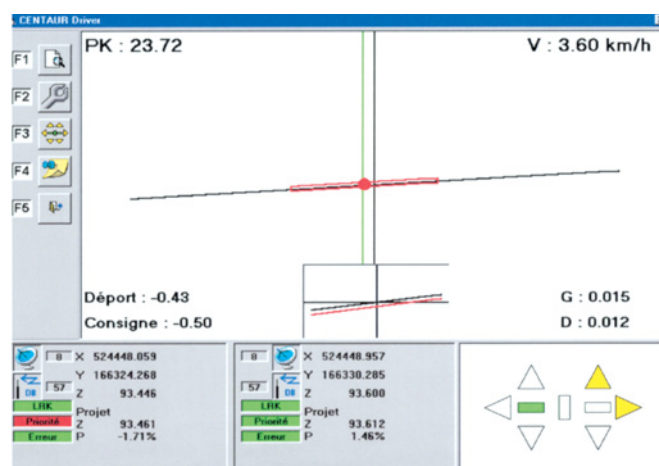
■ **Le module Walker** est un logiciel qui a d'abord été conçu pour fournir aux topographes la visualisation de leurs positions par rapport au projet calculées à la verticale de l'antenne GPS, fonction très utile en terrain vierge sans implantation préalable par exemple.

Cette fonctionnalité permet de suivre au quotidien l'évolution des travaux et, couplée à un module de calcul de cubature, d'en estimer les rendements. Elle permet également d'effectuer des levés de points, qu'ils soient situés sur le chantier ou à proximité.

Le projet théorique étant chargé à partir du module Project, le calcul des données géométriques et l'implantation des points caractéristiques qui en découlent sont réalisables en temps réel sur le terrain.

■ **Le module Driver** dirige l'asservissement des engins. Ce logiciel compare la position en trois dimensions de la machine donnée par un capteur GPS par rapport aux coordonnées théoriques du projet données par le module Project. Il permet le respect des tolérances altimétriques et planimétriques de l'ouvrage à réaliser, sans intervention d'équipes de topographes. Ce contrôle s'effectue avec une précision centimétrique, de jour comme nuit, dans les environnements les plus délicats (poussière, brouillard, pluies,...) et sur les projets aux géométries les plus complexes, comme la piste du centre d'essais de Renault, où ce logiciel fut validé.

Grâce au module Driver et à l'écran embarqué, le conducteur reçoit en permanence la visualisation de la position de son engin sur l'axe en plan, le profil en long et le profil en travers calculés à la verticale de l'antenne GPS. Cette visualisation permet une aide à la conduite que l'opérateur maîtrise manuellement, mais il est surtout possible, par comparaison avec la géométrie du



projet théorique, d'asservir totalement l'outil de terrassement, ce qui donne une précision maximum.

**CENTAUR** permet aujourd'hui d'envisager des méthodes de travail nouvelles, plus rapides, plus précises et plus sûres. Il ouvre la voie à une automatisation intelligente des engins et surtout à la création d'une chaîne numérique continue entre le bureau d'étude, l'exécution et les contrôles.

La suppression des piquetages topographiques permet de mettre en œuvre plus vite les moyens de production et améliore la sécurité par la diminution du personnel travaillant autour des engins.

Avec des performances de productivité et de précision accrues, CENTAUR apporte une économie sur l'exécution des travaux et sur la quantité de matériaux utilisés.

La souplesse du système utilisant une station fixe pour un chantier de 30 km linéaire permet de faire évoluer un nombre illimité de machines ou d'équipes de topographes sous une seule et unique référence.

A ce jour, plus de 10 000 000 de m<sup>2</sup> ont été réglés. Après la mise au point de CENTAUR sur sa première Rotograde, GTM Construction a adapté le système sur d'autres engins : 28 récepteurs GPS équipent aujourd'hui deux rotogrades, dix niveleuses, deux boteurs et un pulvémixeur ainsi que six équipes topographes. Une entreprise routière et une entreprise anglaise utilisent également ce système sur niveleuse.

Thalès Navigation est chargé du développement et de la commercialisation de la gamme CENTAUR avec un partenariat de GTM TERRASSEMENT pour le "hard" et de PGM SAT, filiale de GTM pour le "soft".

D'autres applications intéressantes du positionnement par satellites sont actuellement en cours de développement dans le guidage et le suivi spatial des engins de terrassement. ●

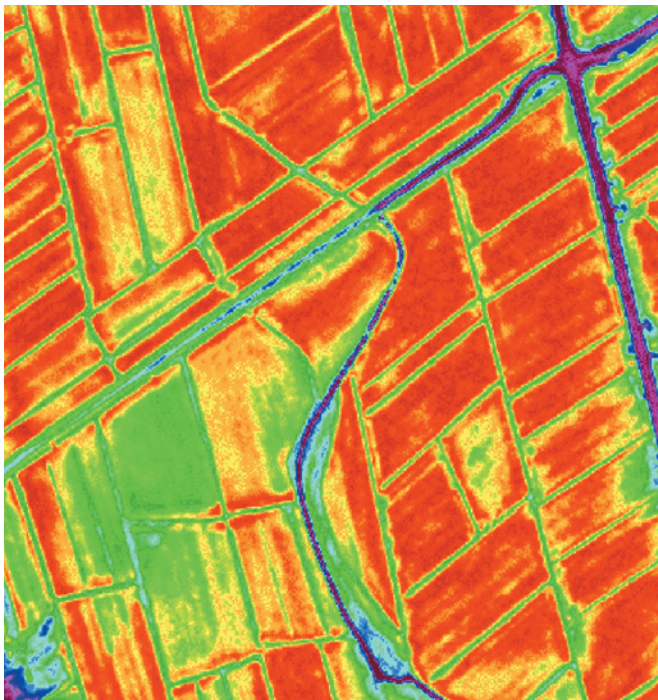
**M. HINTZY**

# Le topographe et l'hydrologue...

## Conte moderne et drolatique...

*L'hydrologue a besoin, pour ses calculs hydrologiques, d'informations topographiques avec un bon niveau de précision. Dans ce cas, des approches traditionnelles peuvent être faites en utilisant les cartes géographiques, ou mieux, en utilisant des techniques de restitutions photogrammétriques optiques pour reconstituer la forme et les pentes du bassin versant, les zones de drainages, les utilisations du sol. Une autre méthodologie peut être utilisée : le Laser Scanner Aéroporté. Les restitutions atteignent le même niveau de qualité que la photogrammétrie, mais cette méthode est plus rapide et directement "injectable" dans des logiciels de modélisation géométrique des terrains (M.N.T.). L'utilisation en est très facile. Il devient possible de calculer un hydrogramme significatif d'un aléa particulier.*

*Mais l'hydrologue devient hydraulicien. Les nécessités de l'hydraulique demandent un grand niveau de précision. Les ponts, les digues, les lacs, les vannages, ou autres, impliquent une précision très grande de la géométrie des chenaux de routage d'écoulements. L'écoulement, la dynamique des vagues de crues, la mise en charge ou en décharge des chenaux complexes des rivières doivent pouvoir s'appuyer sur une topographie très précise. Le topographe doit fournir des informations sur des sections de vallée, depuis l'aval jusqu'à l'amont, de la rive gauche à la rive droite de la rivière. Toutes les structures pouvant avoir une influence sur l'hydraulique doivent être mesurées et localisées en une restitution tri-dimensionnelle. C'est un très lourd travail, mais à la fin, quand l'opération est réussie, le topographe peut fournir à l'hydraulicien une géométrie représentative des zones de routage des inondations. L'hydraulicien restituera alors les comportements hydrodynamiques de la rivière, et pourra ainsi suggérer des solutions pour sauver des populations ou des villes.*



Restitution en fausses couleurs des reliefs dans une zone de marécages à l'aide du laser-scanner aéroporté. Remarquer dans le cliché, la zone des turbulences hydrauliques. La précision est ici centimétrique.

**S**ouvent, lorsque l'hiver apparaît, et que les longues journées de pluie empêchent le topographe d'aller vaquer à ses opérations par champs et prairies, l'hydrologue et l'hydraulicien se réjouissent... Pour eux, cette pluie qui limite la visibilité et empêche l'utilisation des instruments optiques, sans compter qu'il mouille l'opérateur géomètre qui préfère généralement l'abri d'une couette bien chaude à un vague parapluie mal attaché au pied du théodolite, cette pluie donc est à l'origine de toute vie professionnelle... Et oui, le malheur des uns, fait le bonheur des autres, dit la parabole...

Une crue, une inondation, des vallées envahies par les eaux, des torrents qui dévalent, tout un monde en chaos, voilà l'espace dans lequel l'hydrologue trouve son inspiration... Et voilà pourquoi il viendra extraire de son bureau douillet le topographe bien prudent... Déjà qu'il y a les vaches dans les prés, et les dangers qu'elles génèrent... Ne vous a-t-on jamais parlé de la vache folle ?

Donc, le couple infernal se forme après la crue : l'hydrologue, vil tentateur, vient débaucher le topographe... Ah, si j'étais La Fontaine, je vous raconterais cela autrement, mais je vais vous montrer ce qui se passe.

Pourquoi donc l'hydrologue vient-il poser des problèmes au topographe qui n'a jamais eu affaire à un aussi bizarre personnage. Et bien, parce que l'hydrologie ne saurait exister sans la géométrie... En hydrologie comme en chez Pythagore,

on peut dire "Que nul n'entre ici s'il n'est géomètre...".

Deux niveaux d'approches concernant le topographe et l'hydrologue :

- le bassin versant, c'est à dire l'endroit où l'eau est collectée, et où elle se concentre pour constituer les écoulements
- la rivière, lit mineur et lit majeur, où s'effectuent les écoulements qui sont perturbés par des ouvrages ou des discontinuités géométriques...

## Donc, l'hydrologue a besoin de mesures...

Longtemps, l'hydrologue s'est contenté de statistiques sur des débits, pour essayer de prévoir par des méthodes de strict calcul des aléas des écoulements... Et puis l'informatique est née... Et avec elle l'insatiable besoin de pouvoir prévoir plus efficacement. L'hydrologue, dans ces temps anciens où l'informatique n'existait pas, Ah, le beau temps, c'est à dire dans mes débuts professionnels, (Je suis vieux) se contentait de manipuler les statistiques, les lois de probabilité, en particulier les lois d'un certain Gumbel ou d'un certain Galton... Mais, avec le temps, il est apparu qu'il était possible de "classifier" les bassins versants en petites unités hydrologiquement homogènes, et en groupes homotypiques... Ce fut le début, la boîte à Pandore était ouverte, et le déchainement des forces de calcul n'a cessé de se poursuivre....

Classifier les bassins versants : par leur superficie, leurs pentes, leurs formes... Cela, c'était facile, en utilisant les cartes fournies par l'I.G.N., un bon curvimètre, un bon planimètre, et la messe était dite...

Mais à bien y voir, si les bassins versants de même forme et de même superficie, avec le même couvert végétal ont les mêmes débits de crue, comment cela se faisait-il ? Et c'est la naissance de l'hydrologie déterministe...

Comment, avec une pluie connue, sur un bassin versant dont la géométrie est connue, est-il possible de prévoir les crues... Simplement en appliquant sur une analyse tri-dimensionnelle d'un espace découpé en segments triangulaires par la méthode des polygones Delaunay, des lois hydrauliques d'écoulement et de composition des flux. Le tour était joué, pour l'hydrologue, mais pas pour le topographe à qui l'on demandait une information matricielle sous forme d'un modèle numérique de terrain de haute précision... Avec une densité de points significative.

Plusieurs méthodes ont donc été testées. Il ne pouvait être question de poursuivre l'investigation avec les moyens traditionnels de la topographie optique, ou avec les appareillages lasers qui ne sont pas à l'échelle d'un bassin versant de plusieurs dizaines, voir plusieurs centaines de kilomètres carrés... Alors sont apparues les méthodes de photogrammétrie, pour restituer un espace après analyse d'une série de clichés, et un très long dépouillement mené par les ingénieurs de l'I.G.N. ou d'autres organismes particulièrement opérationnels ; ou alors, dérivé des techniques spatiales un nouveau système a été testé : le Laser Scanner Aéroporté, qui scannérise le sol préalablement quadrillé de stations de réf-



**Reconstitution de la matrice des pentes avec direction, intensité superficielles de chaque maille, ce qui permet de simuler la génération des débits sur un bassin versant..**

rence GPS, à l'aide d'un avion équipé lui aussi de 4 GPS déterminant lacet, roulis, tangage, dérive... Le laser scanner balaye la superficie du sol, et le signal est récupéré grâce à une matrice en fibres optiques, à plusieurs centaines de canaux qui mesurent la déflexion, la durée de retour du signal, données qui sont directement numérisées à bord, et immédiatement interprétables à l'atterrissage de l'appareil de prise de mesures. Les précisions en x,y,z, sont du même ordre que celles de la photogrammétrie. Si l'on fait plusieurs passes sur un même site, en utilisant des méthodes d'interférométrie, en positionnant des repères optiques parfaitement localisés de manière tri-dimensionnelle sur le territoire observé, on peut obtenir des précisions d'ordre de 10 cm en z et 15 cm en x et y... Et cela directement exploitable le lendemain du survol... Précisons que ce matériel expérimental est développé en Allemagne par la société TOPOSYS, et requiert une compétence d'un personnel très spécialisé (géodésiens).

Le topographe est serein, les données sont acquises sans trop de difficultés. L'hydrologue est heureux, grâce à ce système, à l'échelle du bassin versant, il lui suffira de reconstituer le relief en trois dimensions, et de reporter les informations nécessaires, et de mettre sur chaque triangle du polygone Delaunay, défini en axe, intensité de pente, superficie et rugosité, ainsi qu'en liens avec les triangles voisins, une intensité de pluie calculée ou mesurée par ailleurs qui va constituer une lame d'eau qui va s'écouler plus ou moins rapidement et rejoindre toutes les lames d'eau de la matrice d'écoulements, pour constituer des flux qui vont router dans la vallée proprement dite...

Mais dans la vallée proprement dite, l'information topographique générale, avec sa précision altimétrique décimétrique n'est pas suffisante pour être véritablement représentative de la capacité de routage des flux par un chenal et des débordements possibles de ces flux sur des zones que l'on appelle champs d'inondation.







- ■ ■ Pour cela, il faut avoir recours à la topographie classique, celle qui est pratiquée par la majorité des professionnels des cabinets de géomètres topographes. Encore est-il qu'il faut qu'il y ait harmonie entre le souhait de l'hydrologue devenu maintenant hydraulicien, et les possibilités opérationnelles du topographe. L'hydrologue est un type compliqué, mais un coup d'avion, et son problème est réglé. L'hydraulicien est une sale bête qui a besoin de précisions centimétriques, bien sûr, un centimètre, quand l'eau déborde par dessus un barrage, cela signifie quelque chose... Le Docteur Jekyll devient Mister Hyde....

## Les choses se gâtent

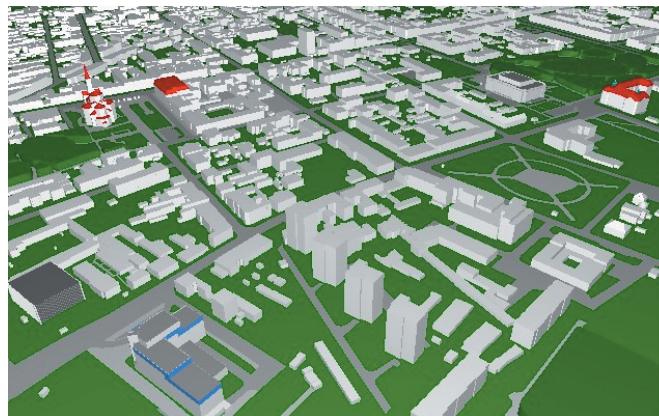
L'hydraulicien commence par expliquer, en douceur, avec charme, au topographe qu'il lui faut des transec : des sections en travers... Prenant en compte la totalité de la vallée, lit majeur et lit mineur (il faut se tremper ou même faire de la bathymétrie à l'aide d'un sonar ou d'une perche), avec des pas de mesure généralement assez serrés, de l'ordre généralement de 30 mètres, en mentionnant toutes les discontinuités rencontrées.... Et tout cela calé en N.G.F. Et ces transecs il en faut en moyenne un tous les 100 mètres, et densifiés si des discontinuités majeures apparaissent.

Complicquant encore la chose, il faut qu'entre ces transecs soient mentionnés des points selon un semis qui permette de cerner les discontinuités dans la forme du fond de la vallée. Mais le pire, ce sont les ouvrages hydrauliques : il faut tout : le profil immédiatement aval, le profil immédiatement amont, toute la géométrie... en hauteur, en largeur, en profondeur, dans toutes les dimensions, tous les points doivent permettre une reconstitution tri-dimensionnelle des ouvrages....

Et enfin, comme les choses auraient jusqu'ici été simple, il faut que le travail commence à l'aval pour remonter vers l'amont, et toujours par la rive gauche, pour aller vers la rive droite.... Ceci parce que les conditions d'un écoulement sont déterminées par les contraintes aval... Et que les modèles hydrauliques dynamiques tri-dimensionnels actuels sont construits comme cela...

Donc le topographe s'arrache les cheveux, s'il lui en reste, lorsque l'hydraulicien vient le voir et lui dit en plus, d'un air sucré : "dans une confluence ou une diffuence, vous savez, j'ai besoin du profil aval le plus proche lorsque les écoulements sont régularisés, et du profil amont le plus proche avant que les écoulements ne soient perturbés, et cela sur chacun des bras..." De quoi devenir chèvre dans un champ au milieu des vaches pour un topographe normalement constitué qui préfère retourner bien vite à ses pratiques foncières habituelles...

Alors, si le topographe a la force nécessaire d'arriver au bout de son pensum, lorsqu'il a passé ses nuits sur Autocad à restituer avec difficulté les carnets de notes mouillés, lorsqu'il a soigné son rhume acquis à se baigner ainsi dans des rivières glacées, si le topographe donc survit et apporte humblement à l'hydraulicien tyrannique le fruit de ses longues nuits glacées d'hiver loin de sa femme et de la douce chaleur de son foyer, si le topographe vient, l'air battu donner son CD rom à l'hydraulicien hautain, c'est tout à coup le nirvana pour l'hydraulicien, qui découvre avec joie, qu'il peut faire couler l'eau



**Reconstitution tri-dimensionnelle de la ville de Bydgoszcz (Pologne) dans le cadre d'un programme de lutte contre les inondations. Création d'un S.I.G. Tri-dimensionnel.**

dans l'ordinateur, et sortir des images de synthèse plus réelles que le réel, et dire à Monsieur le Maire, d'une manière péremptoire : La crue centennale atteindra le Cimetière... Et le topographe se dira alors, pour un peu, elle m'aurait aussi atteint à cet endroit là... ●

**PAR YANN DRUET**

Ingénieur en Génie Rural - Géographe Géomorphologue  
Directeur Technique du Bureau d'Etudes 2 EMA

## ABSTRACT

*The hydrologist need, for hydrograph calculations, topographic datas with a good level of precision. In this case, the approaches are done with geographical maps, or, better, with photogrammetric restitutions from basin slope, the total drainage area, land use. Another methodology can be use : the Laser Scanner in board of a plane. The restitutions are at the same quality level than photogrammetry, but its more speed and directly importing in Modeling Ground Systems. It is easy to use. Its possible to compute the significative hydrograph of specific occurency. But the hydrologist became hydraulic engineer....The hydraulics requirements needs a great level of precisions. The flow routing, the dynamic wave progression, the charge and discharge of the river complex channel, the influences of bridges, dams, lakes, watergates, and so, involve a great precision in topographic approach of the runoff channel geometry. The topographer must gives informations on valley transverse cuttings, from the downstream to upstream, from left bank to right bank. All structures must be measured and localised in a three-dimensional approach. It's a very hard job, but at end, when he is successful, the topographer can give a representative geometry of the floodings areas of a river. The hydraulic engineer will restore the hydrodynamic comportment of the river, and suggest solutions to save populations or cities.*



# Urbanisme : La loi SRU

## Réforme des instruments des politiques urbaines

*Si l'on se réfère à la définition encyclopédique de l'urbanisme, on trouve : Ensemble des mesures techniques, administratives, économiques et sociales qui doivent permettre un développement harmonieux, rationnel et humain des agglomérations. Le gouvernement a entrepris depuis le printemps 1999 une vaste réflexion sur la rénovation de la politique urbaine, considérant qu'une remise en cause profonde du droit de l'urbanisme mis en place par la loi d'orientation foncière de 1967, s'avérait urgente. Trente ans de logique fonctionnelle ont généré des agglomérations en tache d'huile. Nos parlementaires ont adopté une nouvelle loi : la loi Solidarité et Renouvellement Urbain ou loi SRU applicable depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2002. La loi SRU conçue pour la ville, va-t-elle favoriser la complémentarité entre campagne et agglomération ? Ne peut-on craindre l'accentuation d'un antagonisme par la dépendance des ruraux par rapport aux citadins ?*

### MOTS CLES

loi SRU,  
Urbanisme,  
aménagement  
du territoire.

**E**n 1967, l'objectif majeur était de donner les moyens à la personne publique d'organiser le développement de la ville vers sa périphérie, afin de produire des logements nécessaires à l'accueil des 15 millions de personnes qui en 20 ans ont afflué de la campagne vers les villes.

Aujourd'hui, 80 % des français vivent en milieu urbain dont 16 % en zone périurbaine, on parle de "rurbanisation". Cette extension de la ville a spécialisé et cloisonné les lieux : lieux d'habitat, de travail, de commerce, de détente, plus ou moins bien reliés entre eux, générant des problèmes multiples de natures diverses. Les besoins de la personne ont évolué autour du travail et activités exercées en dehors de la vie professionnelle.

La famille a changé, la disponibilité croissante des personnes de plus de 60 ans, ne sont pas sans conséquences sur la vie sociale et économique.

L'entreprise s'est adaptée aux exigences de l'économie de marché. Le processus d'urbanisation est influencé par l'affrontement du coût de la mobilité et par la vitesse des déplacements.

L'organisation est aujourd'hui constituée de plusieurs centres d'intérêt générées par les transports (les complexes d'échanges urbains), le travail (les ZA), la consommation (les zones commerciales), la détente et les loisirs (parcs, centres d'activités sportives, etc.). Ces diverses centralités ne sont pas compatibles avec les centres anciens - Résultats d'un système d'interactions sociales.

La loi SRU demande aux acteurs locaux de prendre désor-

mais en considération tous les secteurs du territoire et non plus ceux sur lesquels pèsent de forts enjeux : c'est le principe général de l'urbanisation économe et équilibrée des espaces naturels, urbains, périurbains et ruraux. L'espace agricole et forestier n'est plus considéré comme une réserve foncière, mais comme une partie non construite de la ville, reconnue à travers le volet environnemental du traitement paysager des entrées de villes.

A partir de ce cadre général, la loi SRU s'inscrit comme un outil de gestion global des politiques urbaines qui intègre :

- La rénovation du cadre juridique de l'urbanisme : nouveaux outils d'urbanisme, concertation, protection des acquéreurs,
- Le développement du logement social : obligation de réaliser des logements sociaux, définitions de cadres d'interventions des HLM,
- Le renforcement de la politique de déplacement urbains,
- L'amélioration de l'habitat privé.

### Historique des documents d'urbanisme :

Si l'aménagement de l'espace a toujours fait partie des préoccupations des premiers hommes, le droit de l'urbanisme est très récent.

Il est le résultat de l'empilement des textes édictés pour faire face à des problèmes de plus en plus complexes.

Pour mémoire, les premières agglomérations sont le fruit de la volonté des souverains sur :





- ■ ■ • le domaine (Antiquité - Sully 1607)
- la propriété (salubrité, monuments historiques)

## ■ Les premiers textes

Traitement juridique de l'urbanisme

**1919 Loi Cornudet** (reconstruction d'après-guerre)

**1924 Loi sur les lotissements**

**1935 Décret loi sur le projet** d'aménagement régional

## ■ Puis confirmation de prédominance de l'État

**1943 loi conférant la maîtrise de l'urbanisation**, création des permis de construire, réforme des lotissements, possibilité à l'État de diviser le territoire en ZONES, principe de la NON-INDEMNISATION des servitudes d'urbanisme (encore en vigueur aujourd'hui).

Après la seconde guerre mondiale, l'urbanisme réglementaire s'enrichit d'un urbanisme opérationnel où la concertation et l'aspect qualitatif veulent prendre une part de plus en plus importante.

### • Urbanisme volontariste

**1957-1958 Z.U.P.** et réorganisation urbaine

**1962 Z.A.D.**

- Plans d'urbanisme Directeur
- Plans d'urbanisme de détail et plans sommaires.

**1967 loi d'orientation foncière**

(PILIER du droit de l'urbanisme jusqu'en 2000)

**1975 P.L.D. et Z.I.F.**

**1976 Modification des Z.A.C. et lotissements**

### • Urbanisme décentralisé

**1983 Loi de décentralisation**

- Modification des rapports entre l'État et les collectivités
  - Compétences d'urbanisme confiées sous contrôle de l'État.
- Généralisation des P.O.S.  
=> 70 % du territoire français  
deviennent inconstructibles - sous le contrôle de l'État.

### • Remise en cause de la décentralisation

A partir de 1986, un empilement de textes vient enrichir le Code de l'Urbanisme: loi littoral loi montagne loi aéroport  
- lois paysages et environnement (loi Barnier - loi Royale)  
- loi d'orientation pour la ville  
- loi sur le droit au logement  
- loi d'aménagement du territoire (loi Pasqua) loi Chevènement  
- loi d'aménagement du territoire pour un aménagement durable (loi Voynet)

Le Code de l'Urbanisme compte à ce jour 2 000 articles.

## ■ Le propos de la loi SRU :

La loi SRU permet à la fois :

La loi S.R.U. (Solidarité et Renouvellement Urbain) dite loi Gayssot-Besson vient à la fois :

### • Synthétiser les textes existants depuis 1967 concernant

- l'organisation de l'espace
- les grands équilibres espaces urbains et à urbaniser et espaces naturels, agricoles ou forestiers
- la restructuration des espaces urbanisés
- la protection des paysages
- la prévention des risques

### • Ajouter de nouveaux objectifs à prendre en compte :

- l'équilibre social de l'habitat
- la construction de logements sociaux
- l'équilibre entre l'urbanisation et la création des transports collectifs
- les équipements commerciaux et artisanaux
- la localisation préférentielle des commerces.

## La loi SRU est un monument constitué de 209 articles réunis sous 5 titres :

La loi S.R.U. est un monument constitué de: 209 articles réunis sous 5 titres

**TITRE 1 : Renforcer la cohérence des politiques urbaines et territoriales**, dans lequel on retrouve:

- les documents d'urbanisme (S.C.O.T, P.L.U., C.C.) et les opérations d'aménagement (lotissements, Z.A.C...

**La loi SRU demande aux acteurs locaux de prendre désormais en considération tous les secteurs du territoire et non plus ceux sur lesquels pèsent de forts enjeux : c'est le principe général de l'urbanisation économe et équilibrée des espaces naturels, urbains, périurbains et ruraux. L'espace agricole et forestier n'est plus considéré comme une réserve foncière, mais comme une partie non construite de la ville, reconnue à travers le volet environnemental du traitement paysager des entrées de villes.**



- le financement de l'urbanisme

## **TITRE 2 : Conforter la politique de la ville**

- Solidarité des communes en matière d'habitat
- protection de l'acquéreur d'immeuble et régime de copropriété
- revitalisation économique des quartiers

## **TITRE 3 : Mise en œuvre d'une politique de déplacement au service du développement durable**

## **TITRE 4 : Assurer une offre d'habitat diversifiée et de qualité**

- le logement social
- la solidarité entre organismes de logement social
- l'insalubrité et l'état de péril
- l'A.N.A.H.
- le droit des locataires

## **TITRE 5 : dispositions diverses abrogations**

- Bâtiments agricoles
- Reconstruction en cas de sinistre

# **Nouvelle approche de l'aménagement du territoire**

## **Nouveaux enjeux locaux**

**Nouvelles boîtes à outils** à disposition des professionnels et des élus

La loi S. R. U. va au cours des années 2001-2002, se révéler être une révolutions des habitudes prises durant ces trois dernières décennies.

La loi SRU met en place de nouveaux documents d'urbanisme dont la plupart sont applicables depuis le 1er avril 2001.

On retrouve :

Les nouveaux documents d'urbanisme:

Détails concernant les S.C.O.T. - P.L.U. - C.C.

La plupart des dispositions de la loi S.R.U. concernant l'urbanisme, sont applicables depuis le 1<sup>er</sup> Avril 2001.

Elle introduit de nouveaux documents

- le S.C.O.T. : Schéma de Cohérence Territorial, remplace le schéma directeur dont sont dotées les agglomérations surtout situées dans la partie Nord de la France

- le P.L.U. : Plan Local d'Urbanisme, remplace le Plan d'Occupation des Sols (P.O.S.)

- la C.C. : Carte Communale, remplace les MARNU

- les Certificats d'Urbanisme sont réformés de façon importante

- les Permis de Construire reçoivent quelques ajustements

- les opérations d'aménagement sous forme de Z.A.C sont réformées en profondeur

- les lotissements sont complétés par le volet paysager.

L'objectif du législateur est de couvrir la France entière de

SCOT par le biais de l'intercommunalité, afin de centraliser la réflexion et les décisions des politiques d'aménagement et d'urbanisme au niveau de l'agglomérations pour le pays. Le SCOT devient l'outil stratégique en matière d'urbanisme. Le PLU et la CC doivent être en compatibilité avec le SCOT.

La définition des périmètres du Scot est un enjeu très important et immédiat pour les Maires.

## **Note de la rédaction :**

L'objet de cet article n'est pas de présenter la Loi SRU dans son intégralité. Le sujet est à la fois vaste et important pour l'évolution de l'aménagement et de la gestion du territoire. L'auteur dresse un bilan plus complet dans un rapport réalisé à la suite de la conférence qu'il nous a présenté au dernier colloque de l'AFT à Saint Amand Montrond. Pour plus de détails, contactez la rédaction de la revue. ●

**PIERRE FAVIER**

Géomètre-Expert, Membre de la Commission Nationale d'Urbanisme de l'Ordre des Géomètres-Experts

## **ABSTRACT**

*If one refers to the encyclopedic definition of the urbanism you find :*

*A set of technical, administrative, economical and social measures wich should allow a harmonious, rational and human developpement of built-up districts.*

*The gouvernement has embarked on a vast reflexion on the renewal of urban politics since spring 1999, considering that a profound re-examination of the urban law wich established by the law of land orientation of 1967 was urgent.*

*Thirty years of official logic have generated built-up districts wich are spread haphazardly all over the place. Our members of parliament have adopted a new law: The Solidarity and Urban Renewal law or "SRU" wich came into application on junary 1ST, 2002.*

*Is the SRU law wich was created for towns going to favourise the complementary between rural and built-up areas? Should we not fear an increase of antagonism by the dependance of rural dwellers compared to city dwellers?*

**KEY WORD :** *The SRU law, Urban, regional planning.*

# Détermination de volumes de pour l'étude de la dynamique

*Les avalanches représentent un danger parfois non maîtrisé pour les activités humaines. Divers organismes dont l'Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches de Davos (SLF) cherchent à mieux comprendre le phénomène afin de mieux gérer le risque. Le site expérimental de la Vallée de la Sionne en Valais est le siège de la recherche sur la dynamique des avalanches du SLF. Au cours des hivers 1999 et 2000, cinq avalanches majeures ont pu être artificiellement déclenchées sur le site. De nombreux paramètres nécessaires à la modélisation du phénomène ont été mesurés. La détermination, par photogrammétrie, des volumes de neige impliqués dans les avalanches est un des nombreux objectifs de cette étude de la dynamique d'avalanche. Au cours de ces deux hivers, un seul événement a fait l'objet d'une saisie complète, i.e. la mesure du volume pour la zone de déclenchement et de dépôt de l'avalanche. Les autres épisodes n'ont*



**Figure 1 :** placement des point de contrôle en zone de départ.

*fait l'objet que de mesures photogrammétriques partielles. Ces mesures ont permis de mesurer les volumes de neige déposés et les hauteurs de cassure (plaque de neige s'écoulant dans l'avalanche). La cassure de la plus grande avalanche atteint 2,10 m sur plus de 1 000 m. Le volume total déposé par les trois avalanches de l'hiver 1999 atteignait 1'600 000 m<sup>3</sup> avec des épaisseurs de 30 m. Les importantes différences de volume entre la zone de déclenchement et la zone de dépôt ont montré que les avalanches entraînaient de grandes quantités de neige lors de leur écoulement. De plus, la répartition spatiale de la neige déposée par l'avalanche fournit d'importantes informations quant à l'écoulement de neige dense. Ces nombreuses mesures photogrammétriques ont apporté beaucoup d'informations utiles à l'étude des avalanches. Elles ont également contribué au développement d'un système photogrammétrique intégrant les techniques de navigation INS/GPS, permettant alors de s'affranchir d'une signalisation au sol, extrêmement difficile à implanter dans ces zones. La réalisation d'un test combinant photogrammétrie et GPS a montré qu'il était possible d'obtenir une précision de 10-15 cm sur les mesures au sol sans l'emploi de point d'ajustage.*

# neige par photogrammétrie d'avalanche

**L**a neige, "Or Blanc", bonheur des skieurs et des stations de skis, est quelquefois une source de danger non maîtrisé. Avalanches, congères sont des obstacles à la sécurisation des centres de loisirs hivernaux, de leurs accès et plus généralement du territoire alpin. Face à l'extension des activités humaines dans ces territoires à risques, l'homme tente de se protéger et de prévoir les événements. En Suisse, l'Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches de Davos (SLF) effectue des recherches sur la dynamique des avalanches sur le site expérimental de la Vallée de la Sionne. Ce projet, unique en Europe, vise à développer des modèles d'écoulement d'avalanche, extrêmement utiles pour la cartographie des zones à risque ainsi que pour le génie paravalanches. Des avalanches sont déclenchées artificiellement après d'importantes chutes de neige. De nombreuses mesures sont saisies et utilisées par la suite pour calibrer et améliorer les modèles numériques.

Parmi les nombreuses mesures effectuées sur le site (vitesse, pression...), la photogrammétrie est utilisée sur le site expérimental de la Vallée de la Sionne pour cartographier précisément les limites de chaque avalanche ainsi que pour mesurer la surface de la neige avant et après l'avalanche. En effectuant une différence entre les deux états de surface, on peut déterminer les volumes de neige pour la

zone de déclenchement et pour la zone de dépôt.

La photogrammétrie est une technique couramment utilisée pour les mesures de volumes entre deux états de surfaces d'un objet (Koelbl 91). Les études de glissements de terrains, la glaciologie... l'utilisent fréquemment pour des mesures précises de volume.

La précision sur la mesure de la surface a deux composantes : une composante aléatoire due à l'opérateur et au contraste des images et une composante systématique due à l'orientation absolue des photographies. La précision de l'orientation dépend essentiellement de la qualité et de la distribution des points d'ajustage. Il est donc nécessaire, afin d'éviter des erreurs systématiques entre deux épisodes, d'utiliser des points de contrôle identiques pour chaque épisode. La précision requise (20-30 cm) implique une couverture à grande échelle du site. Le grand nombre de photos nécessaires qui en découle requiert l'utilisation des techniques d'aérotriangulation pour l'orientation des clichés. Par la suite, la restitution et la mesure de Modèles numériques de Surface (MNS) est effectuée automatiquement au moyen de restituteurs numériques lorsque le contraste est suffisant. Dans le cas contraire, seuls les restituteurs analytiques sont employés pour les restitutions délicates (neige fraîche).

L'utilisation de la photogrammétrie sur le site de la Vallée de la Sionne soulève néanmoins quelques problèmes, spécifiques aux mesures hivernales, difficiles à résoudre par l'emploi des procédures photogrammétriques standards :

- La neige fraîchement tombée est en général uniforme et présente un très faible contraste. La mesure précise de la hauteur de neige dans la zone de départ est difficile à effectuer.
- Le déclenchement d'une avalanche étant astreint aux conditions météorologiques, il est difficile de prévoir plus de 2 jours à l'avance le déroulement de l'essai. La méthode doit alors être très flexible à mettre en œuvre.
- L'expérience de 3 années de déclenchements sur le site a montré que l'avalanche doit être déclenchée avant 9 h 30 le matin sans quoi les chances d'occurrence diminuent fortement. L'illumination de la pente avant le déclenchement n'est alors pas propice à un contraste optimal pour la prise de vue.
- L'implantation et le maintien de points de contrôle au sol est délicate car il faut les placer dans des zones libres de neige, même après une importante chute, et hors de portée des avalanches. De plus, la mise en place sur le site est techniquement difficile (falaises, couloirs...). Le positionnement par système GPS est parfois impossible (en falaise), les techniques tachéométriques étant alors de mise.

**Pour la signalisation au sol, 50 points de contrôle ont été répartis sur la zone de départ et dans la zone de dépôt. Il s'agit de plaques d'aluminium de 60x60cm, fixées sur le rocher ou sur mât selon le terrain. Tous les points ont été mesurés par GPS ou levé tachéométrique avec une précision de l'ordre de 5 cm. Le placement, parfois délicat, des points de contrôle est le fruit d'observations des zones "hors neige" durant les hivers 1994 à 1999. Néanmoins, les points de contrôle doivent être contrôlés ou remplacés chaque année.**



- ■ ■ Afin de pallier ces inconvénients, sans nuire à la flexibilité du système, le couplage d'un système de navigation intégrant GPS et système inertiel (INS) à la caméra a été parallèlement étudié. Un tel système à l'avantage d'être indépendant d'une signalisation au sol en fournissant directement les paramètres d'orientation externe pour chaque cliché.

Afin de répondre aux exigences de souplesse et de rapidité, nous avons opté pour un système basé sur l'emploi des caméras aériennes manuelles moyen format (4x5") Linhof Aérotechnika et Tomtecs HIEI G4. L'emploi de l'hélicoptère (Alouette III, Lama) permet des prises de vues verticales ou obliques à grande échelle (1/5 000).

Pour la signalisation au sol, 50 points de contrôle ont été répartis sur la zone de départ et dans la zone de dépôt. Il s'agit de plaques d'aluminium de 60x60cm, fixées sur le rocher ou sur mât selon le terrain. Tous les points ont été mesurés par GPS ou levé tachéométrique avec une précision de l'ordre de 5 cm. Le placement, parfois délicat, des points de contrôle est le fruit d'observations des zones "hors neige" durant les hivers 1994 à 1999 (fig. 1). Néanmoins, les points de contrôle doivent être contrôlés ou remplacés chaque année.

## Les événements des hivers 99-2000

Trois avalanches ont été déclenchées artificiellement en 1999 (fig. 2) et deux en 2000 sur le site de la Vallée de la Sionne. Le tableau 1 résume les travaux



**Figure 2 : avalanche du 10.02.99. le mat à droite mesure 21m.**

photogrammétriques effectués pour les épisodes majeurs.

En général, il n'est pas prévu de prendre en photo la zone de dépôt avant le déclenchement. Les raisons sont :

- l'ombre dans la zone de dépôt au moment de la prise de vue (9h) diminue fortement la précision.
- la neige fraîche au sol ou tombée depuis la dernière avalanche constitue un volume négligeable du dépôt du fait de sa faible densité.

## ■ Les principaux épisodes sont résumés ci dessous :

Le 10/02/99, l'épisode a pu être couvert dans sa totalité, i.e. avant et après l'avalanche. Toutefois, la fracture s'est propagée 700 m au sud de la zone signali-

sée et l'avalanche s'est déposée hors du périmètre d'étude. La moitié des points d'ajustage de la zone de dépôt ont été détruits.

Le 25/02/99, une défaillance de la caméra n'a permis aucune prise de vue avant l'avalanche. Des photos a posteriori ont pu être faites un et quatre jours après le déclenchement. Cette avalanche exceptionnelle a détruit 90 % des points d'ajustage restants sur la zone de dépôt et s'est étendue sur une surface 2 fois supérieure au domaine d'étude. Des points de contrôle temporaires ont été placés et mesurés par GPS.

Durant l'été 1999, tous les points de contrôle détruits ont été remplacés et complétés.

Le 20/02/00, aucune photo avant le déclenchement n'a pu être prise à cause du brouillard présent sur le haut de la pente. La double cassure (2 avalanches) a été photographiée ainsi que la zone de dépôt.

## 3. Résultats

### ■ Précision de l'orientation externe

L'obliquité des images et le contraste de la neige fraîche de la zone de déclenchement requièrent l'emploi de restitu-teurs analytiques. La qualité optique de ces derniers permet une restitution plus précise pour les zones à faible contraste. Les mesures ont été effectuées avec le restituteur analytique Wild S9AP et la compensation de bloc faite avec BLUH et BINGO. Pour la zone de dépôt, la station numérique Socet Set de LH Systems a été employée pour l'orientation et la restitution. La texture de l'avalanche permet l'emploi de la corrélation automatique pour le calcul du modèle numérique de surface. Une correction manuelle est apportée par la suite pour contrôler et corriger les éventuelles erreurs. Le tableau 2 présente les précisions obtenues pour les orientations.

Cette précision est caractérisée par la RMS (Root Mean Square Error) sur les déviations aux points de contrôle. L'étape de l'orientation est alors cruciale pour le calcul de volume. Toute erreur sur l'orientation induit une erreur

**Tableau 1 : Travaux photogrammétriques pour les hivers 1999 et 2000.**

XX : réalisé, 00 : échec, - : non planifié.

Date	Zone	Avant	Après
10.02.99	Départ	XX	XX
	Dépôt	-	XX
25.02.99	Départ	00 (panne)	XX
	Dépôt	-	XX
27.12.99	Départ	00 (spontané)	00 (neige fraîche)
	Dépôt	-	XX
20.02.00	Départ	00 (nuageux)	XX
	Dépôt	-	XX

**Tableau 2 : Qualité des orientations pour les principaux épisodes Avant et Après avalanche. ++ : bon, 00 : moyen, — : médiocre distribution/qualité des pt de contrôle (PC).**

Date, Zone, Période,	Echelle, Image/bande Caméra	Distribution Qualité, Nbre de PC	RMS [cm]	
			X,Y	Z
10/02/99 Fracture Avant	1 :4500 4/1 Linhof	00 00	15	13
10/02/99 Fracture Après	1 :5000 3/1 Linhof	— 00 5	25	27
10/02/99 Dépôt Après	1 :5500 9/2 Linhof	++ ++ 11	35	22
25/02/99 Dépôt Après	1 :10000 2/1 RC30	00 00 11	40	35
20/02/00 Fracture Après	1 :5000 6/1 Linhof	++ ++ 13	20	17
20/02/00 Dépôt Après	1 :6000 6/3 Linhof	++ ++ 12	25	18

systématique qui se répercute directement sur le volume. C'est pourquoi il est fondamental d'utiliser pour chaque épisode les mêmes points de contrôle lors de la phase d'orientation. La précision de l'orientation dépend de l'échelle et de la qualité et distribution des points de contrôle. Une bonne distribution et des points clairement identifiables et de coordonnées connues avec précision (++ tab.2) permettent une bonne orientation.

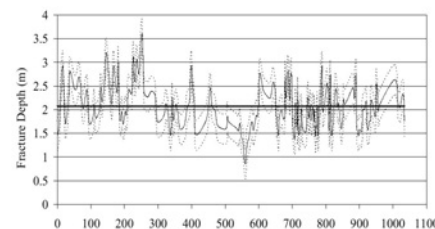
### ■ Mesure de la hauteur de la cassure

La mesure de la hauteur de la cassure (fig. 3) ne nécessite qu'une mesure relative sur un même modèle. La mesure de cette ligne donne une information sur le volume de la plaque de neige qui s'écoule. La précision de l'orientation absolue n'a pas d'influence sur ce type de mesure. Seuls le contraste et l'échelle ont une influence. Sur des lignes de rupture aussi bien définies, l'erreur sur la mesure d'un seul point est de l'ordre de 10 à 15 cm. La hauteur est mesurée par paire de points "haut-bas", ainsi que par ligne. Même avec une orientation externe de mauvaise qualité, il a été possible de

**Figure 3 : Cassure du 25/02/99. La hauteur moyenne est de 2.1m sur 1km de long.**



**Figure 4 : Hauteur de la cassure pour le 25/02/99**



mesurer précisément la ligne de rupture du 10/02/99. Pour le 25 février 99, la prise de vue a été effectuée 4 jours après le déclenchement. Le tassement du manteau neigeux, de l'ordre de 45 cm, a dû être pris en compte (mesure sur les stations automatiques voisines) et a introduit une erreur de l'ordre de +/-20 cm sur la hauteur de la cassure.

La figure 4 montre la cassure du 25 février 1999. Une hauteur moyenne de 2.10 m et des valeurs variant de 1.0 m à 3.5 m sur une longueur de 1 km.

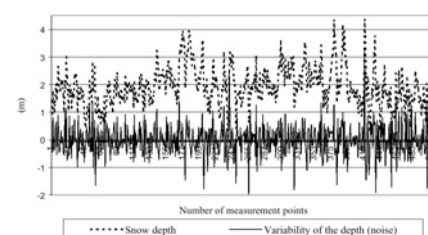
### ■ Mesure de volumes de la zone de départ du 10/02/99

Les photographies ont été effectuées avant et après le déclenchement de l'avalanche. Pour les mesures volumétriques, l'orientation est l'étape fondamentale car elle induit des erreurs systématiques sur la mesure des surfaces, qui se répercutent directement sur les volumes. Ce type d'erreur influence plus le calcul du volume global que l'erreur de restitution sur un seul point (due à l'opérateur et au contraste).

L'avalanche s'étant propagée hors de la zone signalisée, des points naturels ont été mesurés sur le premier modèle et ont servi de points de contrôle pour la situation avant déclenchement. De cette manière, on réduit les erreurs systématiques entre les modèles. Une précision relative de 25 cm entre les deux surfaces a pu être obtenue.

A cette erreur systématique vient s'ajouter l'erreur commise lors de la restitution. Cette erreur dépend principalement du contraste de la surface neigeuse. Pour estimer le bruit qui entache la mesure d'un point, on effectue une analyse de variabilité en comparant la hauteur de neige d'un point avec ses voisins. On suppose alors que la hauteur de neige ne varie que faiblement d'un point à son voisin, les points étant mesurés tous les 4 m. La figure 5 montre les résultats de cette analyse pour les zones à faible contraste. Le bruit est d'environ 60 cm et revêt un caractère aléatoire.

**Figure 5 : Bruit sur la mesure de hauteur de neige**



■ ■ ■ Une autre méthode consiste à comparer plusieurs mesures de la même grille de points par différents opérateurs. Ces tests ont révélé que pour des zones avec un bon contraste, l’erreur sur la mesure d’un point était de l’ordre de 15cm tandis qu’en zone faiblement contrastée, cette erreur pouvait aller jusqu’à 50cm. Toutefois, ce type d’erreur n’affecte que faiblement le volume global car la moyenne du bruit sur toute la zone est de l’ordre de zéro (fig. 5).

Après déclenchement, la restitution de 2900 points pose peu de problème car le contraste est excellent. Seuls 1700 points ont pu être mesurés à cause du faible contraste de la neige fraîche sur le modèle avant déclenchement. Même si la mesure des volumes est incomplète, d’importantes informations peuvent en être déduites. Les hauteurs maximales de neige ne se situent pas au niveau de la fracture mais plus bas dans la pente dans les couloirs. Le calcul du volume sur la surface mesurée donne une hauteur moyenne de plaque de 1,20 m soit 35 cm de plus que la hauteur moyenne de la cassure.

Sur la base de ces mesures de cassure et d’images vidéo permettant d’estimer la taille de la plaque, on a pu estimer les volumes de départ pour les épisodes du 30 janvier et 25 février (tab. 4).

**Tableau 4 : Volume de la zone de départ estimé sur la base des hauteurs de fracture. Pour le 10/02, le volume a été mesuré.**

Date	30/01/99	10/02/99	25/02/99
Volume [m³]	80'000	220'000	520'000

■ Mesure du volume dans la zone dépôt

Les mesures en zones de dépôt ne posent pas de problème de restitution car le contraste de l’avalanche est en général excellent. Seule l’orientation des images peut engendrer des erreurs à caractère systématique. Si l’on omet le cas du 25/02/99 ou tous les points d’ajustage ont été détruits, les hauteurs de neige ont toujours pu être mesurées avec une précision inférieure à 30 cm et 50 cm pour le 25 février 99. Les hau-

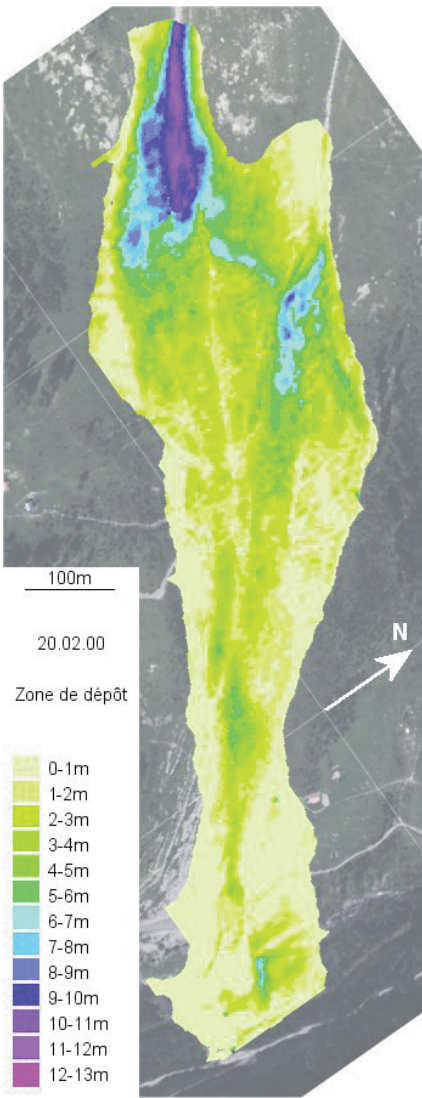
**Tableau 5 : Volume des dépôts des principales avalanches et du cumulé (par rapport au sol). Volume de l’érosion visible entre deux avalanches. La surface fait rapport à l’étendue de l’écoulement dense et non de l’aérosol.**

Date	Volume [m³] Avalanche / total	Volume [m³] érosion visible	Surface [ha]
10.02.99	467'000/ 694'000	-	32
25.02.99	877'000 / 1'589'000	18'000	49
20.02.99	500'000 / 741'000	-	25

teurs maximales mesurées sont de l’ordre de 12 à 17 m pour chaque avalanche. Les zones d’érosion entre les deux surfaces sont également visibles pour l’épisode du 25/02/99 surtout lors des changements de direction.

Pour l’hiver 2000, un contrôle sur les orientations a été effectué en mesurant

**La figure 6 : illustre les résultats de la restitution pour l’épisode du 20/02/00.**



des points communs entre les modèles d’hiver et les modèles d’été. Les écarts n’excèdent pas 15-20 cm (sur sol brut). Les volumes mesurés sont présentés dans le tableau 5.

■ Discussion des résultats

Les résultats ci dessus ne couvrent pas la zone d’écoulement de l’avalanche. En effectuant un bilan de masse sur la base des volumes calculés - la densité de la neige a été mesurée in situ soit 250 kg/m3 pour la neige fraîche et 500 kg/m3 pour le dépôt - on remarque alors que la masse de neige déposée est largement supérieure à la masse de neige de la plaque de départ. Ceci prouve qu’il y a un accroissement important de la masse dans la zone d’écoulement qui correspond au volume de neige fraîche sur tout le trajet de l’avalanche. Pour l’avalanche du 30 janvier, l’entraînement a été moindre car une avalanche spontanée était partie un jour avant collectant une partie de la neige dans la zone d’écoulement.

Cette conclusion est fondamentale pour la modélisation. La plupart des modèles développés jusqu’alors négligeaient cet entraînement de neige (Salm et al., 1990).

D’un point de vue purement photogramétrique, ces sessions de mesures ont montré le potentiel de la méthode au niveau de la flexibilité, de l’orientation et de la restitution. Ces principales limites sont le manque de contraste dans certaines zones et la difficulté de maintenir des points contrôles stables et durables. De plus les développements futurs des modèles nécessiteront également des mesures dans la zone d’écoulement où une signalisation durable n’est pas envisageable.



#### 4. Intégration INS/GPS

Parallèlement aux mesures photogrammétriques effectuées sur le site, nous nous sommes penchés sur une solution utilisant un système de navigation INS-GPS afin de déterminer en vol les paramètres de l'orientation externe de la caméra, sans l'aide de point d'ajustage, la flexibilité du système restant une priorité.

L'intégration de ce type de senseurs dans la photogrammétrie n'est pas une nouveauté en soi. Des systèmes commerciaux existent déjà (Applanix) et de nombreux tests ont révélé des précisions de l'ordre de 15-20cm pour le centre projection et 20-30 arc seconde pour l'attitude (*Skaloud 99, Cramer 99*). Toutefois, cette intégration était jusqu'alors effectuée sur un aéronef (avion, hélico) avec un montage fixe et des caméras grand format, pas assez souple d'utilisation pour les applications nivologiques. Sur la base de ces expériences hivernales, nous avons développé un système manuel combinant caméra manuelle et système INS-GPS.

##### ■ Le système

Le système se compose des mêmes caméras aériennes manuelles (Linhof, Tomtecs). Une structure en carbone-aluminium permet le montage rigide de l'unité inertielle Litton LN200 et de l'antenne GPS Leica SR500 sur la caméra. Le tout forme un seul bloc, aucun mouvement relatif n'étant possible entre les senseurs. L'INS mesure les accélérations et les vitesses angulaires à une fréquence de 400 Hz tandis que le récepteur GPS bi-fréquence (L1, L2) enregistre la position à 10 Hz.



La figure 7 : illustre le montage du système.

Toutes les données sont stockées sur disque dur pour le post traitement.

Chaque unité est synchronisée sur l'heure GPS au moyen du PPS (pulse per second) garantissant une précision de quelques microsecondes.

Afin de préserver les performances théoriques d'un tel système, nous avons dû concevoir le montage selon les critères suivants :

- Réduire au maximum les vibrations (altère les performances de l'INS) en supprimant le lien rigide entre l'hélicoptère et le block de capteurs.



L'opérateur joue alors le rôle d'amortisseur lors de la prise de vue.

- Éviter tout mouvement relatif entre les capteurs avec une structure rigide en aluminium-carbone.
- Permettre la manipulation manuelle du système en préservant 6 degrés de liberté pendant la prise de vue.
- Répondre aux critères de sécurité de l'hélicoptère par l'ajout de câbles de sécurité.

Le système doit évidemment être calibré à deux niveaux : individuel (cali- ■■■

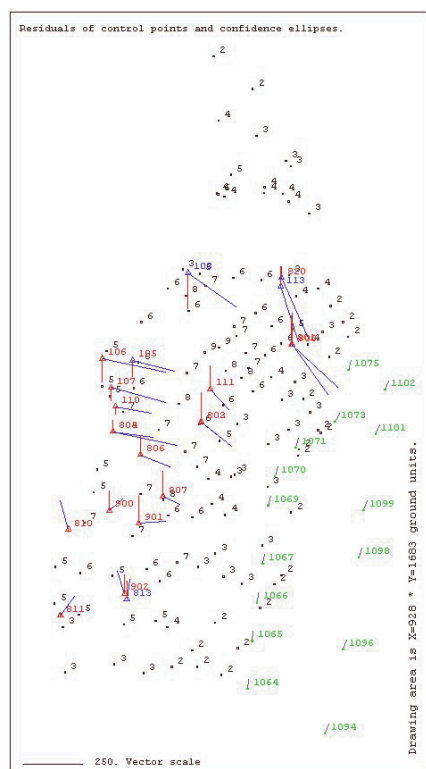
**Le système se compose des mêmes caméras aériennes manuelles (Linhof, Tomtecs). Une structure en carbone-aluminium permet le montage rigide de l'unité inertielle Litton LN200 et de l'antenne GPS Leica SR500 sur la caméra. Le tout forme un seul bloc, aucun mouvement relatif n'étant possible entre les senseurs. L'INS mesure les accélérations et les vitesses angulaires à une fréquence de 400 Hz tandis que le récepteur GPS bi-fréquence (L1, L2) enregistre la position à 10 Hz. Toutes les données sont stockées sur disque dur pour le post traitement. Chaque unité est synchronisée sur l'heure GPS au moyen du PPS (pulse per second) garantissant une précision de quelques microsecondes.**

- ■ ■ bration des biais, orientation internes...) et ensemble (détermination des offsets entre les capteurs). Cette seconde étape s'effectue in situ en réalisant une aérotriangulation sur une zone très bien signalisée. Par ailleurs à chaque mission, une calibration est effectuée pour contrôler la stabilité du système.

## ■ Résultats de la combinaison photogrammétrie-GPS

Nous avons réalisé un test sur le site avalancheux en utilisant le système développé. Nous avons utilisé d'abord uniquement le système GPS pour mesurer les coordonnées des centres de projection des prises de vues. Cette combinaison est relativement classique depuis plusieurs années et permet en théorie de n'utiliser aucun point d'ajustage pourvu que l'on ait au minimum 2 bandes d'images avec un recouvrement de 30-50% (Ackermann, 1994).

Nous avons effectué deux lignes de vol obliques dans la zone de départ d'ava-



**Figure 8 :** vecteurs résidus sur les points de contrôle (check point) pour l'orientation sans point d'ajustage.

Type de calcul	RMS X [m]	RMS Y [m]	RMS Z [m]
GPS	0.15	0.11	0.09
GPS-1PA	0.12	0.10	0.15
GPS-2PA	0.11	0.09	0.15
GPS-3PA	0.11	0.08	0.12
GPS-4PA	0.12	0.09	0.12
GPS-6PA	0.10	0.08	0.10

**Tableau 5 :** RMS des résidus sur les points de contrôle en fonction du nombre de points d'ajustage utilisés.

lanche avec un recouvrement de 50%. Les mesures GPS, calculées avec GRAFNAV, ont fourni les coordonnées des antennes pour chaque prise de vue avec une précision inférieure à 5 cm. Nous avons effectué une aérotriangulation classique du bloc avec 130 points de liaison et 20 points d'ajustage. Lors de cette aérotriangulation, nous avons profité pour la calibrer les paramètres d'orientation interne de la caméra Tomtecs (focale, point principal, distortion...). Par la suite nous avons calculé les éléments d'orientation externe en introduisant les données GPS et en supprimant les points d'ajustage. Tous les calculs ont été faits avec le logiciel BINGO.

Les résultats présentés dans le tableau 5 et montrent que la précision sur les résidus aux points de contrôle (Check point) est de l'ordre de 10 cm avec une erreur systématique résiduelle de 10-15 cm (fig. 8).

Cette erreur systématique peut provenir de deux sources :

- Les points de contrôle au sol déterminés par lever tachéométrique pourraient être décalés par rapport aux mesures

GPS : les erreurs systématiques constatées sont orientées dans la même direction que le grand axe des ellipses d'erreur lors du lever des points.

- La grande différence d'altitude entre la station de référence et l'hélicoptère. La modélisation de la troposphère peut être à l'origine de cette erreur.

La présence de points d'ajustage permet de réduire les erreurs systématiques et apporte un contrôle non négligeable en cas de problème.

Le système est donc fonctionnel et assure une orientation sans point d'ajustage avec la précision requise.

## Conclusions

Les résultats obtenus durant ces deux hivers ont clairement montré le potentiel de la photogrammétrie pour la détermination des dépôts d'avalanche et pour la mesure de cassure. Sous condition d'un bon contraste et de points de contrôle bien répartis, la hauteur de neige peut être mesurée avec une précision de 15-30 cm. La qualité et la quantité de points d'ajustage sont

**Les résultats obtenus durant ces deux hivers ont clairement montré le potentiel de la photogrammétrie pour la détermination des dépôts d'avalanche et pour la mesure de cassure. Sous condition d'un bon contraste et de points de contrôle bien répartis, la hauteur de neige peut être mesurée avec une précision de 15-30 cm. La qualité et la quantité de points d'ajustage sont cruciales pour la précision car elles influencent de manière systématique sur le volume.**



cruciales pour la précision car elles influencent de manière systématique sur le volume.

Toutefois, les mesures effectuées dans la zone de déclenchement ont démontré les limites de la méthode. Les forts vents, le manque de contraste sur certaines parties, la difficulté de placer et de maintenir une signalisation adéquate en condition hivernale, sont les facteurs limitant. Le manque de contraste influe essentiellement sur la mesure locale de la hauteur (bruit aléatoire de l'ordre de 60 cm) mais le volume global n'en est que peu affecté. Ces mesures ont montré également que la mesure de la cassure, bien qu'utile, n'est pas représentative de l'épaisseur moyenne de la plaque. Des accumulations importantes se produisent en effet dans les couloirs sous jacent à la cassure.

Ces données ont également mis en exergue l'entraînement de neige lors de l'écoulement de l'avalanche, phénomène négligé par la plupart des modèles. Finalement, ces expériences ont permis de développer un système combinant photogrammétrie et système de navigation, permettant de s'affranchir des points de contrôle. Les tests effectués avec la détermination des coordonnées du centre de projection par GPS permettent une précision sur la mesure au sol de 10-15 cm sans l'emploi de point d'ajustage. Néanmoins il est conseillé d'utiliser 3 points d'ajustage comme contrôle sur les extrémités du bloc. Les tests intégrant INS/GPS sont actuellement en cours. ●

**J. VALLET**

Laboratoire de Photogrammétrie  
EPF-Lausanne

## Remerciements

Nous tenons à remercier M. W. Ammann, F. Dufour et U. Gruber du SLF Davos pour la collaboration fructueuse entretenue avec eux depuis 1997 et pour le financement partiel de ces études et travaux photogrammétriques.

Nous remercions également la Société Tomtecs AG pour le prêt de la camera HIEI et leur grande disponibilité.

Nous n'oublions pas le laboratoire de Topométrie de l'EPFL qui collabore étroitement à ce projet.

## Bibliographie

Koelbl, O., Castello T (1991) : *Utilisation des moyens photogrammétriques pour la saisie de l'évolution des dépôts de neige*, Symposium CISA IKAR Chamonix.

Cramer, M. (1999). *Direct Geocoding - is Aerial Triangulation Obsolete?* Photogrammetric Week 47, Stuttgart, September 20-24, pp. 59-70.

Ackermann, F. (1994) *On the status and accuracy performance of GPS photogrammetry*, Proceedings, ASPRS Workshop "Mapping and remote sensing tools for the 21st century", Washington D.C., pp. 80-90.

Salm, B., Burkard, A., Gubler, H. (1990) *Berechnung von Fließlawinen, eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen*. Mitteleitung des SLF Davos, N° 47.

Skaloud, J. (1999). *Optimizing Georeferencing of Airborne Survey Systems by INS/DGPS*, UCGE Report 20126, DGE, The University of Calgary.



## ABSTRACT

*Avalanches represent a natural hazard sometimes not controlled for the human activities. Various organizations whose the Federal Institute for Snow and Avalanche Research of Davos (SLF) performs researches to understand the phenomenon so as to better manage the risk. The experimental site of the Valley de la Sionne is the seat of avalanche dynamic researches of the SLF. During the winters 1999 and 2000, five major avalanches had been artificially released on this site. Many parameters are necessary must be measured to model the avalanche runoff. The photogrammetric determination of the volumes of snow implied in the avalanches is one of the many objectives of this study.*

*During those two winters, only one event made had been fully covered, i.e. the measurement of volume for the release and deposition area. The other events were partially measured. These photogrammetric measurements allow determining the volumes of deposited snow and the fracture height (snow slab creating the avalanche). The fracture of the greatest avalanche reached 2.10m on 1000m length. The total volume deposited by the three avalanches of winter 1999 reached 1' 600.000m<sup>3</sup> with a thickness of 30m. The difference between the released and deposited volumes proved that avalanches entrain a large amount of snow in the avalanche track. This effect has not been taken into account in various existing avalanche dynamics models. Furthermore, the snow distribution in the deposition zone provides important information about the behaviour of a dense flowing avalanche in the runout zone. Those photogrammetric also contributed to a photogrammetric system development integrating the techniques of navigation INS/GPS, then making it possible to avoid ground signalisation which is extremely difficult to place in such dangerous areas. The experimental test combining photogrammetry and GPS showed that it was possible to achieve a precision of 10-15cm ground measurements without ground control point.*



# Jason-1 le satellite mesureur des océans

*La surveillance de notre planète est entrée dans une ère nouvelle avec l'avènement, depuis environ trente ans, de moyens d'observations spatiales. Les satellites scientifiques et la grande précision de leurs instruments de mesures ont permis d'obtenir des progrès considérables en apportant une vision globale, rapide, fréquente et précise. L'altimétrie satellitaire est l'une de ces techniques d'observations. Elle permet de réaliser une cartographie de la topographie des océans. Outre sa composante quasi-statique (le géoïde) cette topographie est liée à un ensemble de phénomènes océanographiques (courants, marées,...) qui évoluent sur des échelles de temps allant de quelques heures à plusieurs décennies. La mesure très précise et sur de grandes périodes de temps de ces phénomènes ainsi que le développement de modèles intégrant les interactions océan-atmosphère devraient permettre d'accéder à des "prévisions climatiques". Pourtant l'observation sur de grandes échelles de temps (une à plusieurs décennies) nécessite de relier les mesures récoltées par les différentes missions spatiales avec une très grande précision. Après le succès de la mission TOPEX/Poséidon (lancé en 1992), le projet Jason (Jason-1 lancé fin 2001) ouvre maintenant la voie de l'océanographie opérationnelle en s'appuyant sur une série de satellites assurant une continuité de mesure sur une à plusieurs décennies.*



**L**es océans jouent un rôle fondamental dans l'équilibre thermique de la Terre et leur interaction avec l'atmosphère est la clef de l'évolution du système climatique. Ce système ressemble à une immense machine thermique dont les mécanismes sont basés sur les échanges entre les circulations atmosphériques (les vents) et océaniques (les courants). Ceux-ci contribuent pour des parts comparables au transport et à la redistribution d'énergie des régions tropicales vers les régions polaires. Les océans sont donc régulateur du climat. De plus, ils possèdent d'immenses capacités d'absorption de composants chimique, comme le dioxyde de carbone à l'origine de l'effet de serre, qui obligent enfin à considérer l'ensemble "océan-atmosphère".

Par nature, l'exploration des océans a été longue et difficile et n'a débuté qu'il y a seulement quelques siècles avec le déve-

loppement de la navigation et des premières grandes explorations lointaines. Jusqu'à une période récente, seuls les



**Figure 1 : Lancement de Jason-1 depuis la base de Vandenberg (Californie)**

navires apportaient l'essentiel des connaissances de ce milieu, mais les données étaient dispersées dans le temps et l'espace. Depuis une trentaine d'années, les techniques d'observations spatiales ont permis des progrès considérables en apportant une nouvelle capacité de surveiller globalement les océans, de manière permanente et instantanée : par mesure de la topographie des mers et de son évolution temporelle, par celle de la température de surface et des indicateurs biologiques et par collecte de données océanographiques mesurées (in situ) à bord de bouées et de bateaux, etc...

### L'altimétrie satellitaire, dans l'activité d'océanographie

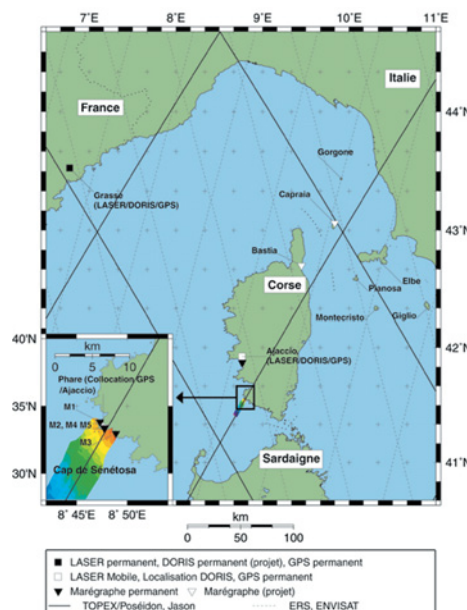
L'altimétrie satellitaire, aujourd'hui au centre de l'activité d'océanographie, est une technique spatiale permettant de mesurer le relief des océans. Sa mise au ■■■

point date des années 1970 et depuis ses capacités ont décuplées en termes de précision et de couverture spatio-temporelle. Ces progrès ont été notamment obtenus grâce aux données du satellite franco-américain TOPEX/Poseidon lancé par la fusée Ariane en août 1992. Aujourd'hui, le successeur de ce dernier, en fin de vie, est Jason-1 (Alcatel-Space, Cannes), premier satellite de ce qui devrait devenir une véritable filière spatiale en matière de suivi océanographique à long terme. Il a été lancé avec succès le 7 décembre 2001 depuis la base de Vandenberg (Californie, *Figure 1*). La rapidité de sa mise en service et celle du traitement des mesures (certains produits seront disponibles en moins de 3 heures) montrent bien que Jason-1 ouvre la voie de l'océanographie opérationnelle.

La technique d'altimétrie est basée sur la mesure de la hauteur instantanée de la mer à l'aide d'un radar (onde à environ 13 GHz) embarqué sur un satellite artificiel. L'onde radar émise par le satellite se réfléchit sur la surface de la mer et est renvoyée à bord. Le satellite mesure alors le temps aller-retour et analyse la forme d'onde reçue, permettant respectivement de déterminer la distance entre le satellite et la surface de la mer ainsi que la hauteur des vagues. La hauteur de mer est ensuite déduite de la différence : altitude du satellite - distance mesurée. L'altitude du satellite est calculée de façon extrê-

mement précise à partir du suivi permanent de la trajectoire réalisée depuis le sol par des stations de poursuite comme celle installée depuis plusieurs années sur le plateau de Calern (OCA) dans l'arrière-pays de Grasse.

Cette équation simple met en évidence l'importance de réaliser un calcul d'orbite très précis afin de déterminer sans ambiguïté la hauteur de la mer. C'est sûrement l'un des domaines qui a connu les progrès les plus importants ces dernières années passant d'une précision d'un demi-mètre dans les années 1980 (avec les satellites Seasat et Geosat) à 2-3 cm dans le cas du satellite océanographique TOPEX/Poseidon. Cette amélioration est due notamment à l'utilisation de mesures de poursuite de satellite comme la télémétrie laser, le système DORIS, techniques développées par le CNES, l'IGN et l'OCA, ou encore le système américain GPS. L'ensemble de ces techniques permettent de situer le satellite très précisément. À titre d'exemple, le satellite Jason-1 embarque à son bord le système d'orbitographie autonome DIODE qui, s'appuyant sur les mesures DORIS, permet en tant réel de diffuser la position du satellite avec une précision décimétrique. Après retraitement de l'ensemble des données par l'équipe d'orbitographie du CNES, la précision sur la composante radiale du satellite (direction de mesure du radar) devrait être meilleure que 1 cm.



**Figure 3 : Carte de situation du site de calibration des altimètres en Corse.**

Afin de valider les instruments de Jason-1, notamment l'altimètre, un nouveau site de suivi et d'étalonnage des satellites océanographiques a été installé en Corse (*Figure 2*). Opérationnel depuis 1998, ce site permet le suivi de l'étalonnage et de la précision de l'altimètre de TOPEX/Poseidon ainsi que celui de Jason-1 depuis janvier 2002. Pour la période de validation de Jason-1 (jusqu'en juin 2002) la station de télémétrie laser ultra-mobile (FTLRS), développée en collaboration entre le CNES, l'IGN et l'OCA, a été installée en Corse (*Figure 3*) afin d'améliorer la précision d'orbite grâce à l'observation quasi zénithale des passages d'étalonnage.

L'ensemble des hauteurs de mer ainsi déterminées le long de la trajectoire du satellite, tous les 6 à 7 km, permet d'obtenir une carte de la surface des océans. Sur une période de plusieurs années, le satellite altimétrique donne donc accès à une "cartographie évolutive", tous les dix jours, de la surface des océans avec une précision meilleure que 5 cm.

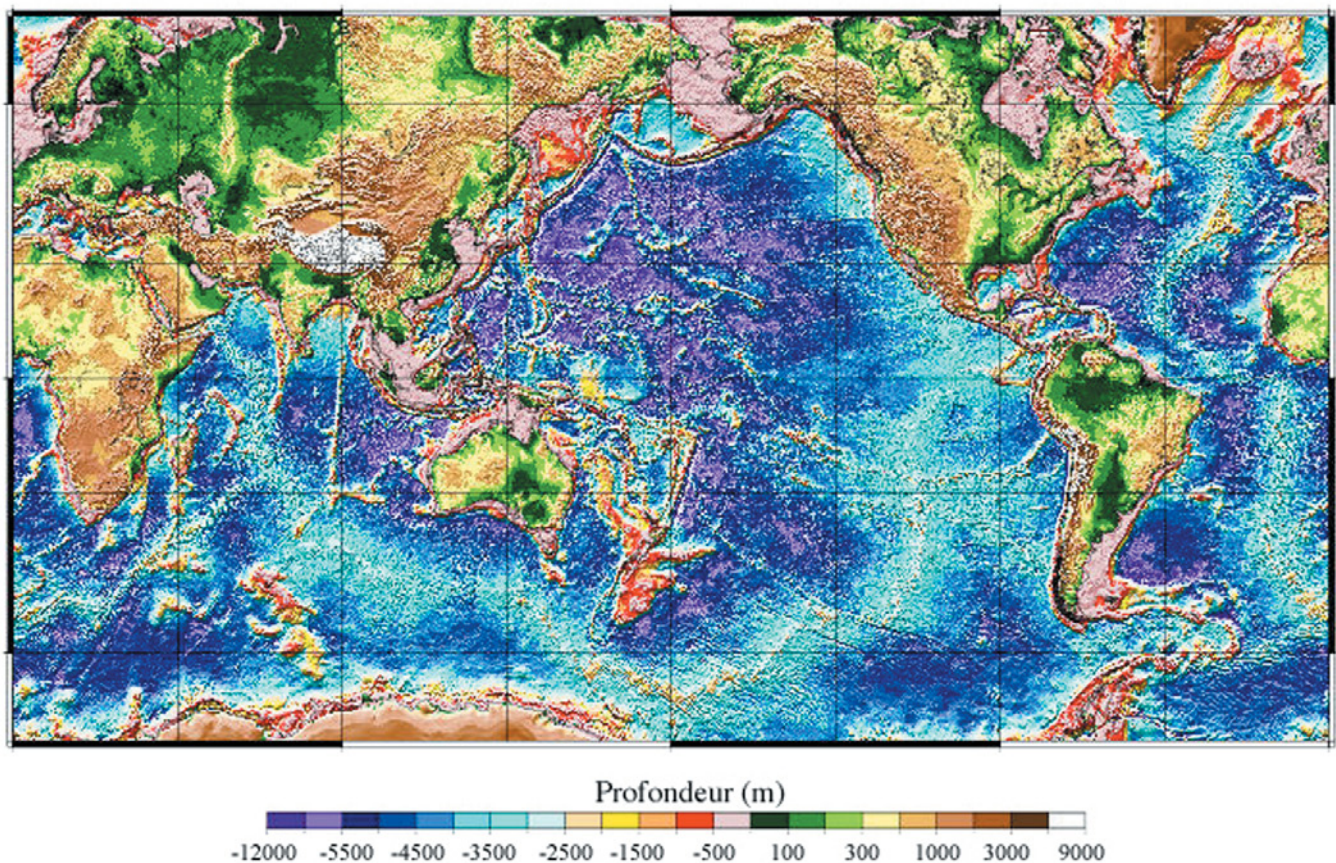
## Mais qu'apporte donc la connaissance précise de cette topographie ?

Tout d'abord la forme géométrique permanente des océans épouse de très près le géoïde, surface équipotentielle du



**Figure 2 : Station de télémétrie laser ultra-mobile (FTLRS) installée sur la base d'Aspretto (Ajaccio, Corse)**





**Figure 4 :** Carte des reliefs sous-marins obtenus à partir des mesures des satellites ERS-1, TOPEX/Poseidon et Geosat (crédits GRGS/LEGOS/CNES, Toulouse et IRD, Nouméa).

champ de gravité, et reflète donc la distribution inhomogène des densités de la matière depuis le fond des océans jusque dans les grandes profondeurs de la Terre. Ceci permet donc d'une part d'avoir accès en quelque sorte à la composition interne de la Terre mais aussi à la topographie du fond des océans. En effet, une chaîne de montagne sous-marine crée un excédant de matière alors qu'un abysse provoque un déficit de matière engendrant réciproquement une bosse et un creux à la surface de la mer, donc une anomalie du champ de gravité.

La surface des océans est donc également le reflet du relief de ses fonds marins : par exemple une bosse de 1 m dans la surface de la mer correspond approximativement à une montagne sous-marine de l'ordre de 1000 m d'altitude. Les mesures combinées des satellites TOPEX/Poseidon, ERS-1 et Geosat ont conduit notamment à une cartographie de l'ensemble de la topographie sous-marine avec une résolu-

tion spatiale de 7 km (Figure 4) permettant de mettre en évidence les chaînes de volcans sous-marins, les zones d'interface entre les plaques tectoniques, et finalement des détails surprenants comme les traces des anciens cratères d'impact d'astéroïdes.

À cette topographie permanente, au moins à l'échelle de milliers d'années, vient se superposer un relief créé par les courants océaniques. La vitesse de ces courants est proportionnelle à la pente locale de la surface de l'eau. Par ailleurs, dans l'hémisphère Nord les courants tournent dans le sens des aiguilles d'une montre autour des "bosses" et dans le sens inverse autour des "creux" : ce phénomène s'inverse dans l'hémisphère Sud du fait de la rotation de la Terre. L'amplitude typique du relief de la surface des océans lié aux courants (appelée topographie dynamique) est de  $\pm 1$  m. Lorsqu'on sait qu'un courant comme le Gulf Stream (au nord de l'atlantique nord), créant un relief de l'ordre du mètre, est capable

de transporter un flux de 100 millions de  $m^3$  d'eau par seconde (environ 100 fois le total des rivières du globe) il n'est pas difficile d'imaginer tout l'intérêt d'être capable de mesurer la surface des océans avec une très grande précision. En effet, ces énormes masses d'eau transportent avec elles la chaleur emmagasinée par l'océan et servent donc de régulateur thermique. Toute variation dans la quantité d'eau transportée ou dans la direction du courant aura donc une influence sur les phénomènes météorologiques (précipitation et évaporation) ou climatiques ce qui engendre des modifications importantes à long terme.

L'exemple récemment médiatisé du phénomène El Niño (1997-98) illustre bien cet aspect. En effet, les quelque deux mille milliards de mètres cubes d'eau chaude transportés en quelques mois des rivages australiens vers les côtes péruviennes sont à l'origine, durant plusieurs mois, de conditions météorologiques inhabituelles et d'une



**La surface des océans est donc également le reflet du relief de ses fonds marins : par exemple une bosse de 1 m dans la surface de la mer correspond approximativement à une montagne sous-marine de l'ordre de 1 000 m d'altitude. Les mesures combinées des satellites TOPEX/Poseidon, ERS-1 et Geosat ont conduit notamment à une cartographie de l'ensemble de la topographie sous-marine avec une résolution spatiale de 7 km permettant de mettre en évidence les chaînes de volcans sous-marins, les zones d'interface entre les plaques tectoniques, et finalement des détails surprenants comme les traces des anciens cratères d'impact d'astéroïdes.**

succession d'événement désastreux à l'échelle de la planète. La surveillance de ce type de phénomène est donc très importante et les mesures réalisées par altimétrie satellitaire y contribuent pour une part importante. Depuis peu, les indices s'accumulent : une anomalie de hauteur de mer se propage de l'Indonésie vers le Pérou ; les mesures sous la surface de la mer montrent que cette anomalie est créée par une "bulle" où la température est anormalement élevée. Tous ces signes, intégrés dans les modèles de prévision, indiquent qu'El Niño se fera probablement sentir en 2002-2003. Avec quelle intensité ? C'est encore difficile à dire, l'atmosphère pouvant intensifier ou diminuer très sensiblement le phénomène. À l'heure actuelle, il semblerait qu'il sera moins intense que l'épisode de 1997-98.

Une source d'incertitudes concerne également l'évolution future de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Là encore, la mesure précise de la surface océanique peut nous apporter un élément de réponse : sous l'effet de la chaleur, l'eau a tendance à se dilater entraînant donc une élévation de son niveau. Parallèlement, un réchauffement provoque la fonte des glaces qui entraîne aussi une élévation du niveau des mers. Cette augmentation du niveau de la mer peut avoir des conséquences économiques importantes puisqu'une grande partie de la population vit dans les régions côtières. Les mesures effectuées par TOPEX/Poseidon depuis bientôt dix ans permettent d'estimer cette augmentation comme étant de l'ordre de 1 mm/an. Ce résultat est par ailleurs en assez bon accord avec les mesures

marégraphiques effectuées depuis le début du siècle. Ce taux d'élévation est donc loin d'être alarmant tout au moins à l'échelle globale. Pourtant il est des régions où cette augmentation est plus marquée et par exemple en Méditerranée l'élévation du niveau de la mer est estimée à près d'1 cm/an, soit 10 fois plus !

La prévision ne peut se faire qu'au moyen de modèles. L'océanographie spatiale doit encore "engranger" des informations sur de grandes échelles de temps pour être à même de construire des modèles climatiques fiables, au moins à l'échelle de quelques années. Les enjeux et les besoins d'observation font en quelque sorte de l'océanographie et de la météorologie des "soeurs jumelles". Ainsi, l'altimétrie opérationnelle en fournissant à la fois des informations sur la vitesse et la direction des courants, la hauteur des vagues et la force du vent... établit un trait d'union entre la météorologie marine et l'océanographie physique. ●

**PASCAL BONNEFOND, PIERRE EXERTIER  
ET KARIN FOGSTRAND**

### Contacts

Observatoire de la Côte d'Azur  
Département CERGA  
Avenue Nicolas Copernic 06130 Grasse  
Pascal.Bonnefond@obs-azur.fr

### Sites web à consulter :

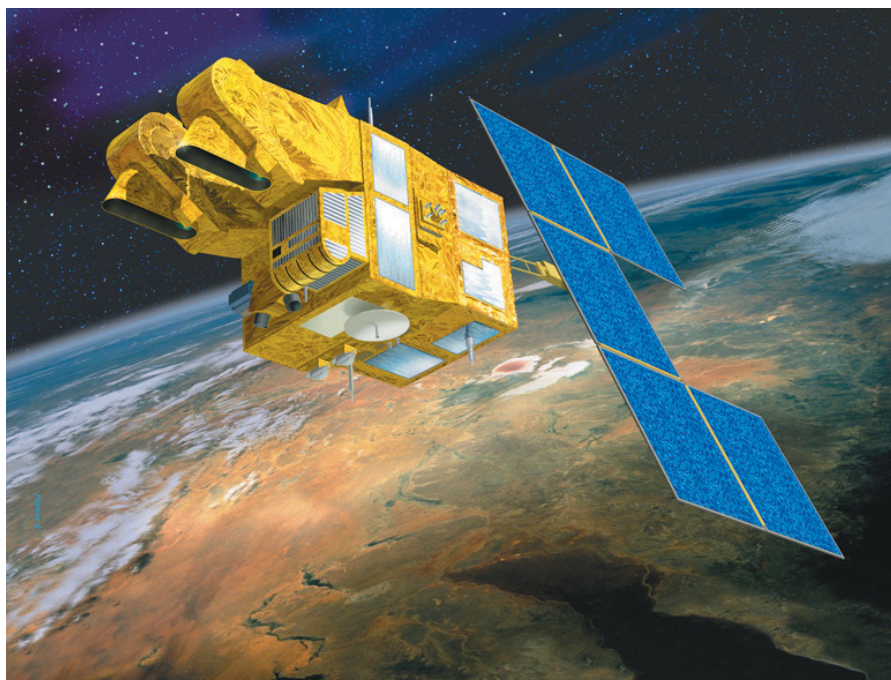
<http://www.jason.oceanobs.com/>  
<http://grasse.obs-azur.fr/cerga/gmc/kids/>  
<http://sealevel.jpl.nasa.gov/> (en anglais)

### ABSTRACT

*Earth observation entered a new era about thirty years ago with the advent of satellite-based monitoring. Artificial scientific satellites fitted with accurate measuring instruments have led to rapid progress by providing a global view of situations quickly, frequently and accurately. Satellite altimetry is one of these space techniques and permits to realize a map of the ocean topography. Besides its almost-static component, the geoid, this topography is linked to several oceanographic phenomena (currents, tides) that evolve on time periods from some hours to several decades. The very precise measurement on long periods of time of these phenomena as well as the development of models integrating the ocean-atmosphere interactions should allow to realize "climatic predictions". Nevertheless the observation on long periods of time (one to several decades) necessitates to link up the measurements collected by the different space missions with a very high precision. After the success of the TOPEX/Poseidon mission, the Jason project opens now the way of operational oceanography based on a series of satellites allowing measurement continuity on one to several decades.*

# Dans les coulisses du Supermode de Spot 5

*La continuité du service du système Spot sera assurée par le satellite SPOT 5, qui sera lancé en avril 2002. Ce satellite apportera des performances nouvelles issues des dernières technologies, dont le Supermode, un processus d'acquisition très innovant, conçu par les ingénieurs du Cnes<sup>1</sup>. Il permet d'offrir des images échantillonnées à 2,5 m, tout en conservant le champ large de 60 x 60 km. Comment a été conçu le Supermode ? Nous nous sommes rendus au département haute résolution du Cnes pour mieux comprendre...*



**D**écidés à améliorer encore la résolution des futurs satellites Spot, les ingénieurs du Cnes, dès le début des années 1990, ont cherché plusieurs solutions performantes. Après avoir éliminé certaines pistes, ils font preuve d'audace, audace désormais autorisée par l'évolution technologique, en repensant la technique "pushbroom" ou "capteur peigne", utilisée depuis Spot 1.

### Un peu de technique ...

Depuis toujours la méthode d'observation, adoptée sur les satellites Spot, puis IRS, Adeos, etc. consiste à acquérir les images par ratissage du paysage; celles-ci sont créées, ligne par ligne, le passage d'une ligne sur l'autre provenant du déplacement du satellite sur son orbite. Chaque ligne est le résultat de ce que voit le capteur, en l'occurrence une bar-

rette de CCD<sup>2</sup> : cette barrette est constituée d'une série de détecteurs élémentaires adjacents qui mesurent chacun une luminance moyenne (rayonnement provenant de la surface au sol vue par chaque détecteur élémentaire : 5 x 5 m, 10 x 10 m ou 20 x 20 m selon les satellites Spot et les modes spectraux). Chaque ligne est en fait, constituée d'une série de chiffres qui représentent sous forme codée, les valeurs des luminances échantillonnées. L'empilement des lignes donne naissance à une image, à la manière d'une grille de mots croisés composée de plusieurs millions de pixels. En réalité une image Spot, c'est une matrice de chiffres. Prenons l'exemple du mode panchromatique de Spot 5. Une barrette de 12 000 détecteurs va recevoir la lumière d'une ligne de paysage (large de 60 km en visée verticale). En 0,75 millisecondes, le satellite se déplace de

5 m et acquiert une première ligne d'information.

Neuf secondes plus tard, le satellite s'est déplacé de 60 km et a enregistré 12 000 lignes ! A chaque pixel, correspond un morceau de paysage de 5 m de côté et pour chacun de ces morceaux, un détecteur a mesuré la quantité de lumière qui en provenait. La valeur attribuée à chacun des pixels carrés est, en fait, une moyenne des différents niveaux d'intensité lumineuse (Spot est capable d'en distinguer 256 !). Donc, pour obtenir une image de résolution 5 m, on prélève l'information du paysage survolé tous les 5 m. Jusqu'ici la taille des détecteurs était exactement égale à la taille d'échantillonnage de la grille.

Mais de nouveaux procédés, sortant de cette logique en sur-échantillonnant l'image, sans modifier pour autant la taille des détecteurs, se sont avérés

■ ■ ■



## ■ Le Supermode en trois étapes !

Le procédé Supermode suit trois étapes bien distinctes. A bord du satellite est placée une barrette de détecteurs permettant, pour la bande panchromatique, de prendre une image à 5 m (de résolution 5 m). Sur le même support se trouvent en fait deux lignes identiques (on parle de double barrette) comptant chacune 12 000 photodiodes juxtaposées et décalées d'un demi pixel en ligne et en colonne

Lorsque l'on souhaite utiliser le Supermode, on va programmer le satellite pour qu'il active les deux barrettes. Chaque barrette va donner naissance à une image à 5 m de résolution. Les deux images provenant des deux barrettes sont séparément transmises au sol où elles sont archivées telles quelles car elles sont directement exploitables en tant qu'image à 5 m.

Le traitement Supermode commence alors au sol : tout d'abord, on **entrelace** ces deux grilles pour les positionner parfaitement entres elles afin qu'elles s'imbriquent avec exactement un demi-pixel de décalage. Puis, par **interpolation**, c'est-à-dire en intercalant des valeurs intermédiaires, on peut restituer les pixels manquants

qui sont recalculés grâce à la théorie de Shannon avec une bonne confiance.

Enfin, on effectue un traitement dit de **restauration**. Entièrement automatique, il restitue une image d'échantillonnage 2,5 m. C'est un processus très complexe destiné à

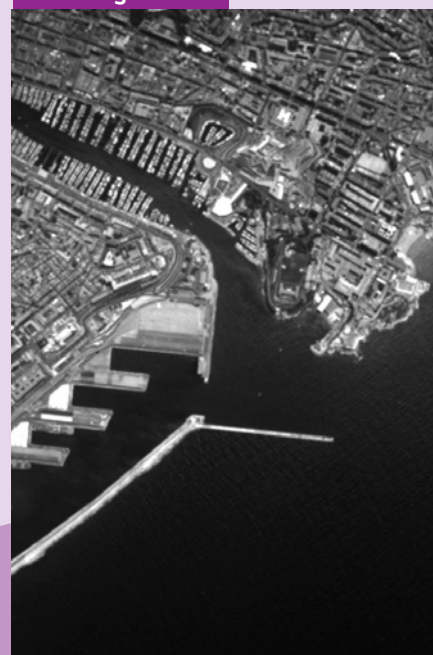
rendre l'image plus nette qui sera effectué par le CAP<sup>5</sup> de Spot Image à Toulouse. Pour donner un ordre d'idée, l'échantillonnage d'un seul pixel va représenter environ 800 opérations (au lieu de 4 actuellement pour le niveau 1 A), c'est dire son importance !

1<sup>ère</sup> image à 5 m



© CNES

2<sup>ème</sup> image à 5 m



© CNES

Entrelacement interpolation



Restauration

© CNES

GRILLE D'ÉCHANTILLONNAGE DE CHAQUE IMAGE À 5 MÈTRES

im 1

im 2

ENTRELAÇEMENT  
INTERPOLATION

GRILLE D'ÉCHANTILLONNAGE  
DE L'IMAGE SUPERMODE  
À 2,5 MÈTRES

RESTAURATION

La grille orange correspond aux pixels acquis par la première ligne de détecteurs ; la grille bleue, elle, correspond aux pixels acquis par la seconde ligne.



## ■ La fin du repliement de spectre !

Les images Supermode de Spot 5 seront totalement affranchies d'un défaut que certains spécialistes de l'interprétation connaissent bien : le repliement de spectre, comme nous l'explique Christophe Valorge : "La technologie disponible lors de la conception des satellites précédents n'a pas permis de répondre complètement aux critères de Shannon. Ce qui explique que dans certains cas, ils peuvent transmettre de la fausse information, notamment lorsqu'il s'agit d'interpréter des objets proches de la taille d'échantillonnage". Les photointerprètes connaissent ce type d'artefact et savent bien les déceler et s'en affranchir, mais quelquefois celui-ci peut être gênant pour certains traitements, notamment de corrélation ou de ré-échantillonnage. Les images Supermode de Spot 5 corrigeront donc totalement ce type de défaut.



© CNES

techniquement réalisables et scientifiquement révolutionnaires !

### De l'Hipermode...

Dès 1991, Jean-Michel Martinuzzi, ingénieur au Cnes, imagine de prélever l'information deux fois plus fréquemment pour obtenir des valeurs supplémentaires caractérisant le paysage tout en gardant les mêmes détecteurs; pour cela, il pense à équiper le plan focal d'une deuxième barrette de détecteurs de 12 000 points, décalée d'un demi-pixel, qui va également prélever deux fois plus souvent l'information réfléchie

par le paysage. Ce procédé révolutionnaire, baptisé Hipermode<sup>3</sup>, aurait permis d'obtenir quatre fois plus d'informations sur le paysage. Débit d'informations trop élevé, flux énorme de données, l'Hipermode est vite abandonné.

### ...au Supermode

Christophe Latry et Bernard Rougé, ingénieurs au Cnes rebondissent alors sur cette idée et démontrent qu'une deuxième barrette mise dans le plan focal (décalée d'un demi-pixel dans une direction et de 3,5 pixels dans l'autre direction, pour éviter les chevauchements) est suffisante pour améliorer l'échantillonnage sans doubler la cadence d'acquisition de chaque barrette. On décide alors d'équiper les instruments de Spot 5 d'une double barrette de 12 000 points sur la voie panchromatique qui sera mise en fonctionnement pour l'acquisition en Supermode.

"L'avantage de cet échantillonnage en quinconce est d'obtenir des images « propres » permettant de garantir des traitements avals excellents grâce à de bonnes interpolations, basées sur la théorie du signal de Shannon", explique Christophe Valorge, responsable du département haute résolution au sein de la Division qualité et traitements de l'imagerie spatiale du Cnes, "les images Supermode Spot 5 disposeront d'une résolution meilleure que du 3 m classique selon les premiers

expérimentateurs". Le processus fonctionne parfaitement et la première véritable image Supermode a été obtenue au sol lors d'essais sur les futurs instruments HRG<sup>4</sup> de Spot 5.

### Se baser sur le théorème de Shannon

Christophe Latry et Bernard Rougé, "pères" de ce procédé en ont déposé les brevets. Le Cnes a conduit un programme d'expérimentation des produits Spot 5 à partir de simulation ; tant en cartographie, qu'en agriculture ou en gestion de l'aménagement urbain, les études menées ont montré l'importance du compromis haute résolution/champ large. ●

- (1) Centre National d'Etudes Spatiales
- (2) Charge-coupled device
- (3) High performance by mid overlap and deconvolution
- (4) Haute résolution géométrique
- (5) Centre d'Archivage et de Prétraitement

Supermode échantillonné à 2,5 m



© CNES

### ■ La théorie de Shannon

Claude Elwood Shannon, né en 1916 est un mathématicien qui a élaboré la théorie de l'information. Pour lui, "La fréquence d'échantillonnage doit être supérieure à la fréquence maximale du signal divisée par deux", soit  $f_e \geq f_{max}/2$ . C'est sur ce principe mathématique que se base le procédé Supermode.

# L'exploitation des données Spot 5

## De la consultation à la livraison, des évolutions techniques qui améliorent le service vers le client

*En 1995, Spot Image intégrait dans ses locaux le CAP (Centre d'Archivage et de Pré traitement) et mettait en service le Centre de Programmation (CPR) prenant ainsi sous sa responsabilité la majeure partie des opérations d'exploitation au sol des données Spot. Avec l'installation d'une station de réception légère en juin 2000, c'est l'ensemble du segment sol commercial qui est maintenant géré par Spot Image.*

**P**arallèlement à ces évolutions, les caractéristiques techniques du satellite Spot 5 ont amené Spot Image à faire évoluer les différents outils existants dans le souci d'optimiser le service vers les utilisateurs.

### De la consultation à la programmation

#### ■ Amélioration des délais...

Le catalogue en ligne Sirius (<http://www.spotimage.fr>) permet à tout utilisateur :

- de consulter à ce jour 6 millions de scènes référencées parmi les 10 millions acquises depuis 1986, date de lancement du premier satellite Spot. Cette archive est enrichie quotidiennement par les

acquisitions des trois satellites opérationnels.

- de connaître les produits "sur étagère" disponibles,
- de formuler une requête ou envoyer une demande de devis à Spot Image.

L'arrivée de Spot 5 a conditionné des évolutions techniques du catalogue qui vont permettre de réduire désormais les délais de mise à jour ; en effet, les données reçues à Spot Image ou à la station de Kiruna, en Suède seront consultables pour les utilisateurs du monde entier dans l'heure qui suivra leur acquisition au lieu de quatre actuellement.

Autre exemple, la notation de la couverture nuageuse des images, effectuée jusqu'ici manuellement, sera faite



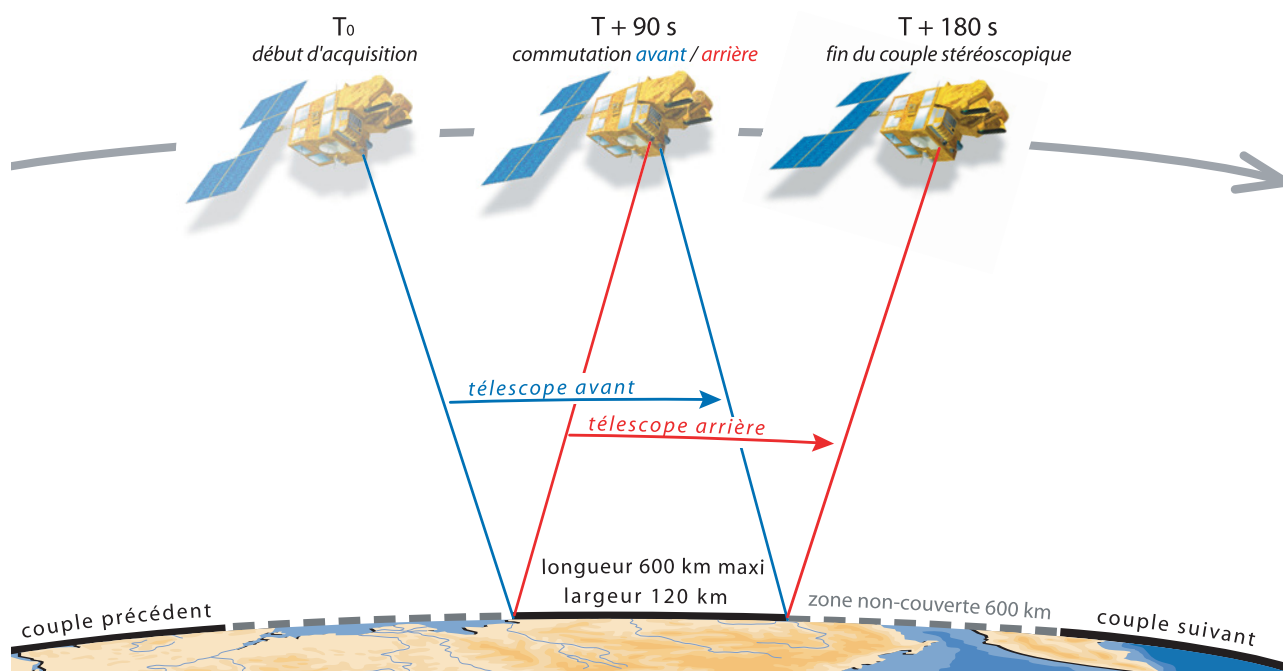
Le CAP

automatiquement par un algorithme augmentant ainsi la précision de l'information.

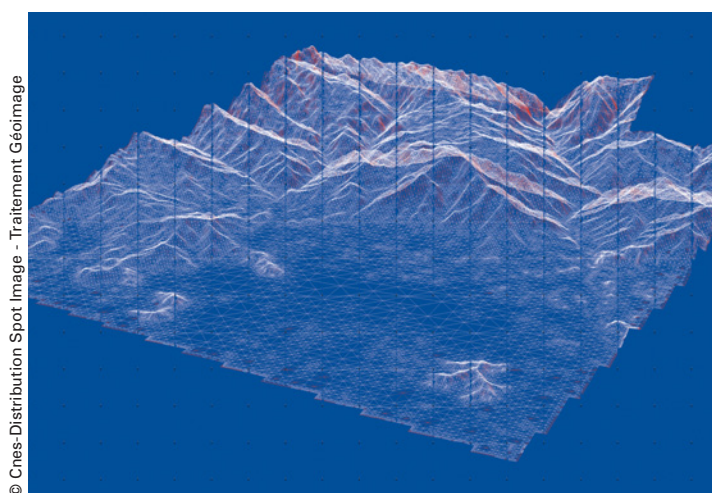
#### ■ ...une capacité d'acquisition accrue

Spot 5, comme Spot 1 à 4, peut transmettre au sol deux images en même

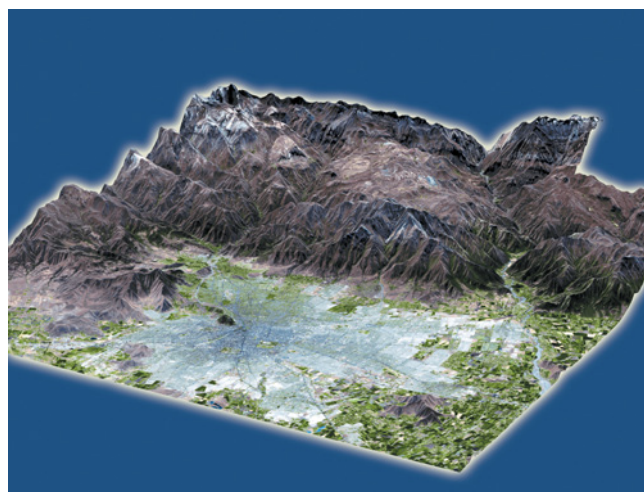
**Outre les deux instruments optiques identiques HRG (Haute résolution géométrique), Spot 5 emporte un instrument HRS (Haute résolution stéréoscopique) qui permet de programmer de manière optimale les prises de vue stéréoscopiques sur de très vastes étendues. Ces couples d'images autoriseront la production massive de MNT, modèles numériques de terrain d'excellente qualité ainsi que la production automatisée d'orthoimages qui apportent une vision précise du relief indispensable à de nombreuses applications (simulation aérienne en basse altitude, implantation de réseaux de téléphonie cellulaire etc.)**



Principe d'acquisition de l'instrument HRS sur Spot 5



Santiago, Chili - MNT maillé



Santiago, Chili - Vue en 3D

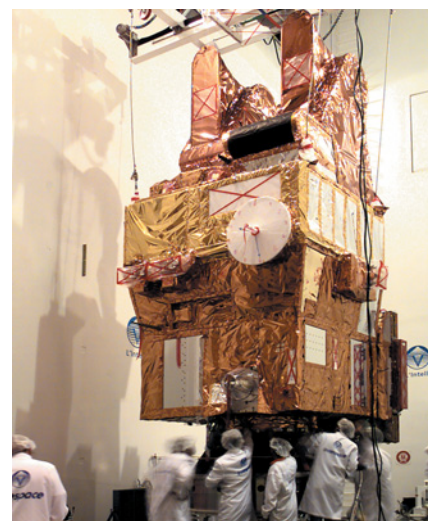
temps. Mais l'atout de Spot 5 est d'enregistrer en plus trois images à son bord, images qui sont lues ensuite lors du passage de Spot 5 dans le cercle de visibilité des stations de Toulouse ou de Kiruna.

Les acquisitions de couples stéréoscopiques par l'instrument HRS seront aussi programmées et couvriront de grandes étendues.

L'équipe de programmation gère toutes ces combinaisons afin d'optimiser cette nouvelle capacité d'acquisition d'images.

Lorsqu'une demande de programmation est définie (période de prise de vue souhaitée, zone à couvrir, bandes

spectrales choisies, plage d'angles de prise de vue, etc.), elle est ingérée dans le centre de programmation (CPR), un puissant logiciel, qui gère l'ensemble des différentes demandes. Pour cela il dispose en particulier de prévisions météorologiques mondiales et quotidiennes et peut donc orienter la programmation des satellites avec la meilleure probabilité d'acquisition. Une fois toutes les contraintes analysées et hiérarchisées, le CPR définit le plan du travail que devra accomplir chaque satellite Spot pour assurer les prises de vues. Le Centre de maintien à poste du CNES (CMP) télécharge ce plan de travail sur l'ordinateur de bord de chaque satellite qui mémorise



Le satellite Spot 5 en test à Intespace  
Décembre 2001

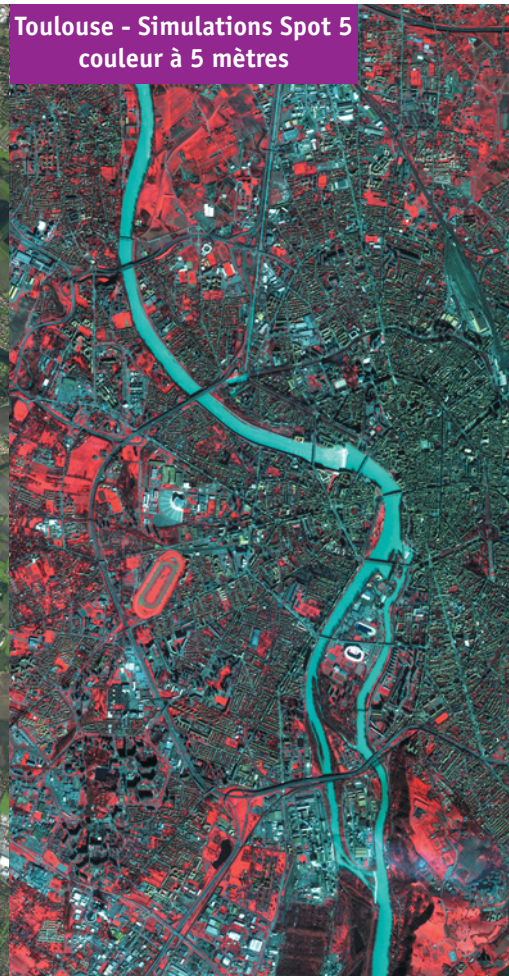
© Spot Image/LP



Toulouse - Simulations Spot 5  
couleur à 2,5 mètres



Toulouse - Simulations Spot 5  
couleur à 5 mètres



© Cnes-Distribution Spot Image

Les produits Supermode de Spot 5, dont la résolution sera de 2,5 m, subiront au CAP un traitement de restauration très sophistiqué demandant environ 2 000 opérations pour chacun des 24 000 x 24 000 points de l'image.

Une image à 2,5 m (576 millions d'octets) représente un volume 16 fois supérieur aux images Spot 1 à 4. Dix heures seraient nécessaires pour la produire si l'on utilisait les mêmes outils que précédemment.

Le CAP a donc été équipé de puissants systèmes de traitement pour effectuer l'ensemble des opérations de "restauration" d'images et pouvoir ainsi produire une image en seulement quelques minutes.

Les clients auront la possibilité de commander également des parties de scènes Spot (1/2, 1/4, 1/8 ou une zone précise sélectionnée sur le catalogue) afin de réduire les volumes de transfert électronique.

■ ■ ■ donc, chaque jour, les ordres de prises de vue qu'il aura à exécuter le lendemain.

## De la réception des images à la livraison

### ■ Un mini CAP pour les stations de réception !

Les satellites transmettent leurs prises de vues au sol soit en temps réel si le satellite est dans le cercle de visibilité d'une station de réception, soit en les enregistrant temporairement à bord. Le

système Spot comprend deux stations principales de réception des données situées l'une en France (Toulouse) et l'autre en Suède (Kiruna). En outre, diverses stations de réception directe (SRD) situées dans le monde ont signé des accords avec Spot Image pour recevoir les données Spot dans leur zone de visibilité.

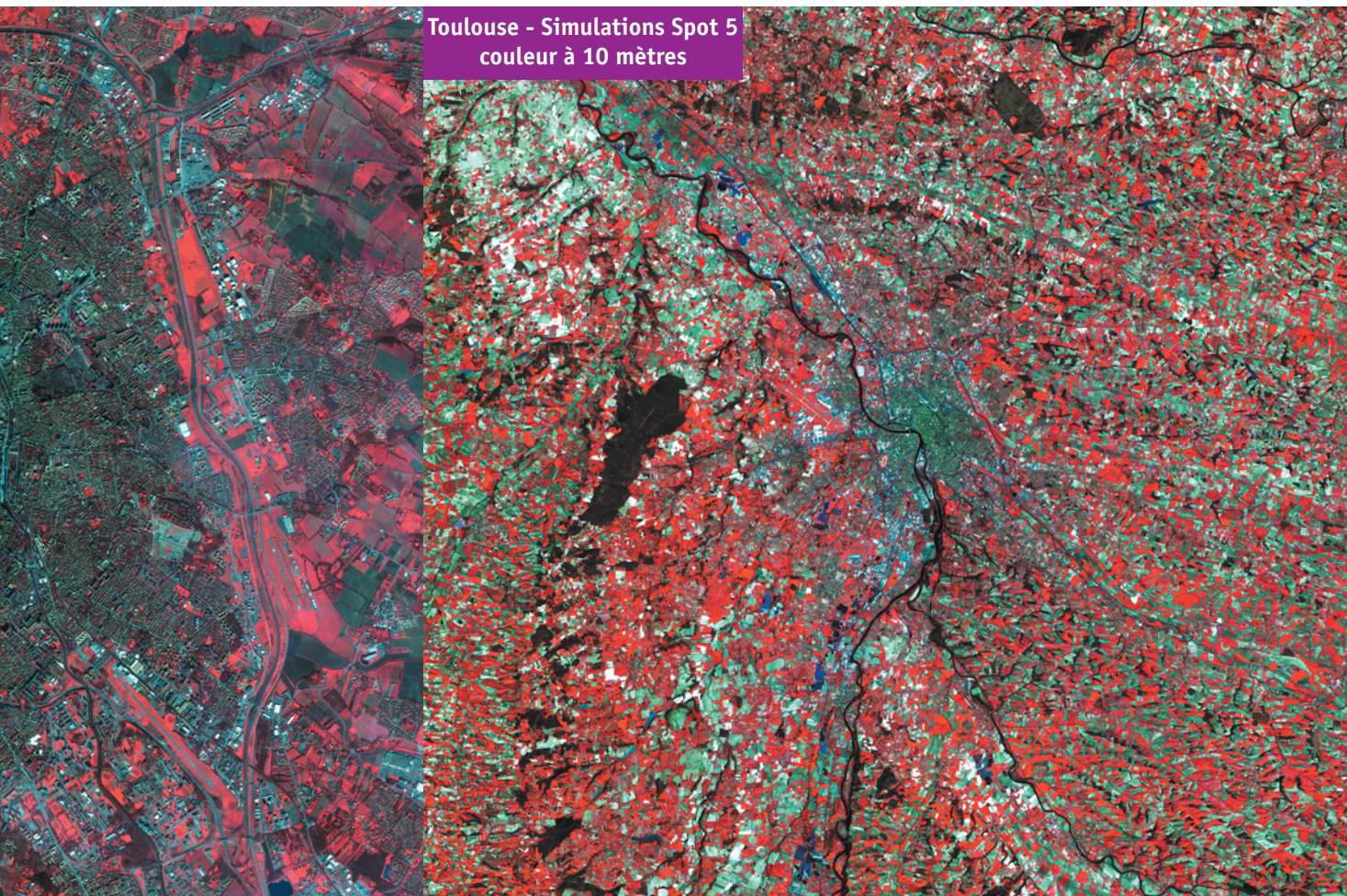
Dans un souci de standardisation et d'optimisation du système, il a été décidé d'équiper les SRD de "terminaux Spot 5", produits standards dérivés du CAP. Grâce à cet équipement commun, les SRD disposeront de moyens, de for-

mats et de fonctionnements identiques à ceux de Spot Image ce qui va améliorer très fortement les opérations entre les entités :

- mise à jour du catalogue local et du catalogue central Sirius en quasi temps réel,
- dialogue direct avec le CPR pour leurs demandes de programmation,
- produits de base totalement conformes,
- même format d'archive, ...

Ainsi, les SRD joueront un rôle encore plus efficace dans la collecte des données Spot.





### ■ Validation et production

Dès réception, les données sont transmises électroniquement au CAP, le centre d'archivage et de pré-traitement ; elles sont immédiatement inventoriées et archivées sur un support numérique, et référencées automatiquement dans le catalogue Sirius. Les nouvelles images reçues sont validées par l'équipe de programmation qui prend la décision d'arrêter les tentatives d'acquisition si les images sont conformes à la demande du client. Les commandes sont traitées au CAP qui fabrique les produits de base c'est à dire des produits corrigés radiométriquement ou géométriquement. En raison de la haute résolution des

images Spot 5, le CAP va devoir traiter des flux de données quatre fois plus importants que ceux générés par les images des satellites Spot précédents (panchromatique et multispectral). Des algorithmes sophistiqués de compression à bord vont permettre un débit multiplié par deux pour la transmission au sol ; le CAP devra donc décompresser ces données à la réception et traiter des volumes beaucoup plus importants.

### ■ Dimap prépare le e-commerce

Afin de préparer la vente en ligne, un nouveau format d'image, Dimap, a été développé pour les produits Spot 5. Plus simple d'utilisation, il met en valeur les informations descriptives

des images (métadonnées) en utilisant le langage XML. Dimap est particulièrement adapté aux échanges d'informations et à la livraison de produits en réseau, en particulier si l'on considère que l'essentiel du B to B (Business to Business) , dans les années à venir, passera par le langage XML. Au-delà des fonctionnalités qu'il apportera aux utilisateurs, Dimap prépare le développement du e-commerce de Spot Image. Grâce à ce format, les clients vont pouvoir obtenir des informations très détaillées sur les images consultées en ligne et même, à terme, télécharger des spatiocartes avec leur descriptif dans le format Dimap/XML. ●

**En novembre 2001, la China Remote Sensing Ground Station a été la première à signer un contrat pour la réception des données de Spot 5 ; elle sera équipée d'un terminal Spot 5 qui lui permettra d'automatiser les opérations depuis la réception jusqu'à la production.**



# Contrôle de qualité des bases de données g

*Dans les Bases de Données Géographiques, les modèles numériques n'ont pas la même erreur quadratique moyenne en planimétrie qu'en altimétrie. Différentes solutions ont été envisagées pour déterminer séparément l'erreur en altimétrie et l'erreur planimétrique, disposant, bien entendu, d'un modèle numérique plus précis comme référence. En particulier, des simulations ont été réalisées à partir de solutions dérivées d'études d'erreur en planimétrie, "par contrôle linéaire", utilisant la distance de Hausdorff. Malheureusement elles n'ont pas donné de résultats satisfaisants. On a donc envisagé une nouvelle démarche qui consiste à déterminer les paramètres des ellipsoïdes d'erreur, centrées dans la surface de référence. Dans un premier temps, l'étude a été limitée aux profils de référence avec l'ellipse d'erreur correspondante. Les paramètres de cette ellipse sont déterminés à partir des distances qui séparent les tangentes à l'ellipse du centre de cette même ellipse. Remarquons que cette distance est la moyenne quadratique des distances qui séparent le profil de référence des points du modèle numérique à évaluer, c'est à dire la racine de la variance marginale dans la direction de la tangente. Nous généralisons à l'ellipsoïde de révolution. C'est le cas où l'erreur planimétrique est la même dans toutes les directions du plan horizontal (ce n'est pas le cas des MNT obtenus, par exemple, par interférométrie radar). Dans ce cas nous montrons que le problème de simulation se réduit à l'ellipse génératrice et la pente du profil correspondant à la droite de pente maximale du plan appartenant à la surface de référence (polyèdre de faces triangulaires dont les vertex sont les points du MNT de référence). Finalement, pour évaluer les trois paramètres d'un ellipsoïde, cas où les erreurs dans les directions des trois axes sont différentes, la quantité des points nécessaires pour la simulation doit être importante et la surface très accidentée. Le cas échéant, il est difficile d'estimer les erreurs en x et en y. Néanmoins, nous avons remarqué, qu'il s'agisse de l'ellipsoïde de révolution ou non, que dans tous les cas, l'estimation de l'erreur en z (altimétrie) donne des résultats tout à fait satisfaisants.*

## MOTS CLES

Qualité des modèles numériques  
contrôle de qualité en 3D  
MNT  
estimateur de moindres carrés.

## Introduction

**L**es diverses techniques utilisées pour générer des modèles numériques de terrain produisent normalement des erreurs différentes en altimétrie et en planimétrie. En photogrammétrie aérienne, télédétection (SPOT), Interférométrie Radar, etc. des études ont été faites pour estimer ces erreurs a priori, mais il n'existe pas à la connaissance des auteurs, de méthode efficace pour contrôler la qualité, a posteriori, des modèles numériques obtenus au moyen de ces techniques.

Le contrôle des cartes par rapport à une certaine référence, c'est à dire, contrôle a posteriori de la qualité géométrique de cartes, est un problème qui depuis quelques années a retenu l'attention des chercheurs. Plusieurs méthodes ont été proposées : le contrôle ponctuel, le contrôle linéaire et d'autres méthodes. En effet, auparavant, le contrôle par rapport à une

référence se résolvait au moyen du contrôle ponctuel, mais il a été montré [ABA94b - GRU94 - HOT96 - etc.], après plusieurs expériences, qu'il s'avère inadapté car il soulève des problèmes insurmontables. Entre autres : le choix des points homologues entre la carte (modèle à évaluer) et la référence, l'existence de points aberrants, le systématisme, et la non - vérification des lois statistiques classiques sur les erreurs accidentelles.

À partir de là, la littérature propose quelques méthodes de qualité peu convaincante [ABA/94b] : critère de surface, "Spurious polygons", la méthode de la bande  $\epsilon$ , etc. ; pour finalement tomber sur la méthode linéaire qui s'applique à la planimétrie. Elle se base sur l'exploitation de la distance de Hausdorff entre le contour carte (modèle) et le contour référence [HOT/96b]. Nous rappelons que la distance de Hausdorff entre deux objets définis comme un ensemble de points est la plus grande des plus petites distances de chaque



# modèles numériques éographiques

point d'un ensemble aux points de l'autre ensemble. La distance Hausdorff n'est, donc, pas nécessairement symétrique.

Il a été prouvé [GRU/94 - HOT/96b] que la méthode de contrôle linéaire est une méthode de contrôle de qualité tout à fait efficace en planimétrie. Cependant la méthode de contrôle linéaire, qui semble très utile pour déterminer la précision géométrique des cartes à petite échelle, n'a pas été appliquée à l'altimétrie.

## ■ Extension à l'altimétrie

Pour l'extension à l'altimétrie deux cas peuvent être considérés :

- cas des lignes homologues,
- cas des modèles numériques de terrain.

Dans ce travail nous nous intéressons aux modèles numériques de terrain, et bien que nous ayons pu déterminer des lignes homologues à partir de MNT (lignes de crête, lignes de talweg, etc.) nous avons analysé le problème en nous limitant aux points. Il faut noter que pour des profils, les deux cas peuvent être considérés : le cas des lignes homologues et le cas de MNT. En effet, d'une part nous pouvons considérer les deux profils comme lignes correspondantes, d'autre part nous pouvons considérer le cas hypothétique, et plutôt théorique (par ex. modèle numérique de l'axe d'une route), dans lequel le modèle numérique de terrain se réduit à un profil aussi bien pour le modèle à évaluer que pour la référence.

Dans le cas du contrôle linéaire en planimétrie, la distance de Hausdorff donne une valeur proportionnelle à l'erreur planimétrique. Pour le premier cas où nous considérons les deux profils comme lignes homologues, il en est de même ; mais, d'après nos simulations les composants du vecteur distance ne correspondent pas aux erreurs, en altimétrie et en planimétrie, des profils après bruitage.

Le problème de l'évaluation de la qualité d'un modèle numérique par rapport à une référence reste donc ouvert. Nous allons développer une démarche pour évaluer la qualité géométrique des modèles numériques. Nous présentons, dans un premier temps, la démarche géométrique qui débouche sur la solution, puis les principes statistiques sur lesquels se fonde l'estimateur proposé. Nous décrivons ensuite les méthodes de simulation en tenant compte de certains effets de bord. Nous terminons par la présentation des tableaux des simulations avec l'analyse des résultats.

## Qualité géométrique des modèles numériques : erreur en altimétrie et en planimétrie.

### ■ Présentation de la solution proposée

Si l'erreur en planimétrie et en altimétrie d'un modèle numérique d'une surface est supposée connue, il est possible de construire un ellipsoïde d'erreur centré sur chaque point de la surface. Comme nous le verrons, la surface enveloppante de l'ensemble de ces ellipsoïdes correspond à la moyenne quadratique des distances des points du modèle numérique à la surface de référence dans les différentes directions.

Bien que cette affirmation nous semble évidente et corresponde à la notion de variance marginale, nous présentons d'abord une approche géométrique (avec la démonstration correspondante). Par la suite, nous présenterons les fondements statistiques et finalement nous allons prouver par différentes simulations la bonne qualité de l'estimateur que nous avons trouvé.

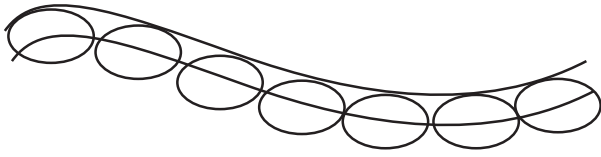
### ■ Approche géométrique

Pour simplifier, nous réduirons dans un premier temps le problème à 2 dimensions et nous ferons notre étude sur des profils. Plus tard nous ferons la généralisation aux modèles numériques de surfaces. Pour ces réflexions, nous supposons qu'il existe un profil de points de référence ou nominal, et un modèle numérique de ce même profil.

Nous établissons que les points mesurés de ce profil, ont une erreur moyenne quadratique (emq)  $\sigma_p$  (en planimétrie) différent de l'emq  $\sigma_z$  (en altimétrie) et que ces erreurs suivent une loi de distribution normale. Les paramètres a et b de l'ellipse, seront pris égaux aux emq en planimétrie et en altimétrie respectivement.

Pour les surfaces, les centres des ellipsoïdes d'erreur se trouvent sur les points de la surface de référence ; pour les profils, les centres des ellipses d'erreur se trouvent sur les points du profil. Dans le cas où le profil est horizontal il est évident que la courbe enveloppante est une droite horizontale. Si  $d_i$  sont les distances de chaque point du modèle à évaluer au profil de référence, la racine de la moyenne quadratique de ces distances  $d_i$  est égal à  $\sigma_z$  (erreur en altimétrie). Cette valeur est donc égale au paramètre b de l'ellipse. Il serait de même dans le cas hypothétique (et jamais réel) d'un profil vertical pour obtenir  $\sigma_p$  (erreur en planimétrie). Et  $\sigma_p$  sera égal au paramètre a de l'ellipse.





**Figure 1 : Courbe enveloppante des ellipses**

- ■ ■ Comme nous l'avons dit, si pour chaque point du profil nous considérons qu'il existe une ellipse, il est possible d'obtenir leur enveloppante.

Si nous supposons maintenant que le profil de référence est une droite de direction  $\alpha$ , nous pouvons obtenir, de la même façon,  $\sigma$  dans une direction normale à la direction  $\alpha$ . Il suffit de prendre les moyennes quadratiques des distances  $d_i$  des points de profil à la droite de pente  $\tan \alpha$  (qui est le profil de référence).  $\sigma$  est donc la distance qui sépare deux droites parallèles : la tangente à l'ellipse et la droite qui passe par le centre de cette même ellipse. Les formules que nous allons développer permettent de calculer les paramètres  $a$  et  $b$  de l'ellipse cherchée à partir de ces distances mesurées dans différentes directions  $\alpha_i$  des droites tangentes.

Nous rappelons que les paramètres  $a$  et  $b$  de l'ellipse sont égaux aux erreurs moyennes quadratiques  $\sigma_p$  et  $\sigma_z$  cherchées. Nous avons :

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1 \text{ et l'équation de la droite est } y = mx + h$$

alors, pour calculer l'intersection de la droite avec l'ellipse :  $y^2 = m^2 x^2 + h^2 + 2mxh$

$$\text{donc, } \frac{X^2}{a^2} + \frac{m^2 x^2 + h^2 + 2mxh}{b^2} = 1$$

et avec :  $A = a^2$  et  $B = b^2$

$$Bx^2 + A m^2 x^2 + Ah^2 + 2 A m h x - AB = 0$$

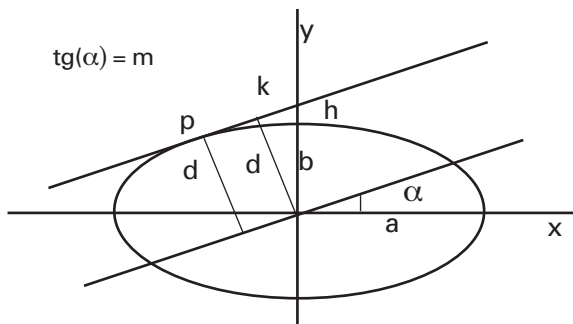
Si  $A^2 m^2 h^2 - (B + A m^2) (Ah^2 - AB) = 0$ , (discriminant nul) la droite est tangente à l'ellipse.

$$\text{De même : } B^2 + A m^2 B - h^2 B = 0$$

$$B = h^2 - A m^2$$

$$\text{Mais, } h^2 = d^2 + k^2$$

où  $d$  est la distance du centre de l'ellipse à la droite tangente, tandis que  $k$  est le côté qui complète un triangle rectangle avec  $h$  et  $d$  (figure 2).



**Figure 2 : Eléments de l'ellipse d'erreur**

Notons que  $\tan \alpha = m = k / d = \sin \alpha / \cos \alpha$

Alors,  $h^2 = d^2 (1 + m^2)$

$$\text{Et } B = d^2 (1 + m^2) - A m^2 = d^2 (1 + \sin^2 \alpha / \cos^2 \alpha) - A (\sin^2 \alpha / \cos^2 \alpha)$$

$$d^2 = B \cos^2 \alpha + A \sin^2 \alpha \quad (1)$$

Remarquons que  $d$  n'est que  $\sigma$  dans la direction correspondante à l'angle  $\alpha$ . Puisque les observables sont les distances  $d_i$ , et  $\alpha$  est déterminé par chacun des segments du profil de référence, nous sommes en face d'une solution canonique par moindres carrés, car l'observable est fonction de paramètres inconnus. Il n'est pas nécessaire de linéariser, nous nous trouvons face à une solution canonique dont le modèle fonctionnel est une fonction linéaire. Notons qu'il peut arriver qu'il y ait plusieurs équations avec la même valeur  $\alpha$  et différentes distances (points du modèle à évaluer), la moyenne quadratique de ces distances est égale à la distance  $d$  de la formule ci-dessus. Pour chaque distance  $d_i$  nous aurons :

$$d_i^2 = B \cos^2 \alpha + A \sin^2 \alpha \quad (2)$$

Nous pourrions grouper les équations qui ont les mêmes valeurs de direction  $\alpha$  (ou des valeurs de direction  $\alpha$  très proches), calculer la moyenne quadratique  $d^2$  et donner à la nouvelle équation un poids proportionnel à la quantité  $i$  de distances dans chaque direction  $\alpha$  donnée, mais il est évident que le résultat de l'estimateur par moindres carrés sera le même.

Il est intéressant de constater, que cette formule permet d'obtenir les paramètres  $a$  et  $b$  d'une ellipse à partir d'un ensemble des points qui la décrivent de façon approchée. Il suffit de prendre chaque valeur  $a$  égal à la direction déterminée par les deux points  $P_{i-1}$  et  $P_{i+1}$  qui se trouvent de chaque côté du point  $P_i$  choisi, et suffisamment proches de lui. Et  $d$  sera la distance entre le point  $P_i$  et une droite de direction  $\alpha$  passant par l'origine. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer cette origine.

## ■ Les fondements statistiques

Il s'agit de déterminer  $\sigma_p^2$  (planimétrie) et  $\sigma_z^2$  (altimétrie) et, dans les cas exceptionnels déterminer  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_y^2$ ,  $\sigma_z^2$  (par ex. : interférométrie radar).

**Rappel :** Prenons une matrice diagonale de variance  $\sigma^2$  d'une variable aléatoire tridimensionnelle :

$$\sigma^2 = \begin{vmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{vmatrix}$$

avec :  $\lambda_1 = \sigma_x^2$ ;  $\lambda_2 = \sigma_y^2$ ;  $\lambda_3 = \sigma_z^2$

Dans un nouveau référentiel la matrice de variance - covariance sera  $\sigma_{\text{ref}}^2 = U \sigma^2 U^T$

**U :** matrice orthogonale ; ses lignes sont les composantes des nouveaux axes dans les axes anciens.

Dans un nouvel axe  $x'$  la valeur de la variance sera donc :

$$\sigma_{x'}^2 = a_{11}^2 \sigma_x^2 + a_{12}^2 \sigma_y^2 + a_{13}^2 \sigma_z^2, \quad (3)$$

où  $a_{11}^2, a_{12}^2, a_{13}^2$  sont les carrés des cosinus directeurs du vecteur unitaire dans la direction de  $\sigma_{x'}^2$ .

Mais, la variance dans une direction quelconque  $i$  est  $(1/n) \sum e_i^2$  ( $e$  : erreur), La racine de la variance dans la direction  $x'$  est égale à la distance entre le plan qui passe par le centre de l'el-

lipsoïde de paramètres  $a = \sigma_x$ ,  $b = \sigma_y$ ,  $c = \sigma_z$  et un plan parallèle à celui-ci et tangent à l'ellipsoïde (par définition de variance marginale dans une direction donnée).

## ■ L'estimateur

Puisque l'estimateur est :

$$d_i^2 = \sigma_x^2 \cos^2 \alpha + \sigma_y^2 \cos^2 \beta + \sigma_z^2 \cos^2 \gamma \quad (4)$$

( $d_i$  est défini en (2)) pour  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  donnés, il suffit de grouper les  $n$   $d_i$  dans cette même direction pour obtenir leur somme :

$$\Sigma d_i^2 = n \sigma_x^2 \cos^2 \alpha + n \sigma_y^2 \cos^2 \beta + n \sigma_z^2 \cos^2 \gamma = n \sigma_i^2$$

Le plan qui passe par le centre de l'ellipsoïde est celui défini par trois points du modèle numérique de référence puisque le point exact correspondant au modèle numérique à évaluer se trouve sur la surface définie par la référence.

Si les erreurs en planimétrie sont indépendantes de la direction (fait normalement accepté, sauf erreurs systématiques ou, dans de cas particulier), le problème est bidimensionnel. Pour déterminer  $\alpha$  (bidimensionnel), nous prenons la direction de la pente maximale sur chaque plan (voir figure 3).

Et l'estimateur est encore (1)

$$d^2 = B \cos^2 \alpha + A \sin^2 \alpha = \sigma_p^2 \sin^2 \alpha + \sigma_z^2 \cos^2 \alpha \quad (5)$$

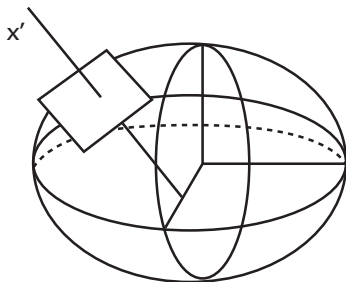


Figure 3 : Ellipsoïde de révolution

En effet, la distance d'un point de modèle à évaluer à la surface de référence est un élément de l'échantillon qui permet de déterminer la variance correspondante à la direction de la droite  $x'$ , toujours constante si l'angle déterminé par la droite  $x'$  et la droite verticale (coïncidant avec la direction  $z$  de l'ellipse génératrice) est le même. De même, si nous prenons :

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2$$

dans la formule générale nous aurons, donc,  $\alpha = 90^\circ - \gamma$ . La direction  $\alpha$  correspondant est, donc, celle de pente maximale du plan de référence.

## Simulations

Nous avons fait, d'abord, les simulations sur des profils homologues, car même en 3D, si l'erreur en planimétrie est indépendante de la direction, le problème est bidimensionnel. A partir des profils de référence et par bruitage nous avons généré les points du modèle à évaluer. Pour ce faire nous avons utilisé la méthode de Box et Müller qui permet de générer des variables aléatoires normales  $N(0,1)$  [HOT/96c].

U et V étant deux variables uniformes sur  $[0,1]$  les variables X et Y sont normales  $N(0,1)$  :

$$X = (-2 \ln U)^{1/2} \cos 2\pi V$$

$$Y = (-2 \ln U)^{1/2} \sin 2\pi V$$

Pour évaluer la bonne qualité de notre méthode nous avons développé une application qui permet de mesurer les distances des points bruités au segment référence. La direction  $\alpha$  a une distribution uniforme entre des valeurs préétablies, ce qui permet de simuler des profils plus ou moins accidentés. Ensuite, avec la distance de chacun de ces points au profil de référence et la direction  $\alpha$ , nous obtenons un système surabondant d'équations. Puis nous avons appliqué la méthode des moindres carrés pour obtenir les paramètres  $a$  et  $b$  de l'ellipsoïde ou de l'ellipsoïde - de révolution - d'erreur.

De façon analogue nous avons fait la simulation en 3D, mais la quantité des points nécessaires pour la simulation doit être importante et la surface très accidentée. Le cas échéant, il est difficile d'estimer séparément les erreurs en  $x$  et en  $y$ . Finalement nous comparons les valeurs obtenues par cette méthode -  $\sigma_p^2$  et  $\sigma_z^2$  - avec les valeurs introduites pour réaliser le bruitage, ou plutôt, avec les valeurs obtenues directement de l'échantillon des points bruités. En effet l'application permet, entre autre, le calcul de la moyenne des erreurs en planimétrie et en altimétrie de l'échantillon des points aléatoirement générés. Ces derniers sont, légèrement différents des valeurs introduites par le bruitage, même pour des échantillons de plus de 1 000 points (5000, 10 000). Dans tous les cas, les valeurs en altimétrie sont extrêmement proches des valeurs de l'échantillon. La bonne qualité de l'estimateur en planimétrie (ou en  $x$  et  $y$  dans les cas 3D), dépend de coefficients -  $\alpha$  ou autres - adoptés pour simuler un terrain plus ou moins accidenté.

Il y a certains problèmes de bord qui peuvent être évités. Il suffit d'enlever les points qui se trouvent à proximité, soit de l'extrémité du segment dans le cas de profils, soit près du bord des triangles dans les cas où l'erreur planimétrique est anisotrope. La notion de proximité est liée à l'erreur espérée en planimétrie ou à l'erreur obtenue sans tenir compte des problèmes de bord. La distance limite acceptable des points au bord pourrait être de l'ordre de 2 ou 3 fois ces erreurs (voir figure 4).

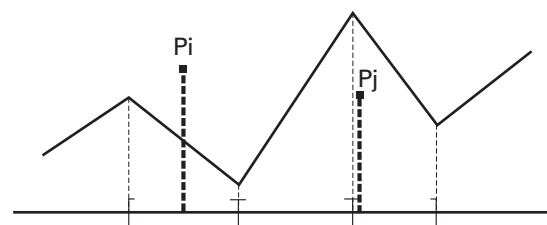


Figure 4 : Dans ce schéma le point  $P_i$  est accepté et le point  $P_j$  est refusé.

## ■ Résultats

$\Delta \sigma_z$  (%) et  $\Delta \sigma_p$  (%) sont les erreurs relatives (pourcent) de l'estimation de la méthode proposée par rapport à la distribution de l'échantillon. Pour chaque test, sept essais ont été réalisés pour montrer les variations.





### Test 1 :

Quantité de points : 500 ;  $\sigma_p$  : 15 ;  $\sigma_z$  : 10 ; ( $\sigma_p > \sigma_z$ ) et terrain peu accidenté : intervalle angulaire: -10 / 10

Distribution de l'Echantillon :  $\sigma_p$  : 14,84 ;  $\sigma_z$  : 9,89 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	1,12 %	3,82%	2,20%	0,77%	3,15%	0,32%	2,22%
$\Delta \sigma_p$ (%)	38,61%	50,36%	84,00%	15,13%	70,23%	4,31%	27,56%

Terrain plat : résultats en planimétrie non satisfaisants.

### Test 2 :

Quantité de points : 500 ;  $\sigma_p$  : 10 ;  $\sigma_z$  : 15 ; ( $\sigma_p < \sigma_z$ ) et terrain peu accidenté : intervalle angulaire: -10 / 10

Distribution de l'Echantillon :  $\sigma_p$  : 9,58 ;  $\sigma_z$  : 15,26 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	1,92%	3,68%	2,11%	2,5%	7,57%	5,10%	5,52%
$\Delta \sigma_p$ (%)	205,16%	354,23%	260,26%	237,66%	524,00%	412,33%	410,80%

Terrain plat et avec  $\sigma_p < \sigma_z$  les résultats en planimétrie sont très mauvais.

### Test 3 :

Quantité de points : 500 ;  $\sigma_p$  : 15 ;  $\sigma_z$  : 10 ; ( $\sigma_p > \sigma_z$ ) et terrain légèrement accidenté : intervalle angulaire: -20 / 20

Distribution de l'Echantillon :  $\sigma_p$  : 14,84 ;  $\sigma_z$  : 9,89 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	2,23%	3,93%	3,23%	2,56%	0,69%	3,26%	4,78%
$\Delta \sigma_p$ (%)	15,83%	51,10%	33,74%	20,14%	15,16%	13,58%	83,57%

Terrain légèrement accidenté : résultats en planimétrie non satisfaisants.

### Test 4 :

Quantité de points : 1000 ;  $\sigma_p$  : 15 ;  $\sigma_z$  : 10 ; ( $\sigma_p > \sigma_z$ ) et terrain peu accidenté: intervalle angulaire: -10 / 10

Distribution de l'Echantillon :  $\sigma_p$  : 15,09 ;  $\sigma_z$  : 10,11 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	2,20 %	2,14%	0,52%	4,07%	6,47%	5,76%	0,96%
$\Delta \sigma_p$ (%)	7,03%	10,29%	41,71%	70,89%	144,65%	111,04%	7,87%

Terrain plat : résultats en planimétrie non satisfaisants.

### Test 5 :

Quantité de points : 1000 ;  $\sigma_p$  : 15 ;  $\sigma_z$  : 10 ; et terrain légèrement accidenté: intervalle angulaire: -20 / 20

Distribution de l'Echantillon :  $\sigma_p$  : 15,09 ;  $\sigma_z$  : 10,11 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	0,70%	0,88%	2,76%	4,10%	0,94%	2,50%	5,56%
$\Delta \sigma_p$ (%)	9,08%	15,71%	32,17%	49,50%	6,32%	89,48%	44,29%

Terrain légèrement accidenté : résultats en planimétrie non satisfaisants.

### Test 6 :

Quantité de points : 5000 ;  $\sigma_p$  : 15 ;  $\sigma_z$  : 10 ; ( $\sigma_p > \sigma_z$ ) et terrain peu accidenté: intervalle angulaire : -10 / 10

Distribution de l'Echantillon :  $\sigma_p$  : 14,97 ;  $\sigma_z$  : 10,03 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	0,57%	0,70%	0,32%	1,33%	0,33%	1,80%	0,21%
$\Delta \sigma_p$ (%)	26,18%	18,28%	2,82%	56,66%	12,24%	12,28%	7,56%

Terrain plat : résultats en planimétrie légère amélioration.

### Test 7 :

Quantité de points : 5000 ;  $\sigma_p$  : 15 ;  $\sigma_z$  : 10 ; ( $\sigma_p > \sigma_z$ ) et terrain légèrement accidenté : intervalle angulaire: -20 / 20

Distribution de l'Echantillon :  $\sigma_p$  : 14,97 ;  $\sigma_z$  : 10,03 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	2,52%	0,91%	2,11%	2,74%	0,93%	3,27%	1,46%
$\Delta \sigma_p$ (%)	46,73%	6,76%	16,91%	18,27%	6,32%	33,49%	16,86%

5 000 points, terrain légèrement accidenté: résultats encourageants.

### Test 8 :

Quantité de points : 5000 ;  $\sigma_p$  : 10 ;  $\sigma_z$  : 15 ; ( $\sigma_p < \sigma_z$ ) et terrain assez accidenté : intervalle angulaire: -30 / 30

Distribution de l'Echantillon :  $\sigma_p$  : 10,03 ;  $\sigma_z$  : 15,03 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	0,87%	1,43%	0,48%	0,97%	2,88%	1,69%	0,72%
$\Delta \sigma_p$ (%)	11,02%	9,17%	0,78%	4,78%	18,00%	5,36%	2,83%

5 000 points, terrain assez accidenté: résultats satisfaisants en planimétrie, même avec ( $\sigma_p < \sigma_z$ )

### Test 9 :

Quantité de points : 10000 ;  $\sigma_p$  : 10 ;  $\sigma_z$  : 10 ; ( $\sigma_p = \sigma_z$ ) et terrain assez accidenté: intervalle angulaire: -30 / 30

Distribution de l'Echantillon :  $\sigma_p$  : 9,95 ;  $\sigma_z$  : 10,06 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	0,37%	1,26%	0,62%	0,01%	1,57%	0,11%	0,67%
$\Delta \sigma_p$ (%)	0,90%	9,72%	6,48%	3,30%	8,84%	1,96%	7,32%

10000 points, terrain assez accidenté: résultats satisfaisants en planimétrie, avec ( $\sigma_p = \sigma_z$ )

## Analyse et conclusions

L'analyse des résultats repris dans les tableaux qui précèdent conduit aux conclusions suivantes : l'écart, par rapport à la valeur de l'échantillon, des résultats en altimétrie, obtenus par l'estimateur proposé dans cet article, dépasse très rarement les 10 %. De plus, en fonction de la quantité de points (1000 ou plus) ces différences sont fréquemment inférieures au 1%. L'estimation des erreurs en altimétrie est donc très satisfaisante même dans les cas de terrains très accidentés. Notons que les méthodes simples (par ex. : mesure de distances verticales entre le modèle et la référence) ne donnent pas de bons résultats en terrain accidenté.

En planimétrie, bien que le problème soit déjà résolu pour les cartes par rapport à une référence par la méthode de la distance de Hausdorff, cet estimateur donne de bons résultats pour les MNT sous certaines conditions : terrain suffisamment accidenté et quantité de points très importante. Ces résultats sont encore meilleurs si l'erreur en planimétrie est supérieure à l'erreur en altimétrie.

Dans le cas de MNT obtenus par Interférométrie Radar où l'er-

reur en X est normalement différente de l'erreur en Y, on aura besoin d'un terrain présentant de fortes irrégularités et d'une quantité considérable de points, pour que les résultats obtenus aient un écart relatif inférieur aux 10 ou 15 %.

Avec les deux semis de points, celui du modèle et celui de la référence, il convient finalement de noter que l'application informatique qui permet d'estimer les erreurs du modèle par rapport à la référence, ne pose pas de problèmes majeurs. ●

JOSÉ FRANCISCO ZELASCO

## Contacts

jfz@fecic.edu.ar

Faculté des Sciences Exactes et Naturelles et Faculté d'Ingénierie  
- Université de Buenos Aires

Faculté des Sciences Exactes - Université du Centre de la Province  
de Buenos Aires Argentine

## Bibliographie

[ABA/94] ABBAS Iyad, "Base de Données vectorielles et erreur cartographique : problèmes posés par le contrôle ponctuel ; une méthode alternative fondée sur la distance de Hausdorff : le contrôle linéaire," Thèse, Université Paris 7, 1994.

[ABA/94b] ABBAS Iyad, GRUSSENMEYER Pierre, HOTTIER Philippe "Base de Données géolocalisées : estimation de l'erreur cartographique : une méthode fondée sur la distance Hausdorff : le contrôle linéaire. Remarques sur le contrôle ponctuel" Notes de cours, ENSG IGN 1994.

[GRU/94] GRUSSENMEYER Pierre, HOTTIER Philippe, ABBAS Iyad "Le contrôle topographique d'une carte ou d'une base de données constituées par voie photogrammétrique," Rev. XYZ 59, 2<sup>e</sup> trimestre 1994

[HAB/97] HABIB Mohamed, "Etude, par simulation, de la précision altimétrique et planimétrique d'un MNT obtenu par corrélation d'images spatiales (capteur à balayage) - Précision d'un MNT régulier - Erreur de rendu d'un semis régulier - Description d'une structure de MNT régulier," Thèse, Université Paris 7, 1997.

[HOT/96] HOTTIER Philippe, "Qualité géométrique de la planimétrie. Contrôle ponctuel et contrôle linéaire," Dossier: La notion de précision dans le GIS, Rev. Géomètre, Juin 1996.

[HOT/96b] HOTTIER Philippe, "La méthode du contrôle linéaire en planimétrie - Propositions pour une typologie des détails anormaux," ENSG, IGN, 1996.

[HOT/96c] HOTTIER Philippe, "Précis de statistiques," ENSG, IGN, 1996.

[PIQ/96] PIQUET-PELLOERCE Daniel, "Qualité dans les modèles numériques de terrain," Dossier : La notion de précision dans les SIG, Rev. Géomètre, Juin 1996.

[POR/96] PORNON Henry, "Données précises ou données de qualité?" Dossier : La notion de précision dans le GIS, Rev. Géomètre, Juin 1996.

[ROU/96] ROUSSELOT Claude, "La base de données topographique de l'IGN," Dossier : La notion de précision dans les SIG, Rev. Géomètre, Juin 1996.

[VEI/94] VEILLET Isabelle, "Une démarche qualité à l'IGN : Application à la réalisation de la BDTopo," Rev. XYZ 59, 2<sup>e</sup> trimestre 1994.

[ZEL/00] ZELASCO, José Francisco, ENNIS Kevin, "Solución de un problema en la estimación de variancias en un caso especial en el que se pueden aplicar estimadores habituales," XXVIII Coloquio Argentino de estadística, Posadas, Misiones, Argentina, Août 2000.

[ZEL/00b] ZELASCO José Francisco, ENNIS Kevin "Sistemas de Información geográfica Calidad geométrica de modelos numericos de terreno," SELPER 2000, Congreso latinoamericano de percepción remota, Puerto Iguazú, Argentina, Novembre 2000.

[ZEL/01] ZELASCO José Francisco, ENNIS Kevin, BLANGINO Eugenia "Quality Control in Altimetry and Planimetry for 3D Digital Models," 8th European Congress for Stereology and Image Analysis. Bordeaux, France, septembre 2001.

## ABSTRACT

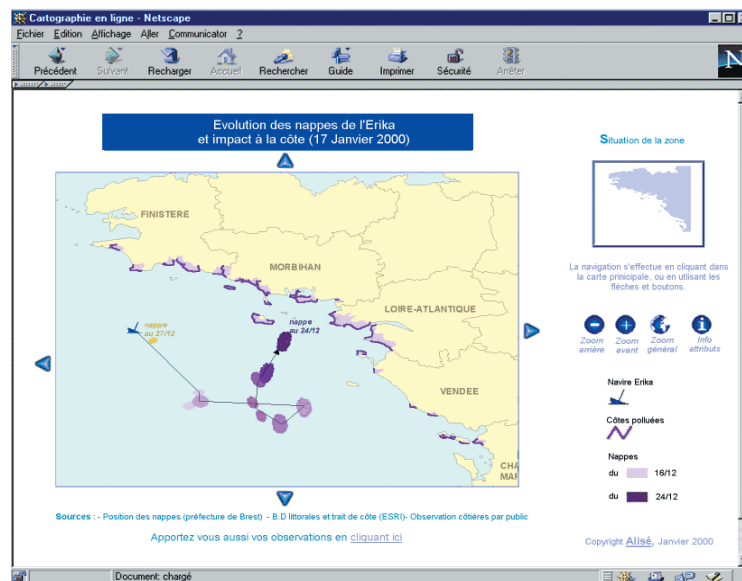
*In a Digital Elevation Model (DEM) the mean square error has not necessarily the same value in height and in the horizontal direction. We have tried several solutions for evaluating these errors separately. These solutions were derived from studies concerning the error in the horizontal plane. The quality of these solutions, evaluated by simulations, is not very up to standard. We try a new way that is to evaluate the parameters of the ellipsoid error centered in the reference surface. In a first step, we limit our study to the ellipse error; then, we generalize the result to the revolution ellipsoid. We find out the ellipse parameters by calculation using the distances between the tangent to the ellipse and the line passing through the center of the ellipse and parallel to the tangent. These distances are the mean squares of distances between the points of the DEM and the reference profile in the tangent direction. We show that this distance is also the square root of the variance in the tangent direction. This mean square solution is canonical. When the error in planimetry is not the same in the x and in the y axes, we need an important number of points and a quite rough surface for an acceptable estimation. The simulation results in several cases are adequate and satisfactory.*

## RESUMEN

*Los modelos numéricos de terreno almacenados en sistemas de información geográficos no tienen, normalmente, el mismo error en altimetría que en planimetría. Después de haber encarado varias soluciones derivadas de estudios de error en planimetría, y realizar diversas simulaciones con resultados no satisfactorios se decidió estudiar el problema desde otra óptica. La solución propuesta consiste en determinar los parámetros de las elipses o de los elipsoides de error centrados en la superficie de referencia. Primeramente, y en lo que concierne a este artículo, el estudio se limitó a elipses de error centrados en perfiles de referencia. Se determinan los parámetros de dicha elipse a partir de la distancia que separan tangentes a la elipse del centro de la misma. Notemos que esta distancia es la media cuadrática de las distancias que separan el perfil de referencia de los puntos del modelo numérico que se quiere evaluar, es decir, la raíz cuadrada de la varianza marginal en la dirección de la tangente. Se generaliza a los elipsoides de revolución. Es el caso en que el error en planimetría tiene el mismo valor en todas las direcciones del plano horizontal (no es el caso de los MNT producidos v.g. por interferometría radar). Finalmente, para evaluar los tres parámetros de un elipsoide, caso en el que los errores son diferentes en las tres direcciones se observa que la cantidad de puntos necesaria para la simulación es importante y la superficie debe ser muy accidentada. En caso contrario es muy difícil estimar los errores en x e y. Sin embargo, en todos los casos, es decir, que se trate de un elipsoide de revolución o no, la estimación del error en z (altimetría) da resultados muy satisfactorios.*

# Atlas dynamique sur associées au naufrage

*Le 16 décembre 1999, l'Erika sombrait au large des côtes bretonnes. Face à cette menace de pollution majeure sur le littoral atlantique, un groupe d'internautes indépendants s'est rapidement mobilisé sur le site Radiophare. Des géomaticiens, des géographes et des informaticiens y ont uni leur effort de manière spontanée et désintéressée pour mettre en place cet atlas dynamique*  
[http://www.radiophare.net/alise/carto\\_erika.htm](http://www.radiophare.net/alise/carto_erika.htm)



**Figure 1 : Suivi des communes polluées à l'aide de déclarations d'observateurs volontaires.**

**F**ace à l'absence d'information fiable sur la nature et l'étendue des dommages, diffusée par les services habilités, dans les jours qui ont suivi la catastrophe, nous avons sollicité le collectif citoyen pour établir ce premier bilan cartographique.

L'objectif était de fournir une information cartographique:

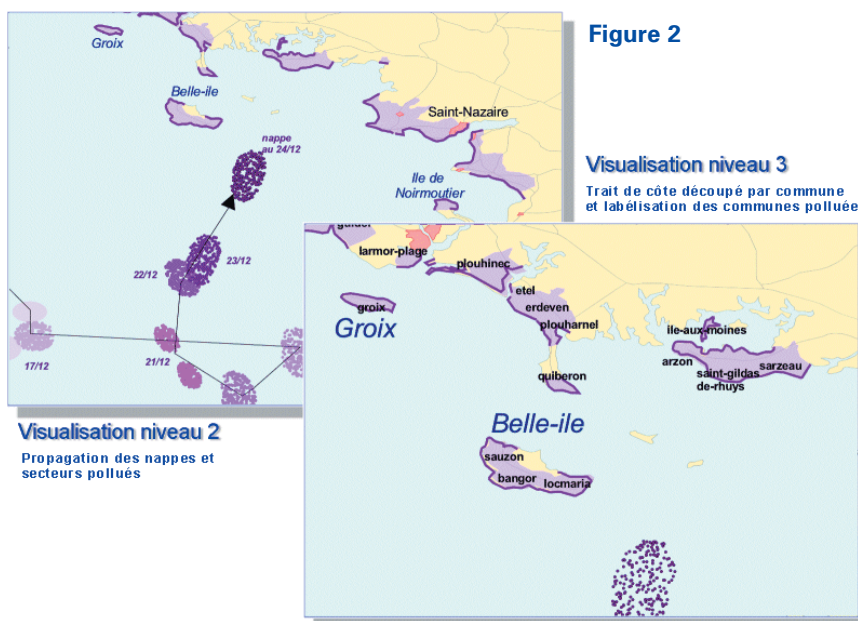
- mise à jour quotidiennement
- disponible auprès de tous (via le web),
- objective (à l'écart des polémiques qui ont parfois biaisé certaines informations à chaud).

Deux ans après le naufrage, à la demande de la rédaction d'XYZ, revenons sur cette expérience, primée au dernier Géo-événement. Nous ne traiterons pas dans cet article des nombreuses polémiques qui ont suivi le naufrage, mais présenteront simplement cet effort de récolte et de mise à disposition d'information cartographique à l'aide d'Internet.

## Mise en œuvre de l'atlas dynamique sur Internet :

Dès le 20 décembre, une première source d'information était diffusée sur le site de radiophare, grâce aux

échanges d'informations avec la préfecture de Brest, sur la position et l'étendue des nappes. Très vite le dispositif s'est enrichi d'une application de cartographie en ligne, originale et



**Figure 2**

### Visualisation niveau 3

Trait de côte découpé par commune et labélisation des communes polluées



# le WEB, des pollutions de l'Erika

légère (cf. Figure 1), intégrant les déclarations soumises par les observateurs côtiers sur ce même site.

L'atlas en ligne cartographie, la propagation des nappes, et les communes polluées sur le linéaire côtier des 4 départements concernés soit 1800 km de côte (cf Figure 2), selon 3 niveaux d'échelles (du littoral atlantique à la commune). Le dispositif était opérationnel le 23 décembre, 10 jours seulement après le naufrage de l'Erika et enregistrait le 25 décembre les premiers témoignages de pollutions dans les départements du Finistère et du Morbihan.

Dès l'échouage des premières nappes sur le littoral, le site mettait ainsi en évidence, sans soucis de polémique, l'inadéquation du plan Polmar, basé sur un modèle de propagation de nappe. Ce modèle, avait prédit à tort, à partir des reconnaissances aériennes réalisées par la marine nationale, l'arrivée des nappes plus au sud (Charentes maritimes, Loire atlantique).

En cette période de crise, cette application reposait sur un collectif d'observateurs et de développeurs, unis autour d'un territoire géographique : la façade nord atlantique, sans mandat, mais qui touchés par cet événement ont souhaité exercer leur rôle citoyen, en mutualisant leurs sources d'informations res-

**Formulaire information observation pollution à la côte**

Renvoyez nous vos observations à la côte et participez ainsi à un mouvement d'information publique sur cette catastrophe. Quelques suggestions pour que nous puissions récolter votre information et la traiter dans de bonnes conditions (nous ne sommes pas des professionnels et disposons donc de moyens limités) :

- 1 ) Veuillez remplir toutes les rubriques ci-dessous.
- 2 ) Prenez soin au préalable de vérifier sur la [cartographie des côtes touchées](#) que votre commune ou que le secteur de votre commune n'y figure pas déjà, auquel cas nous vous remercions de ce retour, mais il n'est pas nécessaire de nous envoyer ce formulaire.
- 3 ) La crédibilité de cette action repose sur la qualité de votre retour d'information, alors même si ce problème vous touche, essayez d'estimer objectivement les secteurs pollués.

Merci à vous

**Quelle est la commune dont les côtes ont été polluées ?**

Sélectionnez une commune

Autre commune:

**Quelle partie de cette commune est touchée ?**

☐ Nord ☐ Centre ☐ Sud ☐ Toute

**Entrez éventuellement le nom du secteur pollué (maxi 255 caractères)**

**Quel type de pollution observé ? (en quelques mots clés) (maxi 255 caractères)**

**Indiquez vos coordonnées :**

Indiquez vos nom et prénom

Indiquez votre email (facultatif)

[\[ retour \]](#)

■ ■ ■ Figure 3

La cartographie présente en outre, dans le cas de ces phénomènes de risque, un pouvoir synthétique extraordinaire. Elle met à la portée de tous une information riche et pourrait ainsi contribuer à une meilleure prévention et une meilleure gestion de crise. Il convient d'ailleurs de rappeler que des démarches nouvelles ont été mise en oeuvre depuis le naufrage de L'Erika, que ce soit par soucis de mise à disposition d'information à la suite de l'épisode du levolu Sun par exemple, ou de mise à disposition de données comme le projet d'ortho-photographies numérique sur l'ensemble du littoral Atlantique, Manche, Mer du Nord distribuées gratuitement.

- ■ ■ pectives. Le site assurait ainsi à la fois un rôle d'information par la cartographie des communes touchées et un rôle de récolte d'information par le biais du formulaire (cf Figure 3) que toute personne concernée pouvait remplir en quelques minutes.

Face à ce problème de pollution littorale, comme pour d'autres risques majeurs, l'Internet permet d'établir une relation plus directe entre les institutions et les citoyens, tant dans un processus de prise de connaissances des faits que de retour d'information. Cette catastrophe de L'Erika aura sans doute été une sonnette d'alarme pour les administrations de l'état qui ont mesuré, à posteriori, combien les citoyens étaient demandeurs d'information et comment ces mêmes citoyens s'organisaient pour faire circuler cette information, selon leur niveau de compétence et de moyens bien sur.

La cartographie présente en outre, dans le cas de ces phénomènes de risque, un pouvoir synthétique extraordinaire. Elle met à la portée de tous une information riche et pourrait ainsi contribuer à une meilleure prévention et une meilleure gestion de crise. Il convient d'ailleurs de rappeler que des démarches nouvelles ont été mise en oeuvre depuis le naufrage de L'Erika, que ce soit par soucis de mise à disposition d'information à la suite de l'épisode du levolu Sun par

exemple, ou de mise à disposition de données comme le projet d'ortho-photographies numérique sur l'ensemble du littoral Atlantique, Manche, Mer du Nord distribuées gratuitement. Cette dernière opération devrait certainement lever un des freins à la mise en place de dispositifs de prévention littoral, liés à l'absence de données référentielles libres de droits.

## Description technique de l'application

■ La première étape de ce développement a consisté à choisir le référentiel, base de la représentation cartographique : Nous avons à l'époque retenu le trait de côte, découpé par commune, aimablement mis à disposition par la société ESRI, seule Base de donnée libre de droit disponible dans des délais très courts et en l'absence de commande officielle. Ce trait de côte a permis le report des communes touchées par les pollutions (cf Figure 2). Les données listant les communes touchées, le ou les secteurs et la nature des pollutions étaient recueillies chaque jour auprès des observateurs, à partir d'un formulaire, développé en Php (cf Figure 3). Elles étaient ensuite téléchargées sous forme de fichiers Excel, et importées dans la base de données géographique à l'aide du logiciel ArcView. A l'issue de

cette étape nous disposions d'une base de données, accessible sous le système d'Information Géographique, et mise à jour quotidiennement.

■ Une deuxième étape consistait à produire un atlas cartographique, consultable sur Internet par le biais d'un navigateur standard (Internet explorer ou Netscape Communicator). Une extension développée par nos soins, dénommée e-carto ([www.ecarto.fr.st](http://www.ecarto.fr.st)), permettait en quelques minutes de produire cette cartographie prête à être publiée sur Internet (cf. figure 1).

Le principe de cet outil est d'automatiser par le biais de script Avenu, le langage de programmation Objet du logiciel Arcview, la production de dalles images, (selon trois échelles emboîtées), ainsi que l'export des pages Html qui permettent la consultation de ces dalles. Cette production est guidée par une interface utilisateur sous la forme de boîtes de dialogues sous Arcview, qui s'enchaînent et qui permettent de définir les entrées et options de cet atlas (échelle maximale, nombre de niveaux, titre, légende, seuil de zoom de chaque thème, etc.) (cf Figure 4).

Dans l'atlas numérique résultant, la navigation entre les dalles, et le changement d'échelle, accessibles par le biais de boutons dans le navigateur Internet, repose sur une programmation en Javascript.

Même si cette solution ne saurait être comparée à un moteur géographique (qui traite en dynamique les BD géographiques), elle présente un certain nombre d'atouts :

- Elle ne requiert aucun logiciel spécifique pour l'utilisateur final, ni aucune couche logicielle coté serveur. Un simple navigateur suffit. Elle pouvait ainsi être consultée sur le site de Radiophare, sans faire appel à un Plug-in, petit logiciel qui vient enrichir les fonctionnalités du navigateur mais qui constitue un frein pour bon nombre d'utilisateurs. Ce mode de consultation aura donc garanti une consultation large de l'atlas.
- Elle présente une interface de consultation simple et intuitive. Les utilisateurs n'ont pas eu à se reporter à un

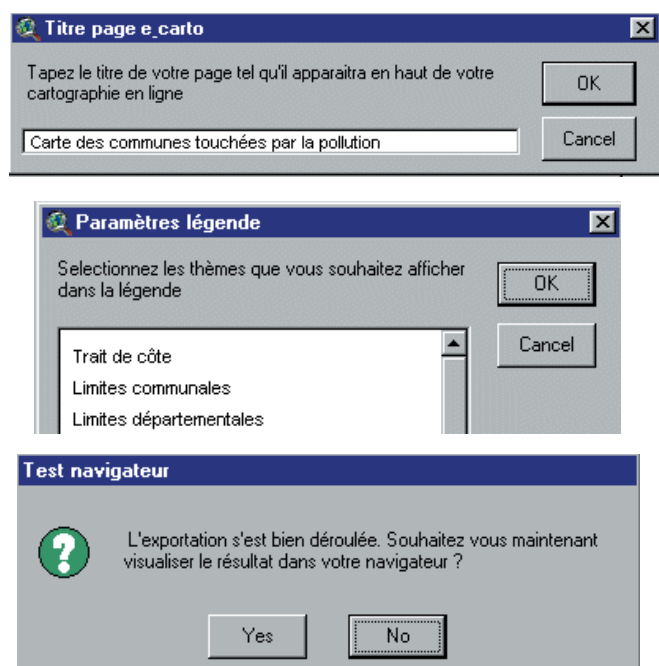


Figure 4

manuel complexe ou à une aide en ligne pour naviguer dans l'atlas. Les fonctionnalités proposées sont volontairement limitées (Zoom, Pan, Interrogation de table attributaire) et correspondent à des besoins de visualisation cartographique pour un public non initié.

- Elle met à profit les capacités du SIG pour adapter selon des règles prédéfinies, la sémiologie à chaque échelle d'exportation, et assurer ainsi une bonne lisibilité des cartes résultantes à chaque niveau de zoom : 1) à l'échelle régionale - labélisation de quelques communes - affichage de quelques axes majeurs de communication pour se repérer dans le territoire régional 2) à l'échelle la plus fine, affichage des limites communales et labélisation de toutes les communes du littoral. L'utilisateur dispose ainsi d'une représentation adaptée à chaque échelle, sans se soucier des limites de validités des données consultées.

## Bilan tiré de cette expérience, et perspectives

Ce processus d'échange d'information original a fonctionné rapidement avec des moyens très limités (hébergement gratuit sur radiophare, bénévolat). Les observateurs ont saisi la possibilité de s'exprimer, et le public a jugé cette information utile en témoigne les statistiques de consultation.

Cette application repose entièrement sur l'utilisation d'un SIG de type Bureautique et sur les possibilités offertes par la liaison entre des éléments géo-référencés, les communes, et les informations descriptives associées (type de pollution, secteurs touchés, date de pollution, etc.). Elle fournit une vision spatiale, et dynamique de la propagation des nappes ainsi que celle des pollutions à la côte.

L'utilisation d'un S.I.G., couplé à une base de données des déclarations des observateurs ont présenté des avantages décisifs :

- Ceci a permis, contrairement à une approche cartographique classique, la mise à jour à la fois simple et rapide

des représentations cartographiques. Il suffisait de récupérer les données des observateurs et de les importer dans la base de données géoréférencées pour mettre à jour automatiquement la cartographie des communes touchées par liaison attributaire.

- Le couplage entre S.I.G et Internet a permis une diffusion large de cet atlas dynamique, alors que les coûts associés à la diffusion d'un atlas papier auraient été incompatibles avec l'absence de moyens de cette initiative.
- Enfin cette approche spatiale a permis de mettre en évidence la propagation de la pollution, depuis les côtes du Finistère, vers les départements plus au sud, et l'incohérence de certaines prévisions, que des rapports statistiques (nombre de communes touchées) n'avaient pas, à l'époque de la catastrophe, aussi bien mis en évidence.

Ce dispositif aurait pu être enrichi, selon le même principe, en se basant sur un référentiel plus détaillé, comme par exemple l'I.P.L.I. (Inventaire Permanent du Littoral) et en initiant quelques observateurs privilégiés, dénommés "vigils", comme le suggérait d'autres approches au sein du site Radiophare. La géomatique associée au potentiel d'échange d'information sur Internet permettrait ainsi, avec des moyens simples, de créer un véritable système de veille sur le littoral.

Cette application d'atlas sur le WEB a été jugée efficace puisqu'elle a été retenue, entre autre, par le M.A.T.E. pour informer sur les risques majeurs dans l'Aude, nouvelle application "citoyenne". Nul doute que la vision géographique est en passe de se démocratiser via le WEB. ●

HÉLÈNE DURAND

## Contacts

Hélène Durand,  
Atelier Languedocien d'Information  
Spatialisée (Alisé)  
340 Allée du Terral,  
34430 St Jean De Védas  
[Http://www.alise-geo.fr/st/](http://www.alise-geo.fr/st/)  
[Helene.durand@wanadoo.fr](mailto:Helene.durand@wanadoo.fr)

## Remerciements

Cette application est le fruit de l'engagement, à titre personnel, des personnes suivantes : Céline Boissinot d'ESRI France (relation avec préfecture maritime, fourniture BD communale), Hélène Durand (développement de l'atlas dynamique, mise à disposition d'e-carto, mise en forme des données), Michel de la société I-com (développement PHP), Benoit Veler (collaboration à la mise en forme des données), Olivier Zabloski (responsable de l'initiative Radiophare).

## Quelques liens :

L'atlas de l'Erika en ligne :  
<http://www.alise-geo.fr/st/erika.htm>

Atlas des risques majeurs sur L'Aude :  
<http://www.aude.pref.gouv.fr/dcs2000/carto/synthese/index.htm>

Atlas des risques d'inondation sur l'Hérault :  
<http://www.environnement.gouv.fr/Languedoc-Roussillon/risques/zi/herault/communes34.htm>

Présentation cartographique suite au naufrage du levolu Sun développé par l'Ifremer : <http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/ievolicartes.htm>

Projet d'orthophotographie numérique Manche Atlantique : <http://siglittoral.3ct.com/> (adresse provisoire et prochainement accessible sous [www.mer.gouv.fr](http://www.mer.gouv.fr) rubrique littoral données géographiques)

## ABSTRACT

*The 16th of December 1999, the Erika sank next to the French Britain shore. Some independent geographer, computer, and GIS specialist joined their forces to build a WEB site giving up to date cartography of the coastal pollution. This was original by the fact it was developed without any official command, in a very short time, and because the cartography was based on the declaration of citizen willing to participate to this information work.*



# Perspectives de modernisation des systèmes cadastraux

*La terre, dès l'origine des civilisations, a constitué la base de la richesse individuelle. Pour subvenir à leurs besoins, les collectivités naissantes ont naturellement pensé à opérer un prélèvement sur les produits de cette richesse, la plus apparente et la plus facile à atteindre. C'est ainsi qu'ont été créés les premiers cadastres pour fournir une documentation donnant la description et l'évaluation des propriétés foncières.*

*Le présent article se propose de présenter d'une façon générale, les systèmes cadastraux existants à savoir le système napoléonien, le système germanique et le système Torrens. Il expose les tendances organisationnelles et techniques de modernisation du cadastre., et présente la vision de la Fédération Internationale des Géomètres (FIG) pour un système cadastral futur appelé "Cadastre 2014".*

## MOTS CLES

Propriétés foncières, systèmes cadastraux, tendances, modernisation, FIG, cadastre 2014.

## Introduction

La trace du cadastre a été trouvée dans le désert d'Arabie. Dès l'an 4000 avant JC., il consistait en un outil d'évaluation et de taxation fiscale (Cichocinski, 1999). Chez les romains, le cadastre appelé cens était basé sur l'annonce des propriétaires. Les propriétaires terriens étaient tenus de déclarer la consistance et la valeur de leurs biens. Le censitor, responsable du cens, contrôlait ces déclarations (Anonyme, 1974). Néanmoins, avec le développement de l'humanité, les gouvernements ont été conduits à orienter le cadastre vers un nouveau concept, l'enregistrement foncier et la garantie des propriétés (Williamson, 1987). De nos jours, le cadastre est établi pour une imposition fiscale équitable, pour contrôler et gérer les transactions immobilières ou pour assister la gestion et l'utilisation du territoire. Il permet un développement harmonieux et une protection de l'environnement (Mondon, 1998).

Dans la plus part des pays du monde, les systèmes cadastraux comprennent un enregistrement foncier et une cartographie cadastrale (Kaufmann et al., 1998). Selon leurs priorités, les systèmes cadastraux s'accordent sur les meilleures façons de gérer les biens fonciers, en se rapprochant de trois modèles exemplaires d'enregistrement foncier (Henssen, 1995). Ces modèles sont apparus au XIX<sup>e</sup> siècle pour s'adapter à des contextes différents avec des priorités particulières (Mondon, 1998).

## Les systèmes cadastraux existants

### ■ Le cadastre napoléonien

Le cadastre napoléonien a été instauré en France puis dans différents pays européens par Napoléon ou sous son influence. Il a fondamentalement un but fiscal et parcellaire (Clergeot, 2000). L'ensemble du système cadastral est sous l'autorité du ministère des finances (Mondon, 1998). Il ne constitue ni la preuve de la propriété (il se contente de prendre en compte les propriétés déclarées), ni la preuve de sa consistance puisque le bornage n'est pas obligatoire et que l'institution se satisfait de la limite apparente (Molen, 1995). Le système foncier du cadastre napoléonien, lié à celui de la publicité, a l'avantage de couvrir tout le territoire en assurant le recouvrement de l'impôt et la sécurité relative des transactions (Molen, 1995).

### ■ Le cadastre germanique

Le livre foncier germanique a une mission exclusivement juridique, d'enregistrement et de preuve de droit. Toutefois, il est apte à remplir une mission fiscale dans la mesure où il identifie clairement les propriétaires et où il décrit précisément les propriétés (Mondon, 1998).

Reposant sur le service du cadastre, qui décrit la matérialité des immeubles et les identifie à travers un bornage obligatoire, le livre foncier a dans sa forme des avantages indéniables. Ces

atouts sont la précision de son plan, la force de ses énonciations et sa couverture de l'ensemble du territoire (Mondon, 1998).

## ■ Le système torrens

Le système de l'acte torrens, établi en Australie, est un système d'immatriculation des terres dont la mission est juridique. Il ne reconnaît que les terrains immatriculés, ce qui le rend relativement inapte à remplir d'autres missions (Mondon, 1998). Ce système a l'avantage de permettre à l'administration de garantir les droits de propriétés à peu de frais dans des territoires partiellement mis en valeur.

Au terme de cette présentation des trois systèmes d'enregistrement, on remarque que le système germanique remplit autant la vocation fiscale que juridique. Les deux autres ont une vocation soit fiscale (napoléonien) soit juridique (torrens). Les systèmes napoléonien et germanique ont l'avantage de couvrir l'ensemble du territoire ; Pourtant, dans la plus part des cas, ils ne permettent pas de séparer la mensuration cadastrale du système foncier. Au contraire, le système Torrens est mis en place par le biais d'utilisation des deux systèmes (mensuration et foncier). Mais il ne reconnaît que les propriétés immatriculées et ne couvre pas tout le territoire (Tableau 1).

Système	Napoléon	Germanique	Torrens
Caractéristiques			
Vocation	fiscale	juridique/ fiscale	juridique
Séparation : cadastre/foncier	Oui	Oui / non	Non
Couverture	Oui	Oui	Non

Tableau 1 : comparaison des systèmes d'enregistrement

## Les tendances de modernisation

### ■ Les tendances organisationnelles

De point de vue organisationnel, les tendances de modernisation des systèmes cadastraux sont dominées par l'évolution vers le numérique. On tend vers la mise en place des systèmes d'information du territoire (SIT) qui sont définis par la FIG(1995) comme "instruments de décisions dans les domaines juridiques, administratifs et économiques et une aide pour la planification et au développement; il comprennent d'une part, une base de données à référence spatiale contenant des données se rapportant au sol sur un territoire donnée et, d'autre part, les procédés et techniques nécessaires à la saisie, la mise à jour systématique, le traitement et la diffusion des données. La base d'un SIT est constitué d'un système à référence spatiale facilitant la connexion des données de ce système avec d'autres données relatives au territoire". Ce système sera basé sur des cadastres à multi-usages et où toutes les administrations traiteront le territoire

d'une façon intégrée (kaufmann et al., 1998).

Cette tendance vise à la mise en place d'un processus dynamique permettant de traiter l'ensemble des informations aux niveaux local et régional d'un territoire. C'est un système polyvalent aboutissant à la constitution d'un arrangement de données relatives à l'étendue géographique et aux aspects juridiques, socio-économiques et environnementaux du territoire.

Cette nouvelle vision est principalement justifiée par le rôle fondamental que joue le cadastre au sein d'un Système d'Information territorial. Son apport ne se limite pas uniquement à la fourniture d'informations foncières et cadastrales, mais permet de déterminer une plus value qui est la composante spatiale. En effet, la mise en œuvre de ce système exige la définition des éléments suivants (Drinnan, 1984) :

- Un système de référence unifié basé sur un réseau géodésique global,
- Une cartographie à grande échelle, précise, exacte et mise à jour,
- Un système cadastral bien établi pour assurer les droits de propriétés,
- Une manière d'indexation des propriétés pour faciliter l'enregistrement dans un système d'information,
- Un système de gestion de base de données pour le traitement, le stockage, l'échange et la mise à jour des informations.

### ■ Les tendances techniques

Les tendances de modernisation les plus évidentes dans le domaine technique sont l'automatisation des méthodes de travail et la numérisation des données cadastrales. La mise en réseau et l'établissement des banques de données constituent la base de ces tendances (kaufmann et al., 1998). En outre, l'intégration des technologies SIG dans les méthodes de gestion, de production et le déploiement des données cadastrales sur Internet sont un véritable défi à relever par les systèmes cadastraux de troisième millénaire.

#### Numérisation du cadastre :

Les modèles classiques du cadastre, basés essentiellement sur les mappes graphiques et les registres foncières, ont montré leurs carences et insuffisances en terme d'efficacité et de qualité des données fournies (Cichoncinski, 1999). En vue de constituer une couverture cartographique numérique, de nombreux pays ont entrepris la mise en œuvre d'opérations de numérisation des mappes cadastrales selon différents procédés.

Parmi les méthodes suivies on cite :

- La numérisation des mappes analogiques existantes,
- Le levés directs sur terrain en utilisant les stations totales, GPS,... etc.,
- L'orthophotographie et la photogrammétrie numérique.

## ■ ■ ■ Le cadastre et la technologie SIG

Les SIG jouissent d'un consensus inédit quant à leurs apports et leurs performances en matière de stockage, de traitement et de présentation des données géographiques. Ces raisons permettent des applications extrêmement diversifiées dans un nombre croissant de domaines. Pour le cadastre, les SIG sont considérés comme un enjeu de taille. En effet, ils constituent (Bézar, 1997) :

- Un support pour la gestion de la mappe cadastrale numérique : saisie, stockage, mise à jour, édition, etc.,
- Un support pour la mise en œuvre d'un système d'information cadastral,
- Un moyen de recherche multicritère sur l'ensemble des données cadastrales,
- Un moyen de transformer la mappe cadastrale en un outil à multi-usage comme l'ajout d'autres couches d'informations, le croisement ou l'intersection avec d'autres couches,
- Un outil d'analyse et d'étude de qualité pour l'aide à la prise de décision.

Par ailleurs, le cadastre, organisme étatique considéré comme un des principaux producteurs de l'information géographique, doit être capable de produire des données précises, de qualité et accessibles à d'autres systèmes (Masser, 2000). L'aboutissement de ces objectifs se heurte à différentes barrières. Les plus importantes sont la progression inégale des différents cadastres en terme d'automatisation et l'absence de normes de production pour harmoniser les bases de données géographiques.

## Le cadastre et la technologie Internet

Les systèmes du cadastre voient dans l'Internet, combiné avec les SIG un moyen approprié pour mieux servir les usages des données cadastrales. En effet, si les SIG permettent d'optimiser des requêtes spatiales, de manipuler des cartes et des images, de créer des scénarios pour l'analyse et la production des résultats, la technologie Internet permet de présenter ces résultats en ligne aux utilisateurs (Polley, 1998). Un cadastre en ligne consiste, en général, en un ensemble d'informations cadastrales faciles à manipuler et à intégrer dans des logiciels SIG (Williamson et al., 1999).

## La vision de la fig

### ■ Les définitions de base pour une vision future

Le groupe de travail sur le cadastre, de la FIG, a pour objectif la conception d'un modèle du système cadastral regroupant les aspects d'un cadastre conventionnel et d'un cadastre

moderne. Les notions du territoire, du cadastre, de l'inscription (enregistrement) des biens fonciers et de l'immatriculation foncière caractérisant les anciens systèmes, doivent être reformées pour couvrir les aspects d'un cadastre moderne à multi-usage. En effet, ces différentes notions peuvent être unies en deux définitions de base qui sont l'objet du territoire et le cadastre 2014 (Kaufmann et al., 1998).

L'objet du territoire désigne un espace à l'intérieur duquel les détails naturels coexistent et sont sujets soit à des conditions légales homogènes soit à des conditions naturelles uniques mais sans référence légale. Les premiers constituent les objets légaux du territoire et les seconds les objets physiques.

Le cadastre 2014, quant à lui, est considéré comme un inventaire public de tous les objets légaux et physiques du territoire. Dans ce système chaque objet est défini par le droit public ou privé et identifié d'une façon systématique et conjointement avec ses données descriptives : taille, nature, ayant-droits, droits,... etc. Dans ce sens, le cadastre 2014 vise à remplacer les modèles conventionnels par un système cadastrale polyvalent.

### ■ Les déclarations du "cadastre 2014"

Présenté lors du XX<sup>e</sup> congrès à Brighton (juillet 1998) le rapport final adopté par le commission VII de la FIG ; montre une nouvelle vision d'un système cadastral baptisée "cadastre 2014". Ce rapport s'articule autour de six déclarations (Kaufmann et al., 1998).

**Mission et contenu :** Le cadastre 2014 indiquera la situation légale complète du territoire y compris les droits et les restrictions de droit public.

**Organisation :** Si la séparation entre les plans et les registres était nécessaire du fait que la technologie disponible ne permettait pas d'envisager d'autres solutions, la distinction entre les devoirs des Géomètres et des notaires dans le cadastre 2014 sera sérieusement modifiée.

**Le rôle changeant des plans et des cartes :** La technologie moderne permet de créer à partir d'un même modèle de données des cartes et des plans sous différentes échelles et de générer divers registres. Ainsi dans le cadastre 2014, il n'y aura plus de dessinateur.

**La technologie informatique :** La Géomatique sera l'outil normal mis en œuvre lors des travaux cadastraux. Le cadastre 2014 doit, fournir le modèle des données de bases. Les géomètres doivent penser en terme de modèles et appliquer une technologie moderne destinée à la manipulation des modèles de ce genre.

**Le cadastre 2014, quant à lui, est considéré comme un inventaire public de tous les objets légaux et physiques du territoire. Dans ce système chaque objet est défini par le droit public ou privé et identifié d'une façon systématique et conjointement avec ses données descriptives: taille, nature, ayant-droits, droits, ...etc. Dans ce sens, le cadastre 2014 vise à remplacer les modèles conventionnels par un système cadastrale polyvalent.**



**La privatisation :** Le cadastre 2014 sera fortement privatisé. Les institutions privées offrant plus de souplesse seront chargées de l'exécution des travaux cadastraux alors que le secteur public se concentrera sur la supervision et le contrôle.

**Le recouvrement des frais :** le cadastre 2014 procédera au recouvrement des coûts. Une analyse coûts/bénéfices sera un aspect très important de la mise en œuvre du cadastre. Les géomètres auront plus à faire à l'avenir dans le domaine des questions d'ordre économique.

## Conclusion

A travers cet article, nous avons brièvement présenté les différents systèmes cadastraux existants dans le monde. Nous avons exposé les tendances de modernisations de ces systèmes en présentant la vision future de la FIG pour un cadastre moderne. Sur la base de cette investigation, une nouvelle approche doit être menée pour la mise en place d'un système cadastral permettant une sécurité adéquate des droits, une meilleure performance de gestion et une référence d'information fiable. En outre, la situation juridique et physique d'un objet du territoire doit être bien déterminée car elle constitue un impératif de développement social et économique.

La cadastre 2014, une fois, institué doit jouer un rôle important dans la conduite de réformes des systèmes existants. Il s'avère aussi que la nouvelle vision de la FIG est ambitieuse. En effet, elle se base sur une approche participative entre les deux secteurs privé et public et sur le principe d'intégration des nouvelles technologies de l'information pour s'aligner au changement rapide des économies.

L'investigation dans le domaine du cadastre est cruciale. Elle permet d'illustrer la richesse et la complexité des aspects des différents systèmes cadastraux. En effet, une étude scientifique doit être conduite pour parfaire l'enjeu de nos réflexions dans ce travail. Cette étude sera principalement axée sur les thèmes suivants :

- L'analyse des différentes perspectives de modernisation des systèmes cadastraux (France, Maroc, Canada, USA, Russie).
- L'étude des aspects d'un cadastre à buts multiples (Canada, USA, Australie) permettant la discussion de son apport vis à vis du développement des nations.
- L'analyse des différentes approches de conception et de mise en place des systèmes cadastraux informatisés par la présentation d'expériences concrètes (USA, Finlande, Maroc) ●

**MOHA ELAYACHI<sup>1</sup>, EL HASSANE SEMLALI<sup>1</sup>  
MUSTAPHA BOUKBECH ET HOUDA ESSAADI<sup>2</sup>**

(1) Enseignant chercheur au Département de Géodésie et Topographie, IAV HassanII, Maroc

(2) Ingénieurs Topographes, Rabat, Maroc.

## Références bibliographiques

**Anonymes, 1974 :** *Notions élémentaires sur le cadastre français*. Editions Eyrolles.

**Bezard P., 1997 :** *Les systèmes d'informations géographiques*. Le topographe, No.4, Maroc.

**Cichocinski P., 1999 :** *Digital cadastral maps in land information systems. Liber quarterly, the journal of European research libraries*. Vol.9, No.2.

**Clergeot P., 2000 :** *Le plan cadastral français et son évolution*, revue Géomètre, No. 11, pp.43-45, Paris.

**Drinnan Charles H., 1984 :** *Design considerations for mapping information management systems to support multipurpose cadastres*. Computers, environment urban systems, Vol.9, No.23, pp.155-169, Great Britain.

**FIG., 1995 :** *Statement on the cadastre*, Fédération Internationale des Géomètres, Bureau FIG, Canberra, Australie.

**Henssen J., 1995 :** *Basic principles of the main cadastral system in the world*. Séminaire de Delft, FIG1995.

**Kaufmann J. and Steudler D., 1998 :** *Cadastre 2014, a vision for future cadastral system*. FIG.

**Masser I., 2000 :** *The first generation of a national geographic information strategies*, ITC, Netherland.

**Molen P., 1995 :** *Napoleonic systems in Netherland, Belgium and France*. Communication au séminaire de Delft, FIG1995.

**Mondon E., 1998 :** *Le savoir-faire cadastral français, un atout pour l'export*. Mémoire d'Ingénieur ESGT, France.

**Polley I., 1998 :** *Facilitating the use of cadastral data through the world wide web*. Thèse de maîtrise en sciences géomatiques. Département géomatique, université de Melbourne.

**Williamson I., 1987 :** *Cadastral and land information systems, where are we heading?*. The professional journal of Institution of surveyors, Malaysia. Vol.22, No.2.

**Williamson I., & Majid A., 1999 :** *Cadastral systems on the World Wide Web, a multipurpose vision*. Communication 27<sup>e</sup> conférence AURISA, Fairmont Resort, Blue Mountains NSW.

## ABSTRACT

*The land, since the beginning of civilizations, has been the basis of individual wealth. In order to provide their basic needs, the nascent societies have been thinking how to take advantage of the products of this wealth. Thus, the early forms of cadastres were established to afford documentation information on real estate and to assess the value of land properties.*

*The purpose of this paper is to present in a general manner, the existing cadastral systems such as napoleonean system, germanic system, and Torrens system. It outlines the technical and the organizational trends of the modernizing cadastral systems. The so called "cadastre 2014" noted as the vision of the International Federation of Surveyors (FIG) is also discussed in this paper.*

**Key word:** Land properties, cadastral systems, trends, modernizing, FIG, cadastre 2014.

# L'application d'un système de coordonnées dans un autre référentiel

*Il arrive qu'on soit amené à calculer un ensemble d'observations dans un système de géodésique, et que par la suite on soit obligé de transformer les coordonnées du ou des canevas dans un autre système. Ce problème se traitait, jadis, sous la forme la plus simple d'un changement de base. L'arrivée de l'informatique a permis des raffinements plus poussés et plus savants ; mais, comme on va le montrer, ceux-ci ont des limites matérielles qu'il faut connaître.*

**S**ous sa forme la plus simple ce problème se posait lorsqu'un client demandait que les longueurs ne soit pas réduites au géoïde pour les chantiers en altitude car il voulait obtenir, sans difficulté, et directement les distances réelles. Par la suite, on était amené à recalculer le canevas dans un système officiel pour satisfaire aux obligations légales. On pouvait aussi faire un changement d'échelle pour recalculer les coordonnées. Ceci se produit encore tous les jours, même à l'étranger, et l'usage de l'ellipsoïde GRS80 va encore multiplier les cas de ce genre<sup>(1)</sup>, plus fréquents en topographie qu'on ne l'imagine dans les milieux officiels.

Sous sa forme plus raffinée, le problème s'est souvent posé dans des pays lointains à des topographes qui devaient recueillir des données sur le système géodésique local, dont, souvent, même le nom était oublié de tous, et surtout de ceux qui auraient dû le savoir, voir un exemple dans [1]. Cela s'est produit, notamment, au lendemain des indépendances, pour des sociétés étrangères travaillant dans des territoires plus ou moins récemment ne dépendants plus que d'eux-mêmes, qui ignoraient qu'il aurait été préférable de s'adresser à l'ancien colonisateur plutôt que sur place. Bref, comme dans la majorité des cas on était amené à commencer les opérations sans avoir de réponse, il fallait traiter les observations, ne serait-ce que pour se contrôler, dans un système de référence "provisoire". Le temps s'écoulant, le système de référence de provisoire pouvait devenir de plus en plus définitif. A la livraison du travail, le problème se posait alors de tout réincorporer dans un système officiel.

Souvent, un autre problème se posait, celui du choix du système provisoire à adopter. Toutes les possibilités pouvaient être envisagées, depuis le calcul en coordonnées planes

locales, ce ne permet pas d'aller très loin, jusqu'à l'usage de la projection stéréographique, ou les coordonnées géographiques, plus faciles à utiliser qu'on ne le pense, ou localement sphériques. Les topographes de terrain se plaignaient que des géodésiens ne se soient pas réellement penchés sur ce problème. Ce qui est injuste, simplement on ne leur avait pas enseigné les solutions.

Quand on utilise une projection conforme telle que la projection stéréographique, ce qui est, à notre sens, avec les coordonnées géographiques la meilleure solution, il faut, ensuite, la transformer dans la projection conforme imposée par le client.

Pour réaliser ce travail on dispose des transformations polynomiales, plutôt que de simples changements de base<sup>(2)</sup>. A l'aide de ces transformations polynomiales on peut déformer à loisir une image pour en faire tout autre chose. C'est pourquoi il faut s'imposer des contraintes, sinon on ferait n'importe quoi. La plus courante des contraintes est que la transformation soit conforme, c'est-à-dire qu'elle respecte les angles de la figure transformée. C'est cette famille de transformations qu'on va développer.

## Transformations polynomiales conformes

L'usage des nombres imaginaires est à la base de l'établissement des projections conformes, voir notamment [2].

Si on note par des majuscules les coordonnées  $X, Y$  du plan dans lequel on voudra incorporer un autre système conforme de coordonnées notées en minuscules  $x, y$ , la formule de transformation la plus générale est :  $X = f(x, y)$  ;  $Y = g(x, y)$  ou, pour une transformation conforme, à :  $Z = h(x + i.y)$ , avec  $Z = X + i.Y$ .

Une transformation polynomiale générale est de la forme :

$$X = a_0 + a_1.x + a_2.y + a_3.x.y + a_4.x^2 + a_5.y^2 + a_6.x^2.y + a_7.x.y^2 + a_8.x^3 + a_9.y^3 + \dots$$

$$Y = a_{10} + a_{11}.x + a_{12}.y + a_{13}.x.y + a_{14}.x^2 + a_{15}.y^2 + a_{16}.x^2.y + a_{17}.x.y^2 + a_{18}.x^3 + a_{19}.y^3 + \dots$$

Evidemment, on se limite le plus souvent aux termes du premier ou du second degré, ce qui impose, au minimum, trois points d'appui dans le premier cas et six points dans le second. Mais, de telles transformations peuvent imposer des déformations inadmissibles si on ne les "bride pas". Une transformation conforme donnerait :

$$Z = (a_0 + i.a_1) + (a_2 + i.a_3) \cdot (x + i.y) + (a_4 + i.a_5) \cdot (x + i.y)^2 + (a_6 + i.a_7) \cdot (x + i.y)^3 + (a_8 + i.a_9) \cdot (x + i.y)^4 + \dots$$

Ceci réduit la transformation polynomiale générale en :

$$X = a_0 + a_2 \cdot x - a_3 \cdot y + a_4 \cdot (x^2 - y^2) - 2a_5 \cdot x \cdot y + a_6 \cdot (x^3 - 3x \cdot y^2) + a_7 \cdot (y^3 - 3x^2 \cdot y) \dots$$

$$Y = a_1 + a_2 \cdot y + a_3 \cdot x + 2a_4 \cdot x \cdot y + a_5 \cdot (x^2 - y^2) - a_6 \cdot (y^3 - 3x^2 \cdot y) + a_7 \cdot (x^3 - 3x \cdot y^2) \dots$$

Au premier degré cette transformation n'impose qu'un minimum de deux points d'appui, trois points d'appui au second degré, et quatre au troisième degré. Rappelons qu'au troisième degré la transformation polynomiale générale imposait la présence de dix points d'appui au minimum, et cette surabondance de points d'appuis n'avait d'autre effet que d'introduire des déformations des angles. Cet effet pervers était obscurci par l'apparence rationnelle et élégante de la formulation, il n'existe plus dans la transformation conforme. Mais, l'échelle et l'angle de rotation varient en fonction des coordonnées.

Il y a donc un double avantage à l'utilisation des transformations conformes pour l'incorporation de réseaux indépendants dans des réseaux généraux : moins de points d'appuis requis, et pas de déformations angulaires introduites et une variation d'échelle uniforme, c'est-à-dire sans direction privilégiée (l'homologue d'un petit cercle reste un petit cercle).

## Ce que l'on fait réellement en utilisant l'une ou l'autre de ces formulations

En se cantonnant à une simple explication des relations du premier degré, on peut comparer ce que l'on fait réellement en utilisant l'une ou l'autre de ces formulations. On notera encore en majuscules (X, Y) les coordonnées des points d'appui et en minuscules (x, y) les coordonnées des points homologues du réseau à appliquer.

La formule la plus générale donne au premier degré :

$$X = a_0 + a_2 \cdot x + a_4 \cdot y \quad \text{les premiers termes}$$

$$Y = a_1 + a_3 \cdot x + a_5 \cdot y$$

$a_0$  et  $a_1$  représentent des translations de l'origine, et les termes suivants une rotation, et deux mise à l'échelle dans des sens perpendiculaires.

Si on pose "

$$\begin{vmatrix} \frac{\delta X}{\delta x} & \frac{\delta X}{\delta y} \\ \frac{\delta Y}{\delta x} & \frac{\delta Y}{\delta y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_2 & a_4 \\ a_3 & a_5 \end{vmatrix} = A$$

A est un tenseur d'ordre 2, qui se décompose en une partie symétrique et une partie antisymétrique, voir [3], on démontre que  $\frac{A + A^T}{2}$  est une matrice symétrique représentant un tenseur de déformation. En revanche  $\frac{A - A^T}{2}$

**Il y a donc un double avantage à l'utilisation des transformations conformes pour l'incorporation de réseaux indépendants dans des réseaux généraux : moins de points d'appuis requis, et pas de déformations angulaires introduites et une variation d'échelle uniforme, c'est-à-dire sans direction privilégiée (l'homologue d'un petit cercle reste un petit cercle).**

est une matrice antisymétrique indiquant une rotation d'ensemble. La matrice A est la somme de ces deux matrices, l'une de déformation l'autre de rotation, et représente la somme de ces deux types de déformations. En outre, les deux valeurs propres du tenseur de déformation  $\frac{A + A^T}{2}$  représentent les coefficients d'échelle  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  dont les directions principales sont définies par

$$\tan(\alpha) = \frac{a_3 + a_4}{a_2 - a_5} = \tan(2, \alpha) \text{ et par la direction qui lui est}$$

perpendiculaire. La matrice représente donc une rotation de changement de base :

$$X = Tx + x \cdot \cos(\theta) - y \cdot \sin(\theta),$$

$$Y = Ty + x \cdot \sin(\theta) + y \cdot \cos(\theta),$$

et deux distorsions d'échelle  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ , suivant la direction  $\alpha$ , et celle qui lui est perpendiculaire. Après une telle transformation, un cercle devient une ellipse et les angles sont altérés. Les paramètres cachés de cette transformation sont, en dehors de  $T_x$  et  $T_y$ , dont l'interprétation est évidente, la rotation  $\theta = \frac{a_4 - a_3}{2}$  si cette quantité est petite, la direction  $\alpha$ , les coefficients d'échelle  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ , soit six coefficients dont au moins quatre sont assez obscurs.

Dans la similitude, qui est conforme, on a une rotation et un coefficient d'échelle faciles à calculer,

$$\tan(\theta) = \frac{a_3}{a_2} \text{ et } \lambda^2 = a_2^2 + a_3^2$$

en y ajoutant les deux translations  $a_0$  et  $a_1$  assimilées à  $T_x$  et  $T_y$ , on retrouve les quatre coefficients à déterminer. Le fait qu'il n'y ait qu'un seul coefficient d'échelle fait que la transformation est conforme.

Pour les transformations de degré plus élevé, et notamment pour le troisième degré, il est facile de vérifier, en formant les tenseurs de déformation et de rotation, que cette transformation reste bien conforme.

## Résolution

La transformation conforme du premier degré est un des rares problèmes dont la solution des moindres carrés ne



- ■ ■ demande aucune résolution d'un système de relations linéaires. On montre, en effet, que la matrice normale étant la suivante :

$$A^T \cdot A = \begin{bmatrix} n & \sum x & -\sum y & 0 \\ \sum x & \sum d^2 & 0 & \sum y \\ -\sum y & 0 & \sum d^2 & \sum x \\ 0 & 0 & \sum y & n \end{bmatrix}, \text{ étant entendu que les } \sum \text{ sont étendues à tous les points soit } n \text{ fois, et que } \sum d^2 = \sum x^2 = \sum y^2 \text{ est le moment d'inertie polaire des points d'appui. Et qu'on a aussi:}$$

$$A^T \cdot L = \begin{bmatrix} \sum X \\ \sum x \cdot X + \sum y \cdot Y \\ \sum x \cdot Y - \sum y \cdot X \\ \sum Y \end{bmatrix}, \text{ avec } L = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

On remarque, alors, immédiatement, que si on rapporte les coordonnées aux centres de gravités des points d'appuis et de leurs homologues du réseau à appliquer, l'inverse de la matrice normale prend une forme extrêmement simple :

$$(A^T \cdot A)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{n} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sum d^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sum d^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad A^T \cdot L = \begin{bmatrix} 0 \\ \sum x \cdot X + \sum y \cdot Y \\ \sum x \cdot Y - \sum y \cdot X \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\sum x \cdot X + \sum y \cdot Y) / \sum d^2 \\ (\sum x \cdot Y - \sum y \cdot X) / \sum d^2 \end{bmatrix} \quad \text{Donc, pas de calcul ni de résolution matriciels à faire. Bien entendu il n'en va pas de même pour la transformation cubique.}$$

## Logiciels

On a établi des logiciels pour les deux transformations. Pour les réseaux peu étendus le premier degré suffit. Pour des réseaux importants ce n'est plus le cas. Mais alors un autre problème se pose.

En effet, au moment de la normalisation on doit multiplier par eux-mêmes, des termes qui représentent le cube des coordonnées, qui même réduites à leur centre de gravité, représentent des nombres grands, exemple : à partir de 100 Km soit  $10^5$  mètres, dont le cube est déjà de  $10^{15}$  à multiplier par lui-même soit  $10^{30}$ , on dépasse les possibilités d'un ordinateur de bureau qui sont de 18 ou 19 chiffres significatifs. Par ailleurs, la matrice normale serait numériquement<sup>3</sup> très mal conditionnée, on trouverait sur la diagonale principale des nombres aussi disparates que  $n$ , nombre des points d'appui, et  $10^{30}$  ! Pour résoudre ce problème on se reportera à la solution du problème du premier degré.

Si on exprime les longueurs  $x$ ,  $y$  et  $X$ ,  $Y$ , par des nombres sans dimension, en adoptant pour unité de longueur le rayon moyen de giration des points d'appui, on obtient des coor-

$$\text{données réduites } x' = \frac{x}{r_{mg}}, y' = \frac{y}{r_{mg}}, X' = \frac{X}{r_{mg}}, Y' = \frac{Y}{r_{mg}}$$

$r_{mg}$  = moment d'inertie polaire de tous les points d'appui/nombre de points d'appui. L'inverse de la matrice normale prend une forme très simple :  $N^{-1} = \frac{1}{n} \cdot I$

$I$  étant la matrice identité, les solutions seraient :

$$\begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\sum x' \cdot X' + \sum y' \cdot Y') / n \\ (\sum x' \cdot Y' - \sum y' \cdot X') / n \end{bmatrix} \quad \text{Formule encore plus simple !}$$

Ce moyen, qui est loin d'être le seul possible, rend le système plus équilibré quelles que soient les unités adoptées. Il évite ainsi de calculer des coordonnées en utilisant des différences d'expressions du type :  $0 \times \infty$

L'échelle et la rotation sont variables et fonction des coordonnées réduites, mais, au centre de gravité, elles ont la même expression que dans la transformation du premier degré. Ce qui permet de vérifier le travail. En effet, dans la pratique, une échelle trop différente de l'unité (1) et une rotation trop différente de zéro (0) sont, sauf cas très particuliers, des indices de fautes dans le réseau des points d'appui. On cherche à obtenir un système qui reflète à peu près les relations suivantes :

$$\begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\sum x' \cdot X' + \sum y' \cdot Y') / n \\ (\sum x' \cdot Y' - \sum y' \cdot X') / n \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

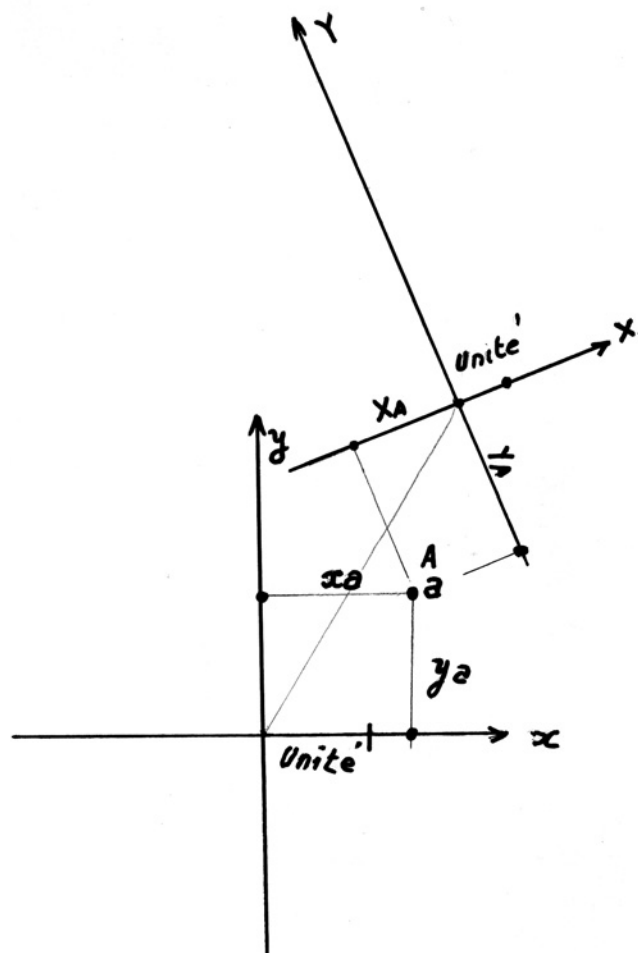
## Stabilisation en présence de points faux

En présence de points faux, il devient très intéressant de pouvoir les détecter, mais cela est très rarement facile, surtout si les points d'appui sont peu nombreux. On peut utiliser, mais avec d'innombrables précautions, l'artifice suivant :

On ajoute au système linéaire deux équations dites de stabilisation, mais on doit leur donner un poids, et donner aussi un poids relatif aux relations d'observations des coordonnées des points. On écrit les "relations d'observation" suivantes :  $a_1 = 1$ ,  $a_3 = 0$ , avec des écarts-types a priori de 0,20 pour le premier et de 0,03 (environ 2 grades pour le second, ce sont eux-mêmes des nombres sans dimension, ils n'ont pas besoin d'être réduits comme les écart-types a priori des coordonnées réduites  $x'$ ,  $y'$ ,  $X'$ ,  $Y'$ . Ces derniers écarts types sont tous des cas d'espèces, il faut savoir a priori quelles seront les erreurs moyennes quadratiques d'une compensation, en notant que si on leur donne trop de poids les équations de stabilisation ne seront d'aucune aide, dans le cas contraire elles deviendront prépondérantes. Il est probable qu'on devra faire quelques essais en donnant aux coordonnées des points des poids assez faibles, par exemple des écart-types de 10 mètres, à réduire en fonction de la valeur du rayon de giration, soit

$\sigma_0 = \frac{10}{r_{mg}}$ , attention, sur des réseaux très grands, le rayon de giration peut atteindre 100 Km, cela fait

$\sigma_0 = \frac{10}{100\,000} = \frac{1}{10\,000}$  Tout dépend de la distance des points d'appui entre eux.



**figure** Soit deux systèmes de référence conformes distincts possédant des points communs tels que A dans le système cible et a dans le système de départ. Sur les axes X ou x on a indiqué l'unité de mesure. On veut calculer, directement, les coordonnées dans le système de A d'un autre point pour lesquelles elles ne sont connues que dans le système de a

## Conclusions

Les logiciels, avec des notices d'emploi en ".doc", sont mis à la disposition des lecteurs intéressés sur le site de l'auteur et sur celui de la Revue. Des raffinements, tels que la possibilité de "désactiver" des points douteux y ont été apportés. La prise en compte des équations de stabilisation<sup>4</sup> pourra être ajoutée si l'intérêt s'en manifeste.

On a fait des emprunts dans tout le fond commun, et notamment à une brochure interne à l'IGN due au professeur regretté qu'a été pour nous J-J. Levallois, laquelle a été perdue ainsi que sa référence exacte. C'est donc uniquement de mémoire que des emprunts ont été faits. ●

CLAUDE MILLION

(1) Récemment l'Australie.

(2) Transformation qu'on attribue à Helmert

(3) Souligné pour les puristes, exclusivement.

(4) Appelées aussi équations d'information

## Contacts

perso.wanadoo.fr/claude.million/

## Annexe

$$\operatorname{tg}(\theta) = \frac{a_3 + 2.a_4.y + 2.a_5.x + 6.a_6.x.y + 3.a_7.(x^2 - y^2)}{a_2 + 2.a_4.x - 2.a_5.y + 3.a_6.(x^2 - y^2) - 6.a_7.x.y}$$

$$\text{et } \lambda^2 = (a_3 + 2.a_4.y + 2.a_5.x + 6.a_6.x.y + 3.a_7.(x^2 - y^2))^2 + (a_2 + 2.a_4.x - 2.a_5.y + 3.a_6.(x^2 - y^2) - 6.a_7.x.y)^2$$

## Références

- [1] 1991 - Isabelle Veillet - *Triangulation Spatiale d'images SPOT*. Thèse de Doctorat de l'Observatoire de Paris- ENSG, IGN.
- [2] 1970 - J-J Levallois - *Géodésie générale*. IGN
- [3] 1969 - L. E Malvern - *Introduction to the Mechanics of a Medium*, Prentice-Hall, Englewood-Cliff N.J.
- [4] 1990 - D. Maillard - *Procédés de mise en évidence des déplacements de terrain*, I G N.
- [5] 1990 - K.L Feigl, R.W. King, T.H. Jordan - *Geodetic Measurements of Tectonic Deformation in Santa Maria Fold and Thrust Belt, California*, Journal of Geophysical Research. 95 2679-2699.
- [6] 1997 - G. Ferhat - *Etude des déformations actuelles dans les Alpes du Sud à partir de la comparaison de réseaux de triangulation classiques et satellitaires GPS* - Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse III.

Les colonnes de cette revue sont à la disposition de tous, adhérent ou non, pour toutes publications d'articles, de communications, d'annonces, d'informations en rapport avec la profession et après accord du comité de rédaction. N'hésitez pas, ces pages sont à la topographie.

### REPERTOIRE DES ANNONCEURS - N° 90

AERIAL	4	ECOLE CHEZ SOI	80	SOFT COSTRUCT	78
AERIAL	80	GÉO MEDIA	3° couv.	TOPO CENTER	4° de couv.
AEROSCAN	14	GEOEVENEMENT	11	TRIMBLE/SPECTRA	1
BIRP-MICAD	38	LEICA	2		
DIEUTEGARD	2° couv.	PENTAX	6		
ENSG	13	REIS STOLZEL	78		

# Christophe Cuzin : La

*L'église reste un des lieux majeurs de l'expression artistique. Depuis le Moyen Âge, le chant, le vitrail, la statuaire et la peinture contribuent à la beauté des lieux de culte et soulignent leurs valeurs spirituelles.*

Aujourd'hui encore, la tradition se perpétue sous l'action conjuguée des commissions diocésaines d'art sacré et des collectivités territoriales soucieuses du patrimoine public. En conséquence des créateurs sont appelés à exprimer talent et sensibilité. Confronté à l'indicible, l'artiste choisi reçoit plutôt comme une grâce une demande d'intervention dans un cadre religieux. Partant, son œuvre peut donner du caractère à une construction sans originalité et resourcer son identité.

Pour illustrer ce constat, il est proposé de s'intéresser à Saint-Martin de Lognes, une église de village sans originalité construite à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle dans un style néo-gothique. Au centre d'une bourgade de quelques centaines d'habitants en 1970, elle se retrouve trente ans plus tard à la tête d'une paroisse de quinze mille habitants du fait du développement du secteur II de Marne-la-Vallée, le Val Maubuée. A l'occasion d'une nécessaire restauration, la création de vitraux a fait l'objet d'une commande publique. Ce dispositif permet la réalisation de projets qui nécessitent des moyens inhabituels, le financement étant le fruit d'une association entre l'Etat et des partenaires publics ou privés. Le lauréat Christophe Cuzin a été désigné au terme d'une consultation sur dossier sous l'égide du ministère de la culture.

Né en 1956 à Saint-Siméon de Bréssieux dans l'Isère, sa formation



plastique s'est déroulée aux Beaux-arts de Besançon et à l'Université Paris VIII. Il vit désormais à Paris et enseigne aux Beaux-arts de Lyon et de Caen.

Le titre de son exposition au musée d'Art moderne de Saint-Etienne de 1997 "Géométrie provisoire" résume à lui seul les principales caractéristiques de son travail : aplats rectangulaires de couleurs différentes à même le mur et mise en œuvre de règles normatives (format 185 cm x 135 cm, utilisation d'une largeur de bordure égale à 13 cm, présence du gris dans

les couleurs), l'aspect provisoire de l'œuvre provenant de sa destruction à la fin de l'exposition. Tel n'est pas le cas des vitraux de l'Eglise Saint-Martin qui occupent durablement les sept fenêtres ogivales et les trois *oculi*.

On retrouve les aplats, celui du verre teinté cette fois, et les bordures dentelées, dans ce cas en aluminium peint toujours d'une largeur de 13 cm. Les vitraux sont constitués de trois verres. Celui du milieu déjà coloré a été collé sur un film intercalaire transparent et a été brisé de façon à dessiner une



# géométrie éclairée



mosaïque irrégulière qui joue avec la lumière, à l'image d'un pare-brise endommagé. La géométrie des ferrures dessine des dents ou des arceaux dont le nombre et la position diffèrent selon les fenêtres. Le dessin se révèle symbolique et tout chargé de signification.

Ainsi, au levant, l'église étant curieusement orientée plein nord, on peut voir dans les ouvertures, schématisés à l'extrême, successivement le manteau de Saint-Martin, les douze apôtres et les quatre évangélistes. Au couchant, la composition faisant a contrario référence à l'Ancien testament on percevra notamment les quatre fleuves d'Eden et les douze tribus d'Israël.

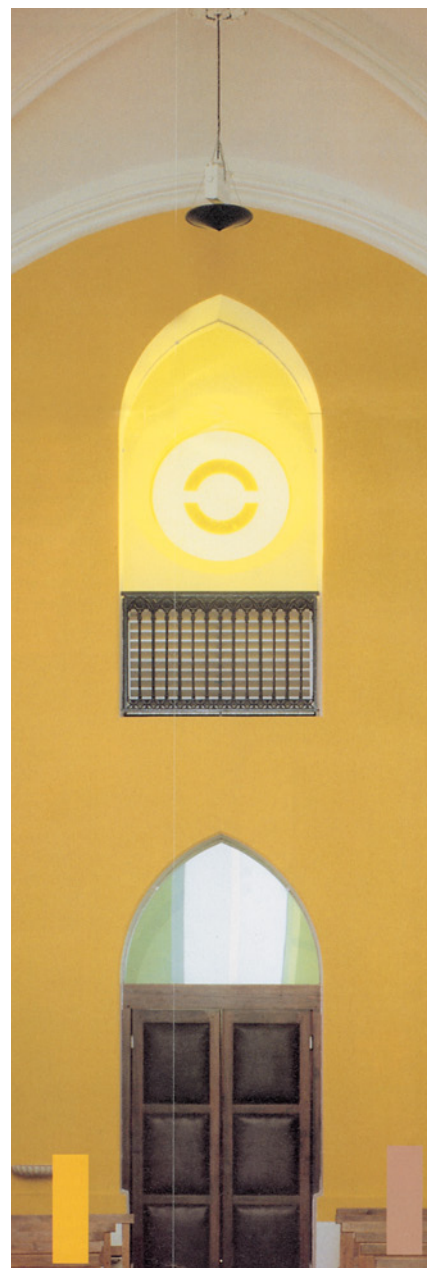
Ce faisant, ces vitraux, même traités par l'abstraction géométrique conservent leur vocation de parcours initiatique. Pour compléter son œuvre, Christophe Cuzin a également peint les murs intérieurs de l'église dans une recherche de polychromie signi-

fiante, chaque travée étant d'une couleur distincte, de l'ocre au vert d'eau, du rouge bordeaux au bleu-gris. Cette diversité représente, pour l'artiste, un appel à la tolérance dans une ville où de nombreuses communautés cohabitent. La coloration, soigneusement étudiée est graduelle, sombre à l'entrée devenant claire dans le chœur pour souligner le passage des ténèbres à la lumière, autrement dit le chemin du parvis à l'autel. Isabelle Renaud-Chamska remarque aussi que l'unification des couleurs provient d'un gris invisible "qui rabat les teintes et pacifie les esprits". Au fil des heures la lumière des vitraux se déplace sur les murs soulignant la gaieté de la palette et tout particulièrement les couleurs primaires des *oculi*.

Les spécialistes n'imaginent pas de vitrail sans plomb. Pour sa part, Christophe Cuzin l'emploie dans une allège qui, à mi-hauteur d'homme, court le long des murs. Le métal lourd est ici utilisé pour écrire le nom des personnages de la tradition judéo-chrétienne. On peut déjà y lire Abraham, Agar, Sara (Sarah) en attendant la litanie promise. Finalement la géométrie s'efface devant les verres qui diffusent leurs couleurs jusqu'à, comme le pense Alfred Manessier "chanter pleinement un hymne à la lumière".

Que voilà la géométrie placée sous un divin éclairage. ●

JEAN-PIERRE MAILLARD



Photos : Jacques Hoepffner avec l'aimable autorisation de l'association des Amis de l'église Saint-Martin de Lognes

**Les vitraux sont constitués de trois verres. Celui du milieu déjà coloré a été collé sur un film intercalaire transparent et a été brisé de façon à dessiner une mosaïque irrégulière, à l'image d'un pare-brise endommagé, qui joue avec la lumière. La géométrie des ferrures dessine des dents ou des arceaux dont le nombre ou la position diffère selon les fenêtres. Le dessin se révèle symbolique et chargé de signification.**



**Confection de bornes par les ouvriers**



**Le véhicule de chantier devant la porte du cabinet, opération de lever avec AGA 12.**

#### **Chers Amis de GSF,**

Je profite des vœux de fin d'année pour vous expédier quelques photographies de nos installations et pour porter à votre connaissance les activités que nous pratiquons.

Notre cabinet de géomètre s'appelle TOPO 2000 et est installé à proximité du centre de Ouagadougou.

Tout d'abord il faut savoir que le projet de création d'un Ordre des Géomètre-Experts du Burkina Faso arrive dans une phase de concrétisation puisque nous avons remis au Parlement les amendements au projet étudiés par les professionnels et nous pensons qu'il sera proposé à la prochaine session de l'Assemblée Nationale; il vise essentiellement à organiser la profession en garantissant le niveau de formation et l'intégrité des postulants.

Mon stage à TOURS au sein du Cabinet VOLTE, pour découvrir l'organisation pratique de notre profession, et le matériel fourni par Géomètres Sans Frontières, me donnent toute satisfaction et me permettent de répondre aux divers travaux qui nous sont proposés.

Ainsi en ce moment nous terminons l'implantation d'un lotissement de 2000 lots et nous pratiquons les travaux habituels

du géomètre foncier en matière de bornage et certification.

Ce gros lotissement est à l'échelle des besoins de mon pays et je suis heureux de participer à ma façon au développement de celui-ci.

**ABDOU TIENDÉBÉOGO**

**Note du bureau de GSF :** le matériel remis à Monsieur Abdou TIENDEBEOGO se compose de deux micro-ordinateurs, d'un théodolite avec son distancemètre et accessoires.

Il n'est pas d'usage que GSF fournisse en matériel des professionnels qui pourraient utiliser ces appareils remis à des fins commerciales, cependant la grande rigueur de Monsieur Tiendébéogo a conquis le bureau qui a ainsi dérogé à cette règle "non écrite" à la condition que lorsque des associations locales oeuvrant dans l'humanitaire le lui demanderait, Monsieur Tiendébéogo facturerait ses prestations au prix de revient.



#### **Adhésions 2002**

Enfin n'oubliez pas de renouveler votre adhésion pour l'année en cours, seules vos cotisations permettent la réalisation des missions, l'intégralité du temps passé par les membres du bureau étant évidemment bénévole et gracieux... Merci d'avance au nom de ceux que vous nous permettrez d'aider.

##### **Rappel :**

**Membre adhérent :** 46 €

**Etudiant :** 15 €

**Bienfaiteur :** 76 €

GSF - 15 rue Joyeuse - 18000 BOURGES



# Topographie en Syrie

*La topographie a plusieurs visages dont certains, moins connus, présentent néanmoins un beaucoup d'intérêt. La topographie en milieu archéologique en est un exemple concret. Loin des routes à forme cycloïdale et des levés urbains, elle requiert à la fois une capacité d'adaptation et un sens de l'improvisation, indispensables dans des situations souvent insolites. Nous voulons dans cet article faire partager notre expérience dans le but de montrer que cette discipline aussi particulière soit-elle, s'inscrit pleinement dans le style des campagnes topographiques classiques. Quand deux topographes quittent les sentiers battus...*

**N**ous sommes deux étudiants en topographie de l'École Spéciale des Travaux Publics (ESTP Paris). Nous avons effectué notre stage de deuxième année en Syrie en juin et juillet 2001 dans le cadre de missions archéologiques. Encadrés par des architectes et des archéologues, nous étions responsables de la partie topographique inhérente aux fouilles. Notre travail

consistait à réaliser toutes sortes de plans, planimétriques, coupes ou élévation de façades, en fonction des besoins des spécialistes et ce dans la continuité des travaux effectués par les équipes précédentes. Nous avons opéré sur quatre sites différents, un dans la ville de Bosra située à 150 km au sud de Damas et trois autres situés dans le désert du Lédja à 50 km au sud de la capitale. Le matériel, fourni par l'Institut Français d'Archéologie du Proche Orient, se composait d'une station totale Leica ACR 307 muni de son prisme et de batteries externes pour une plus grande autonomie, d'un ordinateur portable type PC équipé d'AUTOCAD 2000, d'une imprimante et enfin de tout le petit matériel usuel. La station totale, très pratique d'utilisation, était munie d'un plomb laser et d'une visée laser à 40 m pour les levés de façade et les coupes.

À notre arrivée, épuisés par les cinq heures de vol et étourdis par la chaleur, nous avons dû commencer par formater le PC qui avait été infecté par un virus quelque semaines auparavant. Début des ennuis... Il faut réinstaller tous les logiciels et pilotes et surtout il faut remonter toute la chaîne opératoire.

D'abord, le logiciel LEICA était incompatible avec Windows 2000. Nous avons donc dû télécharger la dernière version sur le net, chose pas très aisée dans un pays un peu hostile aux avancées technologiques. Ensuite, le CD-Rom d'installation d'AUTOCAD était introuvable. Par chance, la loi sur le Copyright n'existe pas en Syrie et nous avons pu trouver un CD gravé pour cinq francs français. Enfin, nous avons réinstallé un programme AUTOLISP qui nous permettait de transformer les listings de points en fichiers DXF. Après donc deux jours d'informatique, nous avons pu entamer notre travail sur le terrain.

## Destination : Bosra

Bosra est une ville née à l'époque du bronze, ayant surtout subi l'influence de l'empire romain comme en témoignent le théâtre, le forum et les nombreux thermes. À la demande d'un architecte, nous devions lever un rempart construit il y a plus de 4000 ans. Celui-ci englobait une surface de 21 hectares et traversait la ville nouvelle. Après avoir analysé l'histoire des stations existantes, nous avons décidé de partir depuis le sommet



■ ■ ■ du théâtre en nous orientant grâce à trois points visibles disséminés régulièrement sur le tour d'horizon à une distance convenable. Puis nous avons descendu une station dans la direction du rempart et nous avons cheminé tout le long de la zone à lever. Là commence la grosse difficulté. En effet, le déchiffrement des pierres posait de nombreux problèmes car d'une part, le rempart n'était pas toujours visible et d'autre part, des constructions postérieures sont venues s'appuyer sur lui. Les croquis devaient rendre compte précisément de l'état du rempart et les pierres étaient dessinées une par une. Ce travail à Bosra a été bouclé en trois jours. Nous travaillons de 05h30 à 13h00 puis de 17h00 à 20h00, pour éviter les fortes chaleurs de la journée. Une entrée en matière musclée avant de partir pour les missions dans le désert...

## Shaara, Ancien village romain

De retour à Damas, nous sommes repartis aussitôt pour Shaara, petit village situé en bordure du désert rocheux du Lédj, formé par d'anciennes coulées de lave basaltiques dont l'origine demeure encore énigmatique. Ancien village romain, il comprend encore de nombreuses structures en bon état de conservation, comme les thermes et le temple. Notre travail ici consistait essentiellement à réaliser des plans de façade, des coupes de bâtiments et des plans de dallages. Là encore, nous devions réaliser des croquis pierre par pierre, élément par élément. Nous nous sommes rattachés à la plynale existante et nous avons créé des antennes dans les bâtiments. La fonction "visée laser" de l'appareil nous a été d'un grand secours pour la grosse majorité des opérations. Les mises en station relevaient de l'exploit car le terrain était très accidenté. Mais la plus grosse difficulté lors de



cette mission a été de réaliser plusieurs coupes d'une grotte qui devait constituer l'antichambre du temple. Les nombreux éboulements survenus ces derniers siècles ont rendu l'accès difficile. L'entrée était donc un trou d'environ 50 cm de diamètre par lequel il a d'abord fallu pénétrer en rampant avec le matériel, puis implanter une station. L'obscurité rendait les opérations difficiles sans compter que les éboulis qui recouvraient le sol transformait la mise en station en véritable numéro d'équilibriste. De retour à la maison de fouille, les plans étaient imprimés et fournis à l'architecte qui s'en servait comme base pour ses dessins.

Après une dizaine de jours à Shaara, nous avons entamé simultanément le travail sur deux missions, dont l'une en plein milieu du désert nécessitait 30 mn de marche avec le matériel pour accéder au site. Ce site de Sahr était un ancien village romain comprenant les structures habituelles, temple, théâtre, mais n'a jamais été habité depuis par des sédentaires. L'isolement était total. La particularité de ce site résidait dans deux citernes creusées dans le sol rocaillieux, destinées à approvisionner les habitants



de l'époque en eau. Nous avons réalisé des coupes dans l'une d'entre elles. Il a donc fallu descendre au milieu des reptiles de toute sorte, peu habitués à une pareille présence. A la difficulté du travail et à la chaleur étouffante se mêlait l'appréhension d'une morsure mortelle. Une fois cette opération terminée, nous avons commencé à travailler sur les différents bâtiments. Le soir, nous faisions le report dans le petit bureau improvisé de la maison de fouille.

## Le dernier site : Chraya

Enfin, le dernier site, à Chraya, également en bordure du Lédj, ne nous a pas

**La fonction "visée laser" de l'appareil nous a été d'un grand secours pour la grosse majorité des opérations. Les mises en station relevaient de l'exploit car le terrain était très accidenté. Mais la plus grosse difficulté lors de cette mission a été de réaliser plusieurs coupes d'une grotte qui devait constituer l'antichambre du temple. Les nombreux éboulements survenus ces derniers siècles ont rendu l'accès difficile. L'entrée était donc un trou d'environ 50 cm de diamètre par lequel il a d'abord fallu pénétrer en rampant avec le matériel, puis implanter une station.**



posé de problèmes particuliers hormis le vent violent qui balayait la plaine. Nous devions réaliser le lever d'un tell de l'âge du bronze, sorte de petite ville fortifiée située légèrement en hauteur. Vierge de toutes mesures, ce site fait l'objet d'un vaste programme de fouilles et notre travail était de fournir une première interprétation topographique. Faute de temps, nous avons seulement pu lever le rempart. Celui-ci se composait de plusieurs murets et comportait plusieurs éléments caractéristiques comme des portes, des tours et des rampes d'accès. Nous avons donc créé une polygone encadrant toute la zone. Les stations étaient marquées par une croix gravée au piolet dans des blocs de basalte bien ancrés au sol. Le vent violent gênait considérablement le porteur du prisme qui devait tenir en équilibre au sommet des murets sur des pierres peu stables. Ce travail nous a pris trois journées entières. Là encore, les pierriers infestés de serpents rendaient dangereuse l'occupation du terrain.

Chaque mission avait donc ses aléas avec lesquels il fallait composer et improviser. Dans tous les cas la difficulté résidait dans le choix des méthodes et dans leur application. Les mises en station étaient souvent délicates. Dans ce genre de travail, la recherche de précision n'est pas un facteur déterminant. Les pierres ne ressemblent en rien aux traditionnels trottoirs et aucun bâtiment n'a la forme parfaite d'un immeuble en

béton. C'est dans ce sens que la topographie en milieu archéologique est vraiment particulière. On pourrait se dire que la chaleur et la forte courbure de la terre à cette latitude peut poser problème mais la faible longueur de nos portées ne nous a pas amené à effectuer des modifications dans le paramétrage de l'appareil. Nous avons donc laissé dans un coin de notre tête les belles formules de calcul de tolérance, pour nous adapter à chaque situation. En revanche, les croquis devaient être clairs et complets pour permettre à l'archéologue de se retrouver au milieu des pierres. Il a fallu aussi composer avec la chaleur étouffante, le vent parfois violent, le relief accidenté dans les zones désertiques et la faune dangereuse dans ce genre de région.

Le dernier problème qui se posait était la communication entre nous lors de mesures de plus longue portée. L'utilisation de talkie-walkies et de téléphones portables étant interdite, nous avons dû trouver un système de substitution. Le porteur du prisme écrivait sur un cahier des instructions et l'opérateur lui répondait par des signes convenus à l'avance. Un système bien pratique qui en valait un autre...

## Une expérience humaine

Mais ce que l'on retient en priorité de cette expérience est l'aspect humain. Nous avons, tout au long de notre séjour et dans tous les endroits, pu bénéficier de l'hospitalité et de la gentillesse de la population. Un rapport, parfois passionnel, qui nous a posé occasionnellement quelques problèmes. Nous logions dans le village de Sahara directement au contact des habitants. De plus, chaque mission employait des ouvriers bédouins pour les travaux de fouille. Ceci nous a permis d'assimiler quelques notions d'arabe afin de pouvoir communiquer plus facilement, et surtout pour honorer les nombreuses invitations pour le traditionnel thé. Nos amis étaient nombreux, même s'il est difficile maintenant de communiquer à distance. La nourriture, les paysages, tout était appréciable et nous permettait d'oublier le travail pour des instants intenses. Nous avons aussi profité de trois jours de congés pour visi-

ter le fameux site de Petra en Jordanie. Le jour de repos hebdomadaire était lui consacré à l'exploration de Damas.

Cette expérience a donc été enrichissante tant sur le plan humain que professionnel. Comme quoi la topographie permet de s'évader ; ce qui étonnera peut-être celui qui voit dans le topographe un individu avec un gilet jaune sur le bord de la route ! Nous espérons que cette collaboration entre archéologues et étudiants de l'ESTP se poursuivra longtemps car nous avons eu cette chance de partir. On ne peut que déplorer le manque de débouchés dans cette branche pour des professionnels et peut-être aussi le manque de suivi dans les travaux qui restent en suspens une fois les missions d'été terminées. Mais si c'était à refaire, nous repartirions sur le champ ! ●

**SÉBASTIEN LENNE**

**MATHILDE DE LA LOSA**

Etudiant en 3<sup>e</sup> année à l'ESTP.

## ABSTRACT

*Within the framework of our background in topography at ESTP (civil engineering school), we have done a period of work experience in Syria, Middle East. The work experience is a compulsory part of our study schedule. We have worked on four archaeological missions in collaboration with some different specialists. The purpose was to provide them a set of detailed plans in order to satisfy their needs. The French institute of archaeology located in Damascus served as a logistical base for all the missions. It has lent us the equipment, which was made up of a theodolite, a laptop computer equipped with a computer-aided design program and a printer. This experience abroad allowed us to discover another aspect of topography. We would like, through this present article, to share all what we found out from a new working context and, above all, to show that this activity is really in line with the traditional topography.*