

# xvz

Éditée par  
l'Association  
Française de  
Topographie  
**n°94**

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

## L'imagerie Géographique 3D par laser héliporté

**13-17 Avril 2003 - PARIS - ENSG**  
**FIG semaine professionnelle**



## Directeur de la publication

André Bailly  
Ingénieur Géomètre ETP

## Directeur adjoint de la publication

Emmanuel Natchitz  
Enseignant Chercheur ESTP

## Rédaction et administration XYZ

2 avenue Pasteur  
94165 Saint Mandé cedex  
Tél. : 01 43 98 84 80  
Fax : 01 43 74 72 80  
secrétariat : tous les jours  
de 9 h à 17 h

## Rédacteur en chef

Emmanuel Natchitz

## Comité de Rédaction

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 Bourgoin  
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

Robert Chevalier

## Conception et maquette

Dorothée Picard

## Abonnements

Evelyne 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

1<sup>er</sup> trimestre 2003 ISSN 0290-9057  
N° CPPAP : 0903 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. 74

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 : [info@aftopo.org](mailto:info@aftopo.org) • Site internet : <http://www.aftopo.org>

## ■ Editorial ..... 5

## ■ Info-Topo

> Les informations de la profession ..... 7

## ■ Manifestations

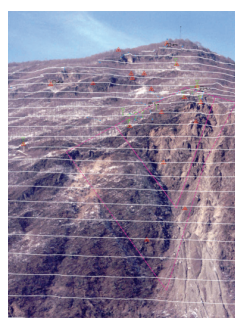
> Symposium Anniversaire "Toujours au  
Premier Plan" & Grande Exposition  
d'Équipements et de Services ..... 24

> 1<sup>re</sup> Assemblée Générale du réseau  
thématique EEGECS Gilbert FERHAT ..... 25

> CercleGéo l'événement incontournable  
Guillaume HANGARD - Mathieu RONDEAU ..... 26

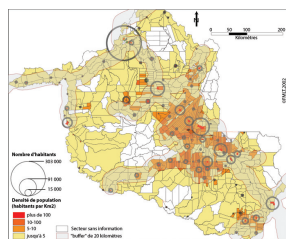
> Forum de Photogrammétrie 2003 ..... 27

## ■ Topographie



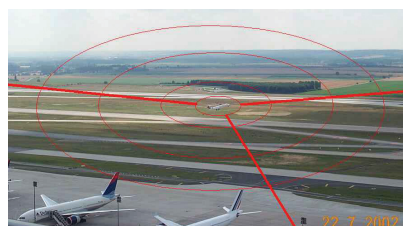
> Apport des méthodes  
topographiques et  
topométriques au  
suivi du versant  
rocheux instable des  
ruines de Séchilienne  
Jean Paul DURANTON,  
Laurent EFFENDIANTZ  
Michel MEMIER,  
Ilario PREVITALI  
..... 31

## ■ SIG



> Le Brésil, Eldorado de l'information  
géographique ? Hervé THÉRY  
et François-Michel LE TOURNEAU ..... 39

## ■ GPS

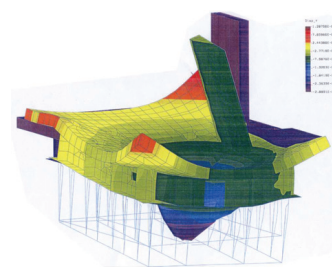


> Aéroport de Roissy Charles de Gaulle surveillance  
du trafic au sol par multilatération modes  
Bertrand BOULLARD ..... 45

## ■ LIDAR

> L'imagerie Géographique 3D par laser  
hélicoptère, le système FLI-MAP®  
Application à un levé topographique de  
voies ferrées pour RFF-SNCF.  
Richard DAMIANO- Thierry BORDAS  
Sylvain LACOMBE ..... 49

## ■ Génie civil



> Surveillance et diagnostic de comportement  
d'ouvrage par nivellement hydrostatique  
de précision  
Patrick LETEURTRE ..... 55  
> Barrages, risques et dommages, évaluation  
de la sécurité des barrages  
Adriana MIRI - Emmanuel NATCHITZ .... 59

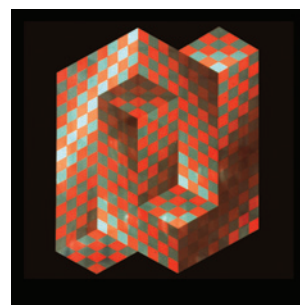
## ■ Topo vécue

> Mission archéologique à Petra  
Christian MEYER ..... 65

## ■ GSF

> Rêve-partie à GSF...  
François BODIN ..... 63

## ■ Art et Géométrie



> Vasarely rime avec Villeparisis  
Jean-Pierre MAILLARD ..... 70

## ■ Livres ..... 73

Pour la recherche de nos annonceurs  
consulter la page 72.

## L'année 2003 est une année importante de la topographie en France.

*Dans quelques jours la semaine professionnelle de la FIG réunira dans les locaux de l'ENSG à Marne La Vallée l'ensemble de nos collègues internationaux venant participer à cet événement majeur.*

*Ce rassemblement est une chance pour les professionnels français. Depuis plus de 20 ans, il fallait parcourir le monde pour assister aux discussions, ou aux présentations des nouveautés. Aujourd'hui, cette semaine professionnelle se fait à nos portes, dans un des pays fondateur de cette institution. Il y a 125 ans, le "vieux continent" fédérait tous les professionnels de la topographie pour développer les échanges et les contacts à la fois humains et techniques. Cet anniversaire sera célébré comme il se doit lors de la soirée de gala qui se tiendra au Château de Versailles.*

*Durant toute la semaine, nous assisterons aux présentations des nouvelles techniques et tendances qui font l'avenir de nos métiers. Nous participerons ainsi aux discussions, aux conférences et à l'exposition de matériels. Venez nombreux.*

*Bien que la semaine professionnelle de la FIG constitue à elle seule un événement majeur, L'AFT ne s'est pas arrêtée là.*

*Au cours de son assemblée générale qui se tiendra le mercredi 16 avril 2003 à l'ENSG, le livre "Sciences géographiques, connaissance du monde et conception de l'univers dans l'antiquité" de Monsieur Raymond D'Hollander sera présenté. Cet ouvrage reprend l'ensemble des fascicules que nos premiers lecteurs avaient pu découvrir dans les pages d'XYZ. L'auteur s'est attaché à reprendre son travail pour le compléter, le détailler et l'approfondir. Ce livre complète la collection "Histoire des sciences géographiques" commencée par l'AFT avec l'ouvrage de Monsieur Jean-Jacques Levallois, "300 ANS de géodésie française".*

*Une cérémonie de présentation, en présence de l'auteur, clôturera notre assemblée générale annuelle. Le relais des générations se fera par la remise des prix récompensant les lauréats du "1<sup>er</sup> prix de l'AFT des jeunes ingénieurs diplômés en topographie".*

*Nous vous invitons à vous inscrire dès à présent pour pouvoir assister à l'ensemble des manifestations qui sont proposées.*

Emmanuel NATCHITZ  
Rédacteur en Chef

## Symposium Anniversaire "Toujours au Premier Plan" & Grande Exposition d'Équipements et de Services

### Thèmes des sessions plénières :

- Création de la FIG ; Prospectives stratégiques ; Rôle futur de la FIG
- Faits historiques de la géodésie et de la topographie
- Cadastre : passé, présent et futur
- Information géographique : systèmes publics et privés
- Technologies et techniques du futur

### Thèmes des sessions techniques :

- Optimisation des constructions
- Enseignement professionnel et formation permanente
- Gestion de sites et de services
- Gestion et traitement de l'information géographique
- Information et gestion du territoire
- Positionnement
- Coopération entre groupes professionnels et citoyens
- Échange et partage des connaissances
- Rationalisation selon besoins de la clientèle
- Partenariats et coopération public-privé
- Systèmes de référence
- Normes et standards
- Urbanisation et occupation informelle des sols
- Nouveaux concepts fonciers
- Mobilité sociale et problèmes résultants
- Éradication de la pauvreté et politique foncière
- Topométrie de la construction et métrologie industrielle
- Évaluations informatisées et maîtrise de coûts

**PARTICIPEZ, VENEZ NOMBREUX**



Le mardi 15 avril : cocktail au grand salon, visite privée des appartements royaux et dîner dans la salle des batailles. Ne manquez pas cette circonstance exceptionnelle.

**Participation sur un ou deux jours possible  
(conférences et tours techniques)  
Accès à l'exposition libre et gratuit en permanence**

### Inscriptions :

Pascal Abadie / Antoine Lefebvre  
Regards International, 8, rue Fallempin, 75015 PARIS  
Tél : +33 1 45 78 36 09/02 - Fax : +33 1 45 78 15 13  
Site web : <http://www.figww2003.com>  
Mél : [figww2003@regards-international.com](mailto:figww2003@regards-international.com)

### FIG WW 2003 - CALENDRIER DE LA RENCONTRE

JOUR	MATIN		APRÈS-MIDI		SOIR
	09h00-10h30	11h-12h30	14h00-15h30	16h00-17h30	
samedi 12/4			Inscriptions	Inscriptions	
dimanche 13/4	GA 1.1	GA 1.2	Cérémonie d'ouverture	Session d'Anniversaire	Réception de Bienvenue
lundi 14/4	JS 1.1 TS 01 Exposition et excursions techniques	JS 1.2 TS 02 et WM	TS 03 TS 04 Exposition et excursions techniques	TS 05 et WM TS 06 et WM	Soirées d'accueil individuel
mardi 15/4	JS 2.1 TS 07 Exposition et excursions techniques	JS 2.2 TS 08 et WM	TS 09 TS 10 Exposition et excursions techniques	TS 11 et WM TS 12 et WM	Banquet à Versailles
mercredi 16/4	JS 3.1 TS 13	JS 3.2 TS 14	TS 15 TS 16	TS 17 et WM TS 18 et WM	Assemblée Générale de l'AFT
jeudi 17/4	GA 2.1	GA 2.2			

GA = Assemblée Générale ; JS = Session jointe ; TS = Session Technique ; WM = Réunion de travail



# 1<sup>re</sup> Assemblée Générale du réseau thématique EEGECS (European Education in Geodetic Engineering, Cartography and Surveying) réseau thématique dédié à la formation en topographie en Europe

■ Gilbert FERHAT, représentant de l'AFT pour l'EEGECS

Valence, Espagne, 11 - 15 déc. 2002

*Du 11 au 15 décembre 2002, s'est tenue à Valencia (Espagne) la 1<sup>re</sup> Assemblée Générale du réseau thématique sur la formation en topographie, au sens large du terme, c'est-à-dire incluant la géodésie, la cartographie, la géomatique.*

Il s'agit d'un projet ambitieux financé sur 3 ans par la Commission Européenne et entièrement monté par Gabriela Vila Anton du Service des Relations Internationales de l'Université Polytechnique de Valencia, Espagne. Profitant de ses nombreux contacts avec les pays européens au travers notamment des programmes européens Socrates-Erasmus (échange d'étudiants et visites de professeurs étrangers), Gabriela a pu au terme d'une année bien chargée (la rédaction d'un projet avec financement de l'Union Européenne n'est pas une chose aisée), regrouper environ 130 personnes originaires de 25 pays européens pour mener une réflexion à l'échelle de l'Europe sur la formation en topographie.

Environ soixante personnes étaient présentes à Valencia et venaient :

- soit des pays membres de l'UE : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Italie, la Norvège, le Portugal, la Suède, le Pays-Bas et le Royaume-Uni. Le Luxembourg n'était pas représenté.
  - soit de certains pays futurs membres de l'UE : l'Estonie, la Hongrie, la Lettonie, la Lituanie, la Moldavie, la Pologne, la Roumanie, la République Tchèque, la Slovaquie.
- En ce qui concerne la France, divers organismes publics ou privés se sont inscrits mais seulement deux représentants étaient présents durant ces 5 jours en Espagne : Emmanuel Natchitz de l'ESTP et moi-même.

## Etablissement un réseau thématique

La raison principale pour la création d'un réseau thématique EEGECS est la volonté des institutions de formations supé-



rieures (Universités, Ecoles d'ingénieurs, ...) d'aller dans le sens des recommandations de Bologne de juin 1999 et de la déclaration de Prague de mai 2001 des Ministres de l'Education de l'UE, Union Européenne. Dans le suivi du processus de Bologne, une architecture commune de référence pour les formations et les diplômes a été mise en œuvre. C'est ce qu'on appelle "l'harmonisation européenne". Il s'agit dans le respect de l'identité de chacun d'améliorer la lisibilité des diplômes, de faciliter la mobilité et de favoriser l'insertion dans l'emploi, sans pour autant uniformiser les contenus ni les durées des dispositifs de formation.

Pour atteindre ces différents objectifs (mobilité, compétitivité et employabilité), il faut avant tout réaliser une analyse comparative des contenus en formation, des structures de formation et des emplois exercés par ces diplômés en topographie/géomatique. Ainsi plusieurs groupes de travail ont été créés : le Groupe de travail N° 1 a pour thème le domaine de la formation universitaire (responsable : J.R ; Nuñez, Univ. Hongrie), le groupe de travail N° 2 : la recherche et les formations doctorales en topographie/géomatique (resp. : F. Sanso, Univ. de Milan, Italie), le groupe de travail N° 3 : la formation continue (resp. : P. Patias, Univ. de Thessalonique, Grèce), le groupe de travail N° 4 : le secteur des entreprises privées et le secteur public (resp. : Erwin Heine, Univ. de Vienne, Autriche), le groupe de travail N° 5 : Mobilité, langues, culture (resp. : G. Krjewski, City Hall de Gdansk, Pologne) et le groupe de travail N° 6 : Assurance qualité (resp. : M. Doufexopoulou, Univ. d'Athènes, Grèce)

## ■ Quelques thèmes abordés par ce projet

Le premier groupe de travail a pour charge de réaliser une étude comparative des programmes d'études en topographie/géomatique proposés dans l'enseignement supérieur en Europe, de promouvoir l'utilisation d'un système de crédits permettant de transférer et d'accumuler des morceaux de formation. Ces crédits portent le doux nom d'ECTS pour European Credits and Transfert System que l'on a traduit en français par "unité de valeur".

Le groupe de travail N° 2 a dressé un premier tableau des formations doctorales en Europe. Ensuite, ce groupe a rédigé une ébauche de questionnaire d'une vingtaine de points destiné à préciser dans le domaine de la géomatique : les Ecoles Doctorales existantes, les sujets de thèses, l'organisation des programmes des Ecoles Doctorales et les éventuelles coopérations avec l'industrie. Ce questionnaire sera envoyé aux Universités européennes.

Le groupe de travail N° 3 s'attachera à décrire la formation continue, l'e-learning et à promouvoir la dimension européenne des études en créant par exemple des mastères impliquant plusieurs pays européens.

Le groupe de travail N° 4 a proposé un questionnaire qui devrait permettre une analyse de besoins des secteurs privé et public

en terme de diplômés du supérieur, une analyse des débouchés des diplômés de l'enseignement supérieur, la création d'un réseau d'entreprises susceptibles d'accueillir des étudiants en stage, une meilleure coopération et un plus grand dialogue entre les Universités proposant une formation en géodésie, géomatique et le secteur public. Pour le groupe N° 5, l'idée est d'augmenter la mobilité des étudiants, des enseignants et des chercheurs en Europe. Finalement, le groupe N° 6 s'attachera à améliorer la qualité de l'enseignement (notamment en proposant des méthodes d'enseignements et des supports de cours) et à coopérer avec les organisations et groupes traitant de démarche assurance-qualité dans le domaine de la topographie.

La description des thèmes abordés est volontairement sommaire et pourra évidemment évoluer au cours des 3 années de vie de ce réseau thématique. Toute personne désireuse d'intégrer un des groupes de travail peut contacter :

Inma Tomás Estellés.  
Technical Assistance EEGECS International Relations  
Departement ETSIGCT  
Tel. 34 96 387 71 60 - poste 71641  
Camino de Vera S/n  
Valencia 46022 Espagne  
Tel. +34 96 387 71 60 Fax. +34 96 387 71 69  
<eegecs@upvnet.upv.es>

## CercleGéo l'événement incontournable

■ Guillaume HANGARD - Mathieu RONDEAU - Elèves en 2<sup>e</sup> année de l'E.S.G.T.

*Le 23 mai 2003 aura lieu à l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, au Mans, une journée de rencontre incontournable entre élèves et professionnels baptisée "CercleGeo".*

Cette journée ponctuée de moments de formation, de rencontre et de détente présente, tant pour les professionnels que pour les étudiants, nombre d'intérêts.

Le CercleGeo c'est :

- une grande journée de rencontre qui réunie l'ensemble des acteurs du monde de la topographie dans une atmosphère décontractée. C'est ainsi l'occasion de créer des liens privilégiés avec les étudiants pouvant conduire les uns à trouver un stage, les autres à proposer des offres d'emploi et de reprises de cabinets.
- une journée de formation animée par des professionnels avertis sur des sujets d'actualité. Cette année les conférences seront axées autour de deux thèmes : le fichier AURIGE et le Réseau Géodésique Permanent.
- l'occasion pour nous de présenter le bilan de la vie associative : Course Croisière EDHEC, tournois de rugby des Grandes Ecoles, clubs musique et théâtre...
- un moyen de dynamiser l'image de la profession et de faire la promotion de notre formation à l'E.S.G.T.

- la possibilité de découvrir les dernières innovations en matière de matériels topographiques dans les stands prévus à cet effet.

Une invitation sera diffusée dans le Bulletin d'Information Professionnelle des Géomètre-Experts du mois de mars. Aussi pour cette première édition du CercleGeo nous espérons vous compter nombreux parmi nous.



### PROGRAMME

09h00	Accueil
10h00	Conférences : deux thèmes : AURIGE, le RGP
11h30	Apéritif animé par les associations et présence de stands (Leica, Trimble...)
12h30	Déjeuner
14h30	Conférences : suite
16h00	Activités : Karting, course d'orientation GPS, golf
20h00	Apéritif, buffet
22h00	Gala



## Forum de Photogrammétrie 2003

■ Hassan BERRO, Laure CHANDELIER, Pierre-Yves CURTINOT, Marc DAEFFLER, Jean-François HAAS, Raoul KOUADIO KAN, Sofien OUESLATI, étudiants du Mastère Spécialisé en Photogrammétrie Numérique, Image Métrique, Vision 3D de l'ENSG

**A**vec sa deuxième édition le 30 janvier dernier, le Forum de Photogrammétrie se confirme en France comme le lieu de rencontre annuel des professionnels de la photogrammétrie et des utilisateurs de produits qui en sont dérivés. Le Forum a réuni cette année plus de 200 géomètres, photogrammètres, géomaticiens, responsables de collectivités locales et territoriales, venus participer au cycle de conférences ou échanger avec les différents fabricants de matériel, développeurs de logiciels de photogrammétrie et de SIG, et prestataires de services en lasergrammétrie et photogrammétrie. Le Forum de Photogrammétrie est organisé chaque année par les étudiants du mastère spécialisé en photogrammétrie numérique, image métrique, vision 3D de l'ENSG, mastère mis en place en collaboration avec l'ENSAIS et l'ESGT il y a deux ans. Cette année, le thème central du Forum était la lasergrammétrie terrestre et aérienne. En effet, face au développement de cette technologie, chez nos voisins européens aussi bien qu'en France, il nous a paru indispensable de faire un point en échangeant sur les atouts et les points faibles de cette technique. M. Jacques Poulain, Directeur technique de l'IGN, a ouvert cette deuxième édition du Forum de Photogrammétrie en insistant sur l'utilité d'une journée consacrée à la lasergrammétrie, organisée sous la forme d'un forum d'échange et de discussion.

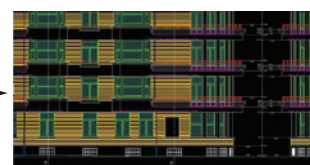
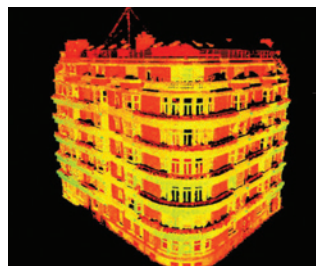
### Le cycle de conférences

A l'occasion de ce deuxième Forum, un cycle de trois conférences suivi d'un débat était proposé aux participants. M. Olivier de Joinville, chercheur au laboratoire MATIS (Méthodes d'Analyses et de Traitement d'Images pour la Stéréorestitution) de l'IGN et M. Xin Chen, Directeur technique de MENS, ont introduit respectivement la lasergrammétrie aéroportée et terrestre : technique et domaines d'applications n'avaient alors (presque) plus de secrets pour les auditeurs.

### Lasergrammétrie terrestre

La deuxième conférence de la journée a vu trois intervenants se succéder pour présenter des exemples concrets d'utilisation de la lasergrammétrie terrestre dans différents domaines. L'objectif de ces interventions était de donner aux auditeurs des éléments de réponse à leurs questions, comme par exemple : faut-il s'équiper d'un scanner laser terrestre ? Permet-il d'atteindre de nouveaux marchés ? Comment le lever laser terrestre se compare-t-il à la photogrammétrie ou à la topographie traditionnelle ?

M. Marc Hénaut, Selarl de Géomètres-experts Fauquembergue, Lemaire et Associés, a présenté le lever des façades de deux



**Immeuble Vauban**  
(Fauquembergue et Lemaire)

immeubles parisiens "Madeleine" et "Vauban". Le premier avant réhabilitation suite à un incendie, le second avant restructuration de la façade (suppression des balcons).

La réalisation a demandé une équipe de deux personnes sur le terrain pendant 1/2 journée pour 3 scans, 1 autre journée pour 20 scans, puis 5 à 6 jours de post-traitements par une personne. Les outils utilisés sont un scanneur Cyrax 2500, les logiciels Cyclone (gestion de l'acquisition et de la restitution des points), CloudWorx (exportation vers les logiciels de DAO), Autocad (vectorialisation, exploitation), 3D Studio Max (nappage de la texture).

Pour Marc Hénaut, le laser est facile à mettre en œuvre, permet l'obtention d'un nuage de points dense et d'un modèle 3D immédiat, ainsi qu'un calcul d'assemblage rapide et une exportation facile vers la DAO.

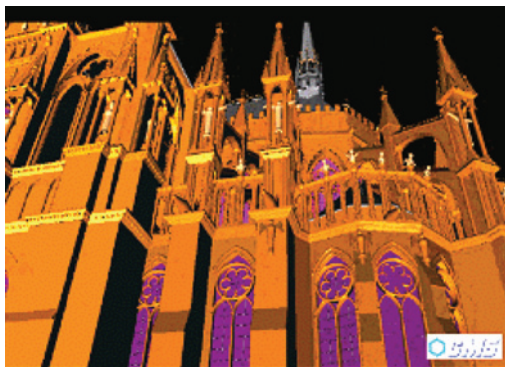


**Tunnel de l'Épine**  
(Sintegra)

M. Lionel BRAT, Sintegra, a présenté quant à lui le lever d'un ouvrage de génie civil, le tunnel de l'Épine sur l'Autoroute A43, réalisé à la demande du concessionnaire. L'objectif du lever était de réaliser un plan complet des équipements du tunnel ainsi que des profils en travers tous les 50 m.

Pour ce faire, ont été nécessaires 84 scans (réalisés en 4 nuits) de longueur utile 35 m chacun, qui ont permis l'obtention d'un nuage de 800 000 points. Les post-traitements ont ensuite duré 4 jours. Les outils utilisés étaient les mêmes que ci-dessus. Par rapport à la tachéométrie, le temps d'acquisition est moindre, pour un nombre de points infiniment plus grand (ce qui permet éventuellement une exploitation des données ■■■

- ■ ■ ultérieure, sans risque de devoir retourner sur le terrain). Par rapport à la photogrammétrie, le laser permet une exploitation 2D et 3D plus rapide pour l'obtention d'informations immédiates, et un interfacage plus simple avec les outils de CAO. En revanche, il nécessite une grande stabilité du capteur, et ne peut s'accommoder que de scènes absolument fixes.



**Cathédrale de Reims (CMS / Mensi)**

M. Bruno Morel, CMS S.A., a présenté le lever complet de la cathédrale de Reims et des ses abords immédiats. L'objectif était de fournir un modèle 3D qui servira à l'étude d'un nouvel éclairage. Le matériel utilisé était le scanner laser GS100 de Mensi, et son logiciel associé. La réalisation du lever a requis 50 stations sur un linéaire déployé de 5 km (et fermé à 4 cm près), ainsi que 178 points topo. Le nuage obtenu comprend 32 millions de points. A partir du nuage, la modélisation – largement manuelle – a abouti au modèle demandé. L'opération aura demandé au total 60 heures d'acquisition, 80 heures de consolidation et de nettoyage, et 90 jours de modélisation.

Ces présentations ont montré l'intérêt évident du laser dans les domaines terrestres : architecture, conservation du patrimoine, ouvrage d'art et de génie civil, sans oublier les applications industrielles que nous n'avons pas eu le temps d'aborder. La densité du modèle numérique de surface obtenu, et la rapidité de son obtention en fait un outil extrêmement pratique, permettant dans les cas simples d'accéder aux premières informations quasiment en temps réel. Le laser est incontournable pour le levé de surfaces sans texture.

## Lasergrammétrie aérienne

Cette troisième conférence visait à présenter les différents domaines d'application de la lasergrammétrie aéroportée. Elle a permis de donner aux auditeurs une vision d'ensemble des possibilités d'acquisition de données géographiques par laser aéroporté, ainsi que de présenter les résultats obtenus.

M. Matthieu Lemasson, IGN, a présenté pour TopoSys des exemples de suivi des zones forestières, ainsi que la réalisation de modèles 3D urbains. En zone forestière, la lasergrammétrie permet d'atteindre différents objectifs : la création d'un MNT (Modèle Numérique de Terrain) filtré de la végétation (une partie des impulsions laser pénètrent la canopée), la détermination de la hauteur des arbres (grâce aux impulsions réfléchies par les cimes) ou encore le comptage d'arbres. Les utilisations principales des MNT en milieu urbain quant



**Centre ville de Mannheim (TopoSys)**

à elles vont de la cartographie des bâtiments et de leur hauteur à la cartographie des zones de bruits, en passant par la simulation de nouvelles constructions, la simulation d'inondations (aide à la prise de décision en matière de prévision et de gestion des risques), l'aide à la mise en place de réseaux sans fil, etc..

Matthieu Lemasson a par ailleurs insisté sur l'intérêt de la combinaison de données laser et image acquises au cours d'un même vol, permettant la réalisation automatique d'ortho-images couleur et infrarouges couleur.



**Classification en sol, eau, bâti, végétation > 1 m (Terralmaging)**

Mme Saskia Boersma, Terralmaging, a ensuite présenté un relevé topographique effectué sur la Loire Moyenne, ainsi que différentes applications en gestion du littoral. L'objectif du lever sur la Loire (1870 km<sup>2</sup>, de Nevers à l'embouchure) était d'aider à la protection contre les risques d'inondation. Les points laser ont été classés en eau, végétation et bâtiments, et un MNT (données filtrées du sur-sol) a été créé. La classification a été faite en exploitant les différences d'altitude entre première et dernière impulsion (sur le signal retour), et l'intensité de chacun des signaux retour.

En gestion du littoral, des exemples d'utilisation des données laser cités par Saskia Boersma étaient la modélisation hydrographique, la surveillance des marais salants, ou encore les études d'érosion ou d'ensablement. Dans ces milieux, l'une des principales contraintes de réalisation du lever est la rareté et la brièveté des fenêtres de vol, le niveau de la mer devant être au plus bas pour couvrir une zone de l'estran maximale. Saskia Boersma a surtout mis en évidence les possibilités de classification des données acquises par lasergrammétrie aérienne.





**Modèle  
Numérique  
d'Élévation,  
Agde  
(Eurosense)**

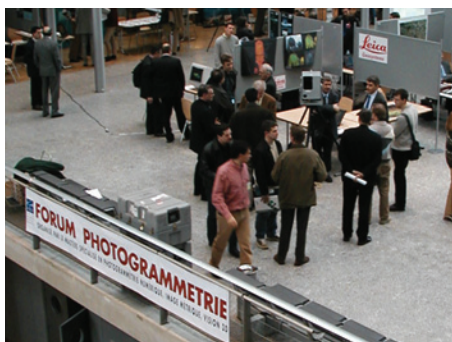
Mme Caroline Coquerel, Eurosense, a présenté la réalisation du modèle 3D urbain de la ville d'Agde. La lasergrammétrie aérienne a permis de réaliser un MNT et un MNE (Modèle Numérique d'Élévation) maillés avec un pas de 1 mètre, sur une zone de 4 x 5 km<sup>2</sup>. La précision altimétrique recherchée était de 15 cm, et les données ont été traitées dans un délai de 1,5 mois après le vol. Les contrôles qualité réalisés traditionnellement concernent la complétude des données, la qualité du vol, et les recouvrements inter-bandes. Les points laser mesurés ont été classés en sol, bâtiments et végétation. Caroline Coquerel a souligné la possibilité s'effectuer les levés laser de nuit (comme c'était le cas sur Agde), les scanners laser étant des systèmes actifs.

## Débat : laser et photogrammétrie, complémentaires ou concurrents ?

Le débat de clôture a été animé par M. Michel Kasser, IGN. Après avoir synthétisé les présentations de la journée et mis en avant les atouts de la lasergrammétrie sur la photogrammétrie, et inversement, la discussion a été engagée entre les nombreux participants au débat. En particulier, Michel Kasser a souhaité que le potentiel du laser soit comparé non pas à celui de la photogrammétrie argentique, mais à celui de la photogrammétrie numérique, l'invention de la première étant beaucoup plus ancienne. Le débat a entre autres porté sur la densité de points acquis et le problème de la conservation des données numériques a été abordé.

La complexité de mise en œuvre des scanners laser a été relevée : ces systèmes impliquent en effet l'utilisation combinée d'un GPS et d'une centrale inertielle. En cas de défaillance de l'un ou l'autre de ces composants, les données laser sont inutilisables, contrairement à la photogrammétrie (sauf dans le cas des capteurs à barrettes).

Personne ne conteste la supériorité du laser en zones boisées et pour effectuer des levés linéaires. Pour les autres environnements, les nouveaux outils de traitements d'images renforcent le potentiel de la photogrammétrie, comme les techniques de filtrage des données laser renforcent celui de la lasergrammétrie. L'avenir précisera la relation laser - photogrammétrie, qui doit être considérée davantage en termes de complémentarité que de concurrence.



**Quelques exposants, hall de l'ENSG**

## L'exposition

Les 25 exposants présents au Forum se sont répartis sur 21 stands. Toute la journée, les participants se sont renseignés sur les caractéristiques des produits et services proposés par les sociétés présentes.

Citons en particulier les démonstrations de scanners laser terrestres de Cyra, Mensi et Riegl, qui ont été de véritables pôles d'attraction. Par ailleurs, les prestataires de services en laser aéroporté actifs en France étaient également au rendez-vous. Les visiteurs ont ainsi bénéficié de réponses précises de la part de sociétés telles que AeroVista, Eurosense, Geoid, TerralMaging et TopoSys.

Mais les domaines techniques des exposants ne se limitaient pas à la lasergrammétrie. La photogrammétrie aérienne était également représentée, avec DVP-GS, Inpho, KLT Associates, Leica Geosystems GIS & Mapping, SpacEyeS - GEOimage, ZI/Imaging pour les logiciels et le matériel, ainsi que SJMET, le SNEPPIM et SPHAIR pour la prestation de services. Notons l'initiative de M. Serge Le Moal (SJMET) qui a récemment développé sa propre caméra aérienne numérique.

En terrestre, Aicon et Maury Informatique - Rollei Fototechnic ont exposé leurs solutions de mesures par photogrammétrie, tandis qu'ESIC-SN proposait des démonstrations d'utilisation de ce type de matériel dans l'industrie.

Enfin, l'intégration des produits issus de photo- et lasergrammétrie étant souvent faite dans un SIG, ESRI et Geomod, qui proposent tous deux des modules 3D et de photogrammétrie, ont intéressé nombre de visiteurs. Les logiciels de traitement d'images étaient quant à eux représentés par Digitech Int. et Research Systems Int.

## Conclusion

Cette journée aura permis de faire mieux connaître la lasergrammétrie, ses applications, atouts et limitations, à la communauté géographique française. Il pourra ainsi en être fait un usage approprié dans les prochaines années, comme c'est déjà le cas chez un certain nombre de nos voisins européens, en particulier l'Allemagne, la Belgique, les Pays-Bas, la Suisse, etc.. Cette deuxième édition du Forum de Photogrammétrie s'est terminée par un cocktail, l'occasion de prolonger les conversations techniques et commerciales ou de se retrouver entre partenaires ou amis.

Les conférences des différents intervenants seront bientôt mises en ligne sur le site de l'ENSG ([www.ensg.ign.fr](http://www.ensg.ign.fr)), accompagnées de la liste des exposants. ●

## Renseignements :

- sur le mastère spécialisé en photogrammétrie numérique, image métrique, vision 3D : M. Daniel Dubost, [daniel.dubost@ensg.ign.fr](mailto:daniel.dubost@ensg.ign.fr);
- sur le Forum de Photogrammétrie : élèves du mastère photogrammétrie numérique, [forum.photogrammetrie@ensg.ign.fr](mailto:forum.photogrammetrie@ensg.ign.fr)

# Apport des méthodes topographiques et topométriques au suivi du versant rocheux instable des ruines de Séchilienne

■ Jean Paul DURANTHON, Laurent EFFENDIANTZ (CETE Bron)  
Michel MEMIER, Ilario PREVITALI (Sintegra)

*Le versant rocheux de Séchilienne, localisé dans la basse vallée de la Romanche, entre les villes de Vizille et Bourg d'Oisans près de Grenoble, est l'un des plus grands phénomènes instables actuellement recensés dans les Alpes françaises. Depuis 1985, la surveillance de cet aléa majeur fait appel à une large gamme de techniques topographiques et topométriques. L'importance des enjeux a également conduit à développer les aspects organisation et fiabilité de la gestion du dispositif de télésurveillance.*

Dès les premières manifestations de la réactivation du mouvement de versant des Ruines de Séchilienne, l'importance des enjeux notamment liés à la sécurité de la population du bassin de la Basse Romanche et à la protection de la RN91 qui dessert les stations de ski de l'Oisans a conduit à mettre en place une surveillance du site.

En parallèle aux investigations de terrain et aux reconnaissances géologiques, le dispositif de surveillance initial a été progressivement complété au fur et à mesure de l'évolution spatiale et cinématique du phénomène. Ce dispositif, outre son aspect déterminant pour la caractérisation du phénomène s'avère crucial pour la détection et la gestion opérationnelle de la prévention du risque menaçant l'activité humaine.

Indépendamment de la présentation des techniques topographiques et topométriques mises en œuvre sur le site, une large part a été accordée à la présentation des aspects organisation des systèmes, transmission, interprétation et valorisation des données collectées.

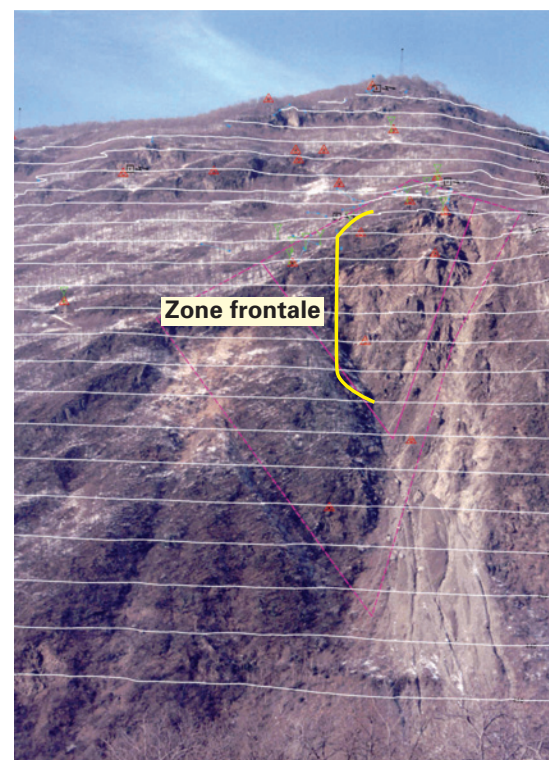
## Le site des Ruines de Séchilienne

Géographiquement, le versant instable des Ruines de Séchilienne se situe à environ 20 km au sud de Grenoble. Il surplombe la rivière de la Romanche et la RN91 qui dessert Bourg d'Oisans et Briançon par le col du Lautaret.

Du point de vue géologique, il fait partie du rameau externe de la chaîne du massif cristallin de Belledonne résultant du métamorphisme d'une ancienne formation sédimentaire. Deux accidents majeurs de direction N20°E encadrent cette unité : à l'est, le synclinal médian et à l'Ouest l'accident de Vizille.

Le pied du versant n'a pas connu de phénomène d'obturation naturelle du lit de la Romanche à l'instar d'autres secteurs de la vallée entre le XII<sup>e</sup> et le XX<sup>e</sup> siècle. L'examen des archives a cependant mis en évidence des chutes récurrentes de gros blocs à la fréquence approximative d'une fois par siècle.

Les dimensions impressionnantes de ce versant, de l'ordre de 1 500 m de large sur près de 750 m de dénivelée, font craindre un éboulement en grande masse pouvant correspondre à diffé-



Le site des Ruines de Séchilienne vu depuis l'observatoire de Montfalcon

rents scénarios dont le plus petit a été évalué à 4 millions de m<sup>3</sup>.

## Premières actions conservatoires

Dès 1980, des mesures de protection de la RN91 ont été prises (fosse de réception et digue de matériaux).



■ ■ ■ En 1985, suite à des éboulements dépassant la capacité de ce dispositif de protection des études ont montré qu'il ne s'agissait pas d'un processus banal d'altération superficielle, mais que leur origine était liée à un processus de déstabilisation profond d'une partie du versant.

En mars, les constatations effectuées dans le versant ont conduit à mettre immédiatement en place une surveillance visuelle permanente avec commande d'interruption de la circulation au moyen de feux rouges. Dès 1986, la protection de la RN91 et la garantie de la permanence de l'écoulement des eaux de la Romanche en cas d'éboulement en grande masse ont conduit à réaliser d'importants travaux (mur en blocs de béton couronné de filets détecteurs, chenal de dérivation et deux ouvrages provisoires de franchissement de la Romanche, itinéraire de déviation de la RN91...).

En 1996, afin de valider les hypothèses de comportement mécanique du massif et tenter de localiser la surface de rupture arrière du volume en mouvement, une galerie de reconnaissance de 240m de longueur, implantée à la cote 710, a été creusée. Seul le premier objectif a pu être atteint.

## Etude du phénomène et dispositifs de mesure destinés à la surveillance

En parallèle aux premiers travaux conservatoires ont été entreprises des études géologiques et le versant a été ensuite progressivement équipé de dispositifs de mesure permettant d'assurer une surveillance continue des mouvements.

A la nécessité de déterminer le contour de l'aléa à l'origine des désordres s'est ajoutée la préoccupation de détection de déclenchement d'un mouvement de grande ampleur.

**Terminologie retenue :** L'importance des enjeux a justifié le recours à plusieurs niveaux de surveillance. (ROCHET 1992).

Une première phase de Mise en observation a consisté à mettre en évidence, à l'échelle humaine, l'instabilité du site à l'aide d'observations qualitatives ou quantitatives (photos/indices ou repères naturels...). L'évolution du phénomène d'instabilité a ensuite été caractérisée par un Suivi et une Auscultation, consistant en un examen périodique du site et un recueil de données.

Après la prise de conscience de l'existence d'un phénomène de grande ampleur, un système de Surveillance dédié à un objectif de gestion de la

sécurité s'est finalement imposé. Il repose sur la collecte, l'exploitation et l'interprétation périodiques de données qualitatives et quantitatives.

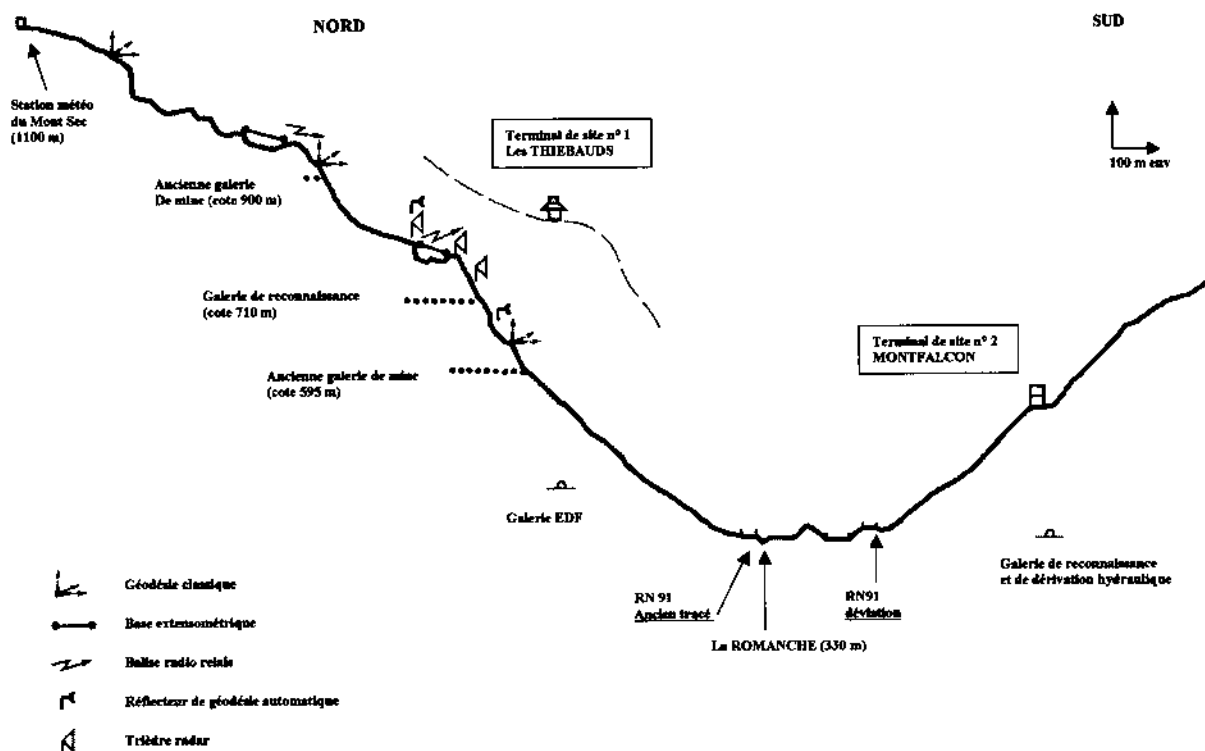
Dans le cadre d'un Plan de Secours, la Détection de situations de crise correspondant à des scénarios pré-définis est ensuite possible.

## Description

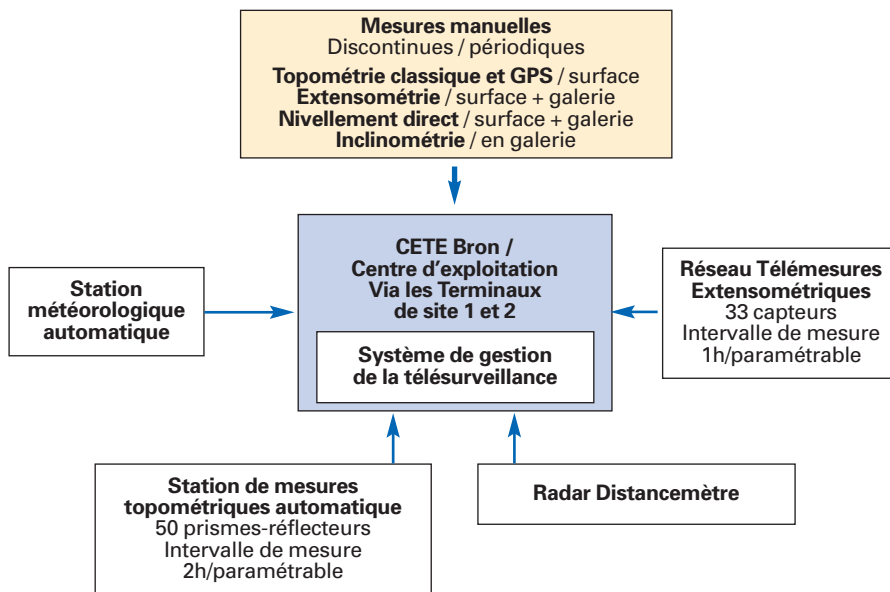
### Mesures topométriques manuelles et automatiques

Dans un premier temps, en 1985, la mise en place d'un dispositif de mesures manuelles et périodiques destinées à caractériser l'évolution du phénomène par la quantification des mouvements de surface a été décidée.

- **Périodicité :** 1 fois par an variable selon l'ampleur des mouvements
- **Méthodologie :** Mesures de triangulation et de trilatération
- **Réseau observé :** 48 sphères ou repères observés à partir de 5 piliers d'observation rattachés à 3 points d'appui primaires.
- **Instruments utilisés :** Tachéomètres Leica T2002 et TC2002
- **Précisions :** Emq de 5 à 10 mm en XY et 15 à 20 mm en Z



## Dispositifs de mesure du système de surveillance / Organigramme



A partir de 1995, le positionnement GPS fut mis en œuvre. Les contraintes liées aux dimensions du site et à sa configuration rendaient difficiles et imprécises les mesures classiques sur le réseau de piliers. De plus, il a permis de créer et de positionner des repères de surveillance supplémentaires située dans des zones masquées par rapport aux piliers d'observation.

- **Méthodologie** : Sessions de 60 mn adaptées au mode statique
- **Réseau observé** : 5 piliers et 16 repères supplémentaires
- **Récepteurs utilisés** : Ashtech bifréquence ZXII
- **Précisions obtenues** : Emq de 5 à 10 mm en XY et 5 à 15 mm en Z

Dans un second temps, un dispositif de mesures topométriques automatiques destinées à fournir des données périodiques beaucoup plus rapprochées adaptées à la gestion de la sécurité, en période de crise, fut jugé nécessaire. Ce système fonctionnant en télésurveillance assure le pilotage des mesures tachéométriques, leur transmission vers le centre de traitement du CETE de Bron et leur post-traitement. Depuis juillet 1996, une station de géodésie automatique de type LEICA TM 3000D, est implantée en face du versant instable dans le terminal de site du MONTFALCON (R.D 113). Le théodolite motorisé, piloté par le logiciel APSWin, est associé à un distancemètre "longues distances" Leica DI3000S (laser / infrarouge, 0.860 µm)

Périodiquement, toutes les 2 heures, un cycle de mesures sur les 54 prismes-réflecteurs répartis dans le versant instable est enregistré. La périodicité des mesures est paramétrable. Les cibles couvrent largement le site, surtout en partie basse du versant. Il complète le réseau de capteurs extensométriques, peu étendu et tributaire de la proximité des balises radios.

La géodésie automatique présente l'avantage de donner une vision d'ensemble des déplacements du versant. Il convient toutefois de signaler l'inconvénient de ce dispositif qui devient inopérant en cas de pluie, de neige, de brouillard ou de nuages bas.

Dans cette configuration, ce sont les capteurs extensométriques qui assurent seuls la continuité de la surveillance (avec depuis quelques mois les mesures radar pour les zones les plus actives). Compte tenu de l'imprécision des mesures angulaires, seules les distances (corrigées des effets météorologiques à l'aide de mesures réalisées sur des repères stables) sont utilisées.

*Précision obtenue : 3 à 4 mm*

### Mesures extensométriques manuelles

Depuis 1985, des mesures manuelles sont réalisées périodiquement en surface et dans la galerie de reconnaissance.

**Type de matériel utilisé** : Distancemètre LRPC type DO orientable à fil Invar, repères DO scellés à demeure.



**Réseau de surface** : validation et complément des systèmes automatiques

- Dispositifs disposés en cavalier sur les fractures et crevasses,
- Nombre de bases équipées : 49,
- Fréquence des mesures : 3 mois (et à la demande),
- Type de renseignement obtenu : évolution de l'ouverture de fractures ou crevasses (mouvement relatif).

### Réseau en galerie :

- 24 bases dans la galerie 710 (galerie de reconnaissance)
- 24 bases dans la galerie 595 (ancienne galerie de mine)
- 8 bases dans la galerie 900 (ancienne galerie de mine)
- Fréquence des mesures : trimestrielle (et à la demande).

En galerie les repères de type DO sont utilisés pour l'extensométrie et la topographie de manière à coupler les deux informations.

### Télémessures extensométriques

Depuis 1988, il assure le suivi permanent de 33 capteurs placés sur les principales fractures du site. Il représente la forme automatisée du système de mesure manuelle DO décrit précédemment. Les bases automatiques sont d'ailleurs systématiquement doublées de bases manuelles (33 des 49 bases du dispositif DO) permettant le recalage et la continuité des mesures en cas d'intervention de maintenance.



■ ■ ■ Cinq "grappes" de capteurs sont reliés par voie filaire à cinq balises radio alimentées en énergie par des cellules photovoltaïques qui assurent des liaisons bidirectionnelles avec le terminal du site du hameau des Thiebauds.

*Fréquence des mesures : 1 heure (paramétrable).*

## Mesures inclinométriques en galerie

Depuis mars 1998, 2 inclinomètres (dits de BLUM) à silice sont implantés dans la galerie, ils renseignent sur le basculement des éléments constituant le massif

*Fréquence des mesures : paramétrable, acquisition des mesures actuellement toutes les 60 minutes et récupération de celles-ci mensuellement et à la demande*

## Mesures micro-ondes radar

Un radar distancemètre développé par l'ONERA a été installé en décembre 1999 au terminal de site de Montfalcon. Ce système suit par tout temps une vingtaine de repères disposés sur les points les plus représentatifs du versant. Ce matériel fait partie intégrante du système de télésurveillance du site depuis 2001. Pour des distances relativement courtes de quelques kilomètres, la propagation des ondes radar est relativement peu affectée par les conditions météorologiques, car les longueurs d'ondes utilisées sont généralement grandes devant la taille des hydrométéores : c'est là l'avantage principal du radar par rapport aux techniques optiques.



Les radars ont par nature des capacités pour les mesures de distances. Ces appareils effectuent fondamentalement des mesures de retard de propagation qui sont ensuite converties en distance. La résolution en distance dépend de la largeur de bande émise.

Des marqueurs passifs sont disposés sur le site pour identifier les points surveillés. Ce sont des trièdres réflecteurs de 40 cm d'arête qui génèrent des échos puissants, bien contrastés par rapport aux signaux rétro-diffusés par la scène naturelle.

La précision des mesures est excellente (meilleure que 0.4 ppm sur les distances considérées de l'ordre du kilomètre). Ce dispositif permet de s'affranchir des périodes aveugles, dues à de mauvaises conditions météorologiques, afin de suivre les déplacements de réflecteurs trièdres implantés dans le versant instable.

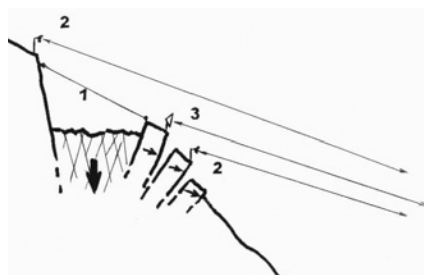
*Fréquence des mesures : toutes les 20 secondes moyennées au pas horaire.*

## ■ Association et corrélation des différents dispositifs de mesures

Le couplage des dispositifs tel qu'il a été conçu au niveau de la matérialisation du support des systèmes-réflecteurs (voir figure ci-dessus à droite) permet une corrélation entre les différents vecteurs-déplacements observés.

## ■ Adaptation du dispositif à l'évolution du phénomène

Depuis l'origine du suivi en 1985, l'équipement du site a été progressivement renforcé pour reconnaître les contours exacts et le détail de la cinématique de la zone en mouvement.



- 1 – Base d'extensométrie
- 2 – Mesure distancemètre électromagnétique sur prisme-réflecteur
- 3 – Mesure radar sur trièdre métallique



A partir de 1996, de nouvelles fissures du terrain et des chutes de blocs se sont manifestées à l'ouest de la partie la plus active. Ces constatations ont conduit à équiper en 1997 ce secteur d'un repère de géodésie classique à titre exploratoire. Ce point ayant révélé une rapide mise en vitesse (de quelques cm à quelques dcm par an), les alentours ont été équipés en mai 2000 de 6 capteurs extensométriques reliés à une nouvelle balise radio. Trois de ces capteurs ont confirmé la récente activation du secteur avec des vitesses d'ouverture de fissures qui atteignent actuellement 10 à 40 cm par an.

En avril 2001, huit réflecteurs géodésiques complémentaires ont été implantés sur les marges ouest et nord de la zone frontale et intégrés au dispositif de géodésie automatique. En liaison avec les critères de terrain, les données topométriques issues de ces nouveaux repères permettent d'ores et déjà d'appréhender des changements dans l'extension et la géométrie du secteur le plus rapide.

## ■ Documents topographiques et photographiques

Les différentes études portant sur le site ont rapidement nécessité la réalisation de documents topographiques destinés à constituer des supports graphiques et fournir des informations de type cartographiques (MNT/cubatures/profils trajectographiques...).

Compte tenu des contraintes liées au site (dimensions et configuration), la méthode photogrammétrique s'est impo-

## Plans photogrammétriques au 1/5000 et 1/2000

- Représentation fiable du terrain
- MNT
- Report et visualisation des mouvements mesurés
- Position des équipements
- Support pour études spécifiques et communication

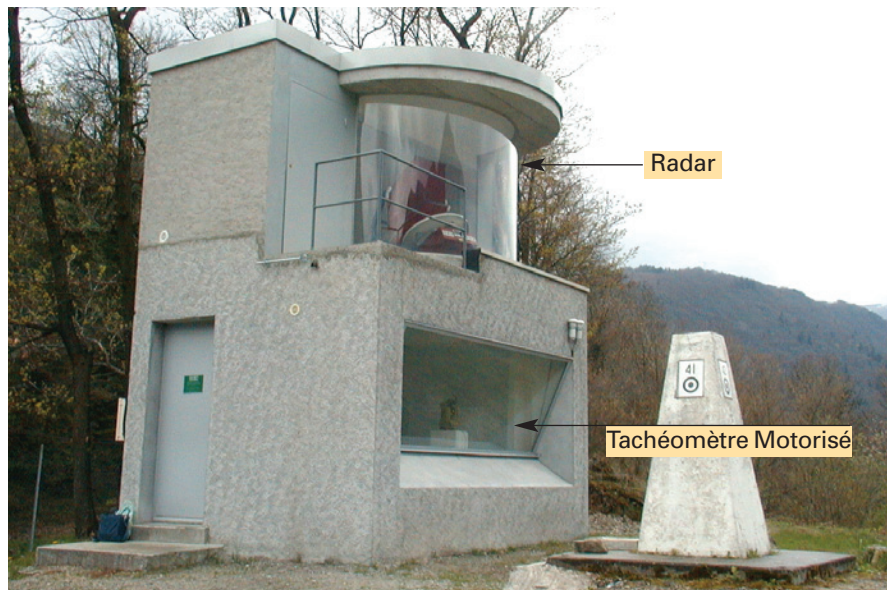
**Clichés stéréoscopiques aériens**  
**Clichés terrestres**

- Position des équipements
- Support pour études spécifiques et communication

sée pour l'élaboration de plans topographiques, malgré le fort couvert végétal. Une première campagne de prise de vues aériennes au 1/8000 a permis de produire un plan d'ensemble au 1/2000. Périodiquement, des prises de vues par avion ou par hélicoptère sont effectuées afin de disposer de documents photographiques à jour du site (archivage et actualisation de la morphologie de surface)

## Le système de gestion de la télésurveillance

Les exigences spécifiques à la gestion du site ont justifié depuis l'origine de sa mise sous surveillance le recours à des développements logiciels spécifiques réalisés en interne au CETE de Lyon II y a une quinzaine d'années, ces types d'outils en étaient encore au stade des balbutiements. La quantité et la variété des dispositifs d'acquisition mis en œuvre sur le terrain (bases extensométriques, cibles géodésiques, trièdres radar, sondes de température, etc..) ont progressivement fait émerger le besoin d'un outil moderne capable d'assurer une gestion structurée de l'ensemble des fonctions de la télésurveillance. Les notions de gestion de proximité avec deux Terminaux de Site déportés implantés à proximité immédiate du versant instrumenté (Les Thiébauds et Montfalcon) et de gestion à distance avec le Centre d'Exploitation de Bron,



### Local de mesures situé à Montfalcon

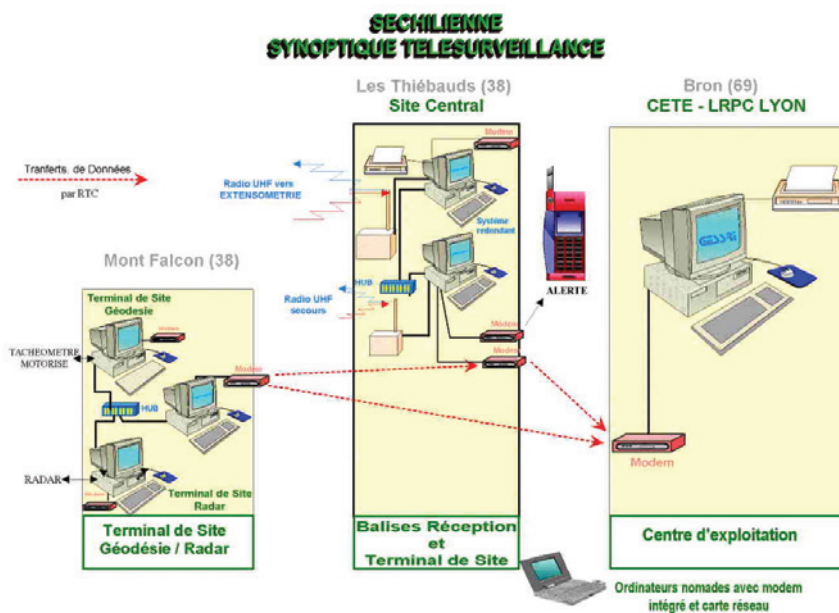
ont été reprises dans l'architecture du nouvel outil GeSSRI (Gestion de la Surveillance des Sites Rocheux Instables) mis en place en 1999.

Sont particulièrement concernés :

- au niveau gestion de proximité : le pilotage des acquisitions (paramétrage des capteurs, pas d'acquisition, contrôle des systèmes), la retransmission des informations vers le Centre d'Exploitation (pilotage et sécurisation des liaisons) ;
- au niveau gestion à distance : la mise à disposition des données (archivage, mise en forme "accessible"), la délivrance automatique d'alertes sur dépassement de seuils à destination

de la structure technique chargée du suivi du site.

Pour ce qui concerne l'extensométrie automatique, le contexte vaste et escarpé du versant ne permettant pas des liaisons filaires, il a été mis en oeuvre une alimentation en énergie autonome de type photovoltaïque et des transmissions radio par balises de faible puissance disposées en relais vers le Terminal de Site des Thiébauds. Ce point particulier est symptomatique des difficultés et particularités qui ont dû être reprises dans la conception de GeSSRI. Une gestion en réseau du noyau commun aux dispositifs de mesure permet la centralisation des données.



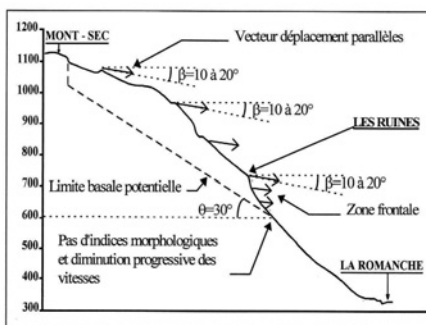


Le but final est d'archiver les données réelles et calculées ainsi que de créer des courbes de prévision et d'évolution permettant de prévenir avec quelques heures ou jours d'avance une accélération des mouvements laissant supposer l'imminence d'un écoulement en masse et d'en prévenir les effets. En terme de transfert de données et de communication, il a été choisi d'utiliser des modems sur le Réseau Téléphonique Commuté (RTC). La solution est tout d'abord implémentée sur le site des Thiebauds. Il est équipé de deux PC redondants et interroge les autres applications pour centraliser les données et les transmettre via un modem RTC vers le centre d'exploitation des massifs rocheux instables du CETE de Lyon. En cas de crise, ce site a la capacité d'accueil nécessaire et permet d'effectuer toutes les manipulations nécessaires pour permettre de suivre les évolutions des données et des prévisions en temps réel sur toute l'installation (Thiebauds et Mont Falcon).

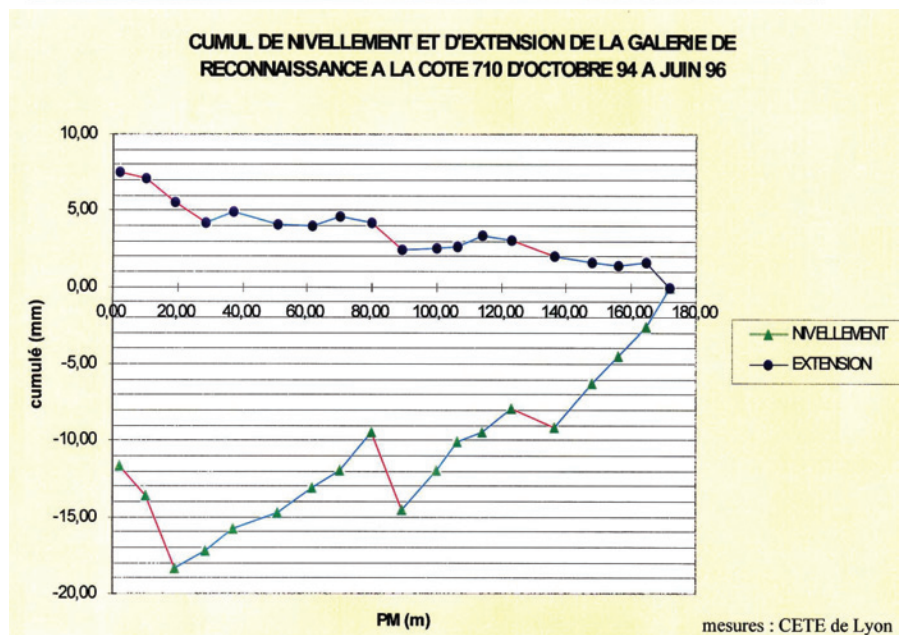
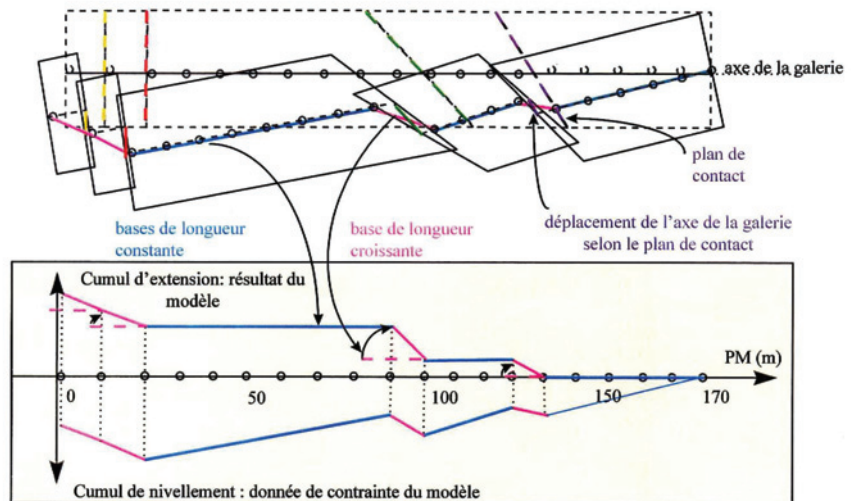
## Utilisation et valorisation des données

Afin d'améliorer la connaissance du phénomène et de permettre la production de critères de détection et d'actualisation, les données font l'objet de traitements spécifiques tels que :

- ☐ Etablissement de modèles analytiques
- ☐ Calculs de volumes à partir du MNT
- ☐ Etablissement de cartes iso-cinétiques, visualisation des évolutions
- ☐ Courbes d'évolution, tendances



Schématisme du comportement cinématique du versant des Ruines



Modélisation des déformations des 170 premiers mètres de la galerie de reconnaissance située à 710 m

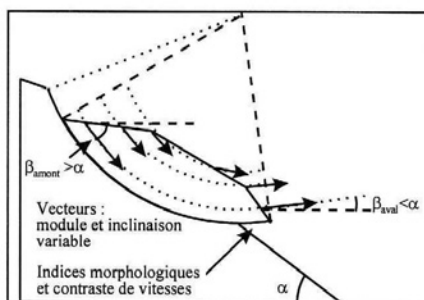
## Amélioration de la connaissance du phénomène

### Reconnaissance dans le massif

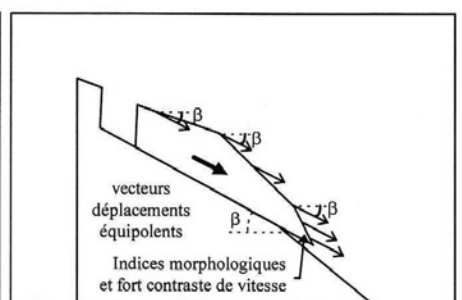
Dans la galerie de reconnaissance destinée à la validation des hypothèses de comportement mécanique du massif et à la localisation de la surface de rupture, un dispositif de mesures manuelles

périodiques (extensométrie, nivellement direct et d'inclinométrie) fournit des renseignements à la fois qualitatifs (sur la structure géologique...) et quantitatifs (déformations de la galerie...). A partir des déformations observées, une modélisation est élaborée et permet d'en déduire une cinématique.

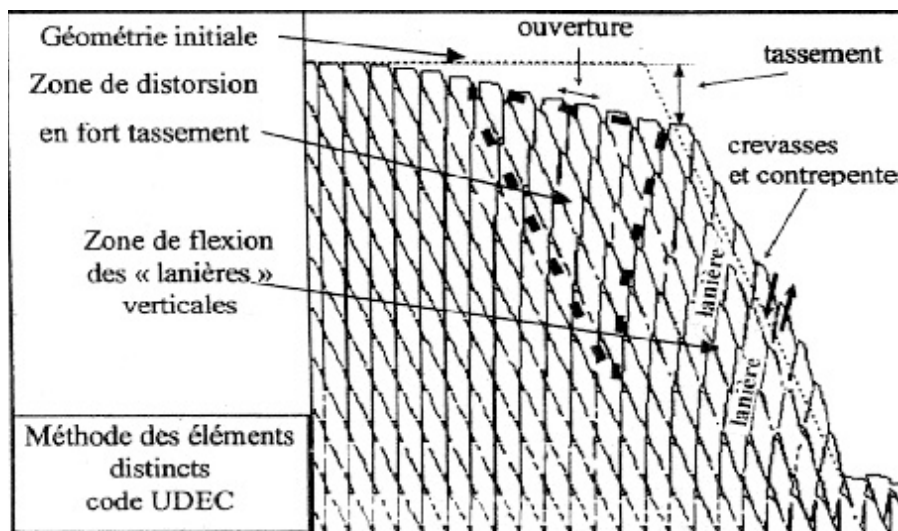
### Modèle de rotation



### Modèle glissement plan

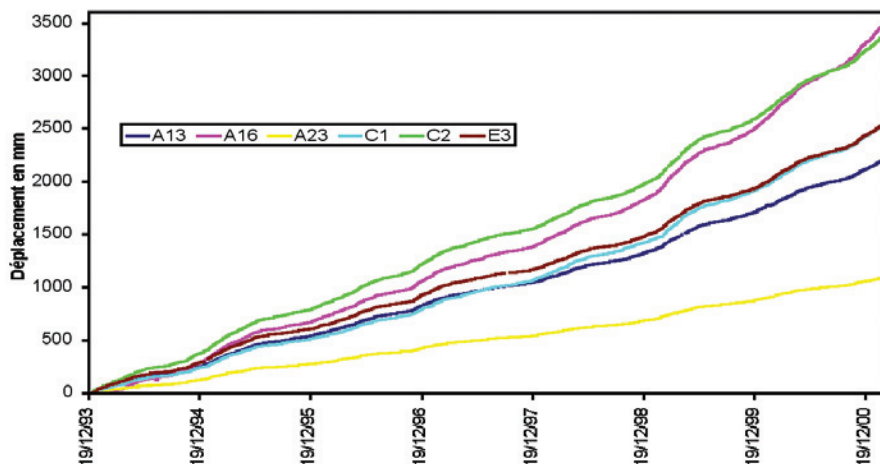


Passage en revue de modèles classiques non pertinents et non retenus



Modèle de "rupture interne" retenu

### ■ Production de critères de détection et d'actualisation



Capteurs extensométriques rattachés à la balise 3  
EVOLUTION DES DEPLACEMENTS DEPUIS 1993

#### MODÈLES ANALYTIQUES

- **Topographie : Etude structurale**
  - > Modèle géométrique
- **Données topométriques / mesures**
  - > Modèle cinématique (zonage)
  - > Modèle de déformation (rupture)

### ■ Corrélations hydrométéorologiques

Une station météo automatique équipée d'un télénivomètre a été implantée en 1993 au sommet du Mont Sec (cote NGF 1120).

Cette station gérée par E.D.F. permet de disposer des valeurs d'infiltrations d'eau dans le massif (pluie tombée et neige fondue).

### Surveillance et gestion opérationnelle du site

La gestion de la sécurité passe par une connaissance constamment réactualisée du niveau d'activité du phénomène. Des seuils de prise en compte des vitesses et accélérations sont déterminés en référence à des situations types. Le logiciel de gestion du suivi délivre des alertes téléphoniques aux personnels de permanence sur franchissement de ces seuils. Le passage en contexte de pré crise, puis de crise font l'objet de procédures affichées au Plan de Secours.

### Conclusions

L'évolution des techniques de mesures et de transmission des données mises

au service de la surveillance de sites naturels instables comme celui des Ruines de Séchilienne contribue à améliorer la gestion du risque dans les contextes présentant des enjeux socio-économiques importants.

Ces techniques se révèlent également indispensables pour améliorer la compréhension et le diagnostic de tels phénomènes très complexes à modéliser. La topométrie et la topographie, associées aux disciplines chargées de compléter et d'interpréter les données qu'elles fournissent, constituent toujours les principales sources d'informations des déplacements de surface permettant d'étudier la cinématique d'un versant instable de grande ampleur.

L'application du positionnement GPS et la robotisation des tachéomètres électroniques ont particulièrement fait évoluer le dispositif général de suivi. Le radar distancemètre présente des perspectives très intéressantes, autant du point de vue de la précision que du point de vue de la complémentarité par rapport aux autres dispositifs de mesures topométriques classiques ne permettant pas de fournir des données par mauvaises conditions météorologiques. La sophistication des systèmes de télésurveillance dédiés au suivi en continu des déformations ainsi qu'à la gestion de la sécurité rend ceux-ci plus performants. La nécessité d'un pilotage centralisé de ces matériels complexes a justifié la mise au point d'un nouvel outil informatique. ●

### Bibliographie

**P. ANTOINE - P. CAMPOROTA - A. GIRAUD - L. ROCHET** *La menace d'écroulement aux Ruines de Séchilienne*. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n° 150-151 - 1987 p.55-64

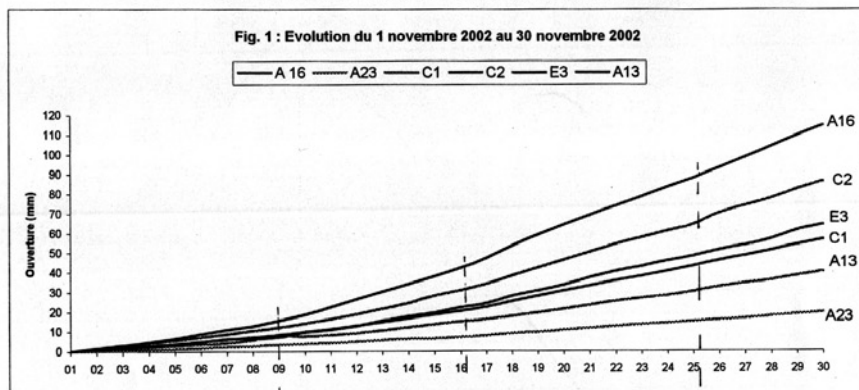
**H. EVRARD - T. GOUIN - A. BENOIT - JP. DURANTHON** *Séchilienne Risques majeurs d'éboulement en masse Point sur la surveillance du site* Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n° 165- 1990 p.7-16

**Les ruines de Séchilienne.** *Relation entre les données météorologiques et l'instabilité de versant*. Rapport de stage. LRL - Septembre 1994

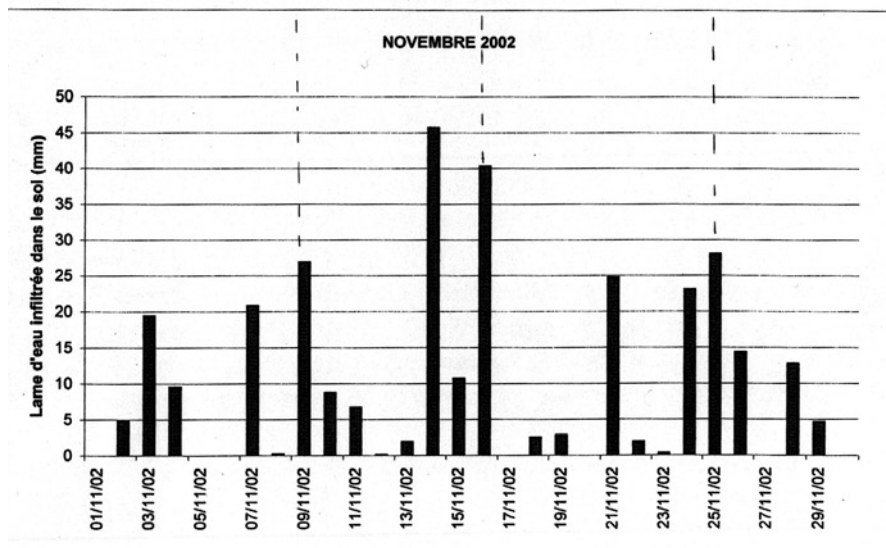
**ROCHET - GIRAUD - ANTOINE - EVRARD** *La déformation du versant sud du Mont* ■ ■ ■



## SITE DES RUINES DE SECHILIENNE EVOLUTION DES MESURES EXTENSOMETRIQUES



## SITE DES RUINES DE SECHILIENNE LAME D'EAU INFILTREE DANS LE SOL



■ ■ ■ Sec dans le secteur des Ruines de Séchilienne. (Isère) - Ass. Int. Géol. de l'Ing.- n°50 Oct.94.

**L.ROCHET** Zone instable des Ruines de Séchilienne. Etude du risque d'éboulement en grande masse Rapport CETE de Lyon Mars 1998

**Modélisation CETE de Lyon LRPC Rhône Alpes** - mars 1998

**I. PREVITALI / P.LASSIAZ** - Campagnes de mesures périodiques classiques et GPS - SINTEGRA

**L.EFFENDIANTZ - JP.DURANTHON** - CETE de Lyon LRPC Rhône Alpes - Point des mesures de suivi et de surveillance du site 1985/31mars 2002

**JM.VENGEON** Déformation et rupture des versants en terrain métamorphique anisotrope. Apport de l'étude des Ruines de Séchilienne. Thèse de l'Université J.Fourrier Grenoble I 1998

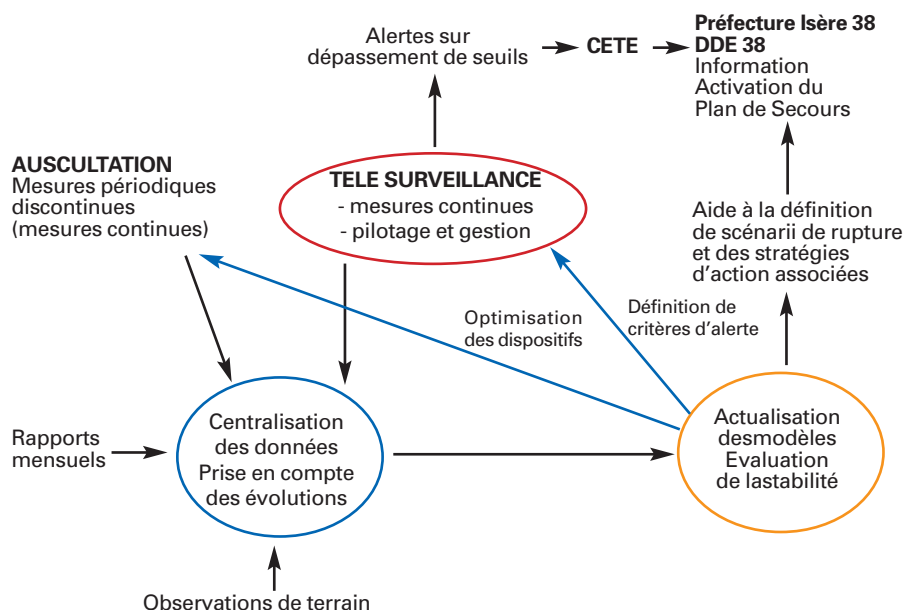
**C.CAUQUOT - L.EFFENDIANTZ - S.GUILLOT** Galerie hydraulique et de reconnaissance géologique de Séchilienne. Rapport géologique. CETE de Lyon - LRPC Rhône Alpes, Université Lyon I - CNRS - Laboratoire de dynamique de la lithosphère LRL - 2000

**M.PANET - C.BONNARD - P.LUNARDI - M.PRESBITERO** Expertise relative aux risques d'éboulement du versant des Ruines de Séchilienne. Rapport du collège d'experts - Déc.2000

**P.POTERAT - P.ALPHONSI** Les mouvements de versant de Séchilienne (Isère) Prise en compte de l'héritage structural pour leur simulation numérique Rev. Fran. Géotech. n°95/96 2°/3° trim. 2001 p.117-131

## ABSTRACT

*The rocky landslide of Séchilienne located in the lower course of the Romanche valley between the towns of Vizille and Bourg d'Oisans near Grenoble is one of the biggest actually known in the French Alps. Since 1985, this hazard has been monitored with a large range of topographical and field measurement techniques. The importance of the safety aspects has also led to develop the management and reliability sides of the whole monitoring process.*



# Le Brésil, Eldorado de l'information géographique ?

■ Hervé THÉRY et François-Michel LE TOURNEAU<sup>1</sup>

*Malgré de son image de pays en proie à des difficultés économiques et sociales de grande ampleur, le Brésil présente sur bien des points le visage d'un pays extrêmement moderne, offrant à ses citoyens – et à ceux qui l'étudient – un ensemble de services de haut niveau technologique. Rien n'y est plus courant, en effet, que de régler ses charges sociales ou ses impôts via internet. L'un des aspects de cette philosophie résolument tournée vers les moyens de communication les plus modernes est la mise à la disposition de tous les internautes d'un ensemble chaque jour plus grand d'information, le plus souvent gratuitement.*

*L'information géographique en général (en incluant sous cette dénomination à la fois les informations géoréférencées de type cartographique mais aussi toutes les statistiques pouvant être reliées au territoire ou à ses habitants) fait partie de ces domaines dans lesquels cette politique d'ample divulgation est la plus manifeste. A partir de la masse d'information immense et fort peu chère dont tous peuvent disposer, les recherches peuvent se multiplier, permettant une connaissance en profondeur de la géographie du Brésil.*

**A**u travers de quelques exemples, cet article souhaite illustrer cette richesse de l'information géographique disponible sur le Brésil, et surtout livrée au public sous forme de données brutes autant que sous forme de produits synthétisés.

Nous nous attacherons dans un premier temps aux données géoréférencées, en montrant la richesse exceptionnelle qu'autorise leur croisement avec les sources statistiques, puis nous donnerons quelques exemples d'approches originales, uniquement établies à partir de sources publiques, du territoire brésilien et de son équipement.

## L'abondance de l'information géoréférencée

L'information géoréférencée est abondante au Brésil, ce qui peut paraître paradoxal dans un pays de taille continentale dont le territoire est encore, pour une bonne partie, à découvrir. Mais

la nécessité de connaître un peu mieux ce territoire immense est sans doute une des explications de l'effort consenti. L'originalité du Brésil vient surtout de l'habitude des grandes agences publiques de mettre l'information à disposition du public soit via leurs sites web, soit sous la forme de cédéroms des bases de données en format SIG.

## ■ Les bases de données géographiques à petite échelle

Plusieurs bases de données à petite échelle décrivant le territoire brésilien sont à la disposition du public. Deux exemples peuvent retenir particulièrement notre attention. Le premier est le "Diagnostic socio-environnemental de l'Amazonie brésilienne". Ce produit, édité par l'IBGE<sup>2</sup> en 1995, fournit un ensemble de couches d'information vecteur à l'échelle du 1:3 500 000 sur l'Amazonie brésilienne, sous forme de fichiers DGN. Bien que d'une échelle relativement petite, ces données per-

mettent de connaître beaucoup mieux cet espace immense (5 millions de kilomètres carrés) et de produire un ensemble de cartes fort intéressantes. C'est par exemple grâce à cette base, complétée par des données propres, qu'une ONG de São Paulo, l'*Instituto Socioambiental* (ISA), a pu réaliser l'une des cartes d'Amazonie brésilienne qui font autorité à l'heure actuelle. La diffusion de données de référence – malgré les limites qu'imposent leur petite échelle et, parfois, leur manque d'actualisation – brise ainsi le monopole des organismes d'Etat sur la réflexion sur le territoire et permet à de nouveaux acteurs de s'exprimer, parfois en critiquant, cartes en main, les politiques publiques.

La base de données hydrographiques de l'Agence Nationale de l'Electricité est un autre exemple intéressant de cette diffusion des données. Destinée à donner à d'éventuels investisseurs intéressés à la construction de centrales ■■■



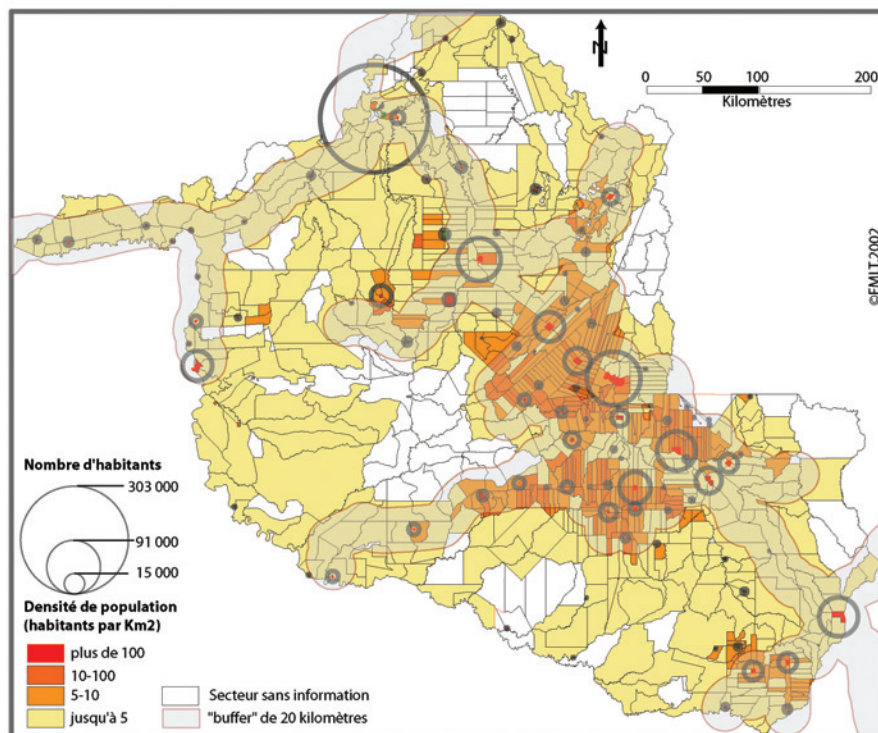
hydroélectriques un ensemble d'information de base sur les sites et leurs possibilités, cette base offre des couvertures vecteur à l'échelle du 1:5 000 000 sur tout le Brésil, divisé en 8 bassins versants : les informations vont du plus général (routes, zones protégées, réseau hydrographiques) au plus spécialisé (localisation des stations météorologiques, pluviométrie, etc.).

Certes la qualité des informations est parfois faible, plutôt du fait de l'immensité du territoire brésilien et des faibles moyens de collecte de certaines informations (les stations météorologiques, par exemple, sont en très faible nombre en Amazonie, n'autorisant pas une étude fine du climat) que du fait du manque de technologie des administrations qui les publient. Le résultat n'en reste pas moins que tous ceux qui s'intéressent au Brésil, et en particulier les géographes, disposent d'information de première main pour étayer leurs études ou pour utiliser la cartographie comme méthode d'investigation du territoire.

Le fait que les données soient géoréférencées amplifie encore leur potentiel car elle permet d'utiliser les possibilités des SIG pour les croiser. Ainsi, à partir des deux sources mentionnées plus haut, nous avons pu réaliser une carte de synthèse sur le rôle des routes dans le déboisement en Amazonie brésilienne<sup>3</sup>.

### ■ Les mailles administratives

Le dessin des mailles administratives peut à lui seul présenter une vision du territoire, et l'analyser permet d'en déduire certaines qualités<sup>4</sup>. Ces mailles sont aussi un excellent moyen d'investigation du territoire, à partir du moment où elles sont suffisamment fines et où l'on possède un nombre de données suffisantes qui s'y rattachent. Jusqu'à une date récente, la connaissance la plus fine du Brésil se cadrait dans sa maille municipale, dense dans les Etats du sud mais très lâche en Amazonie<sup>5</sup>. La taille moyenne des cellules (le Brésil compte environ 5 600 communes pour 8,5 millions de kilomètres carrés) rendait difficile une approche véritablement fine du territoire, en particulier dans les zones urbaines.



**Figure 1 : Répartition de la population de l'Etat du Rondônia, situé en Amazonie brésilienne**

La situation a changé du tout au tout depuis que la divulgation des résultats du recensement 2000 a été lancée au niveau du secteur de recensement. La maille est devenue considérablement plus fine (en comptant les secteurs urbains et ruraux, le Brésil compte environ 200 000 secteurs de recensement, dont la population moyenne est de 850 habitants), même si certains secteurs amazoniens continuent d'être disproportionnés. Avec ces nouvelles sources, que tous peuvent acquérir<sup>6</sup>, une approche très serrée du territoire et de la population, dont nous donnons un exemple ci-dessous, est possible. Là encore, le fait que les données soient vendues géoréférencées (sous forme de fichiers shape, agf ou e00<sup>7</sup>, au choix) permet d'accroître leur potentiel en les croisant avec les données issues des sources précédentes.

Il est par exemple possible d'étudier le rôle des routes dans la répartition de la population amazonienne, comme le montre la figure 1. Celle-ci présente une carte de l'Etat du Rondônia, situé en Amazonie brésilienne. Les secteurs censitaires ruraux sont représentés en plages de couleurs indiquant la densité de population. Les secteurs urbains ont été regroupés par ville et leur popula-

tion totale est indiquée par des cercles proportionnels. Un tampon de 20 km a été réalisé le long des routes principales et est représenté en fond clair. S'agissant de données géoréférencées, il est possible de formuler dans un SIG la question suivante : quelle est la proportion de la population habitant à moins de vingt kilomètres des routes principales (i.e. quel est le total de la population des secteurs intégralement inclus dans un buffer de 20 km). On peut alors obtenir la réponse suivante :

- **population des secteurs ruraux ou urbains non détaillés** : 365 935 habitants sur 445 486 soit 82 % ;
- **population des secteurs urbains** : 598 523 habitants sur 629 330, soit 95 %
- **capitale** 303 503 habitants sur 303 503, soit 100 %

**Au total, donc, 1 267 961 habitants** ou 92 % de la population se concentre à moins de 20 km des routes principales, soient sur 2 % du territoire de l'État.

### ■ Vers de l'information topographique ?

Si les données de petite échelle sont donc abondantes, il est vrai que les données topographiques précises sont encore peu nombreuses. Pour autant, plusieurs pistes sont suivies par l'IBGE

et les agences cartographiques brésiliennes.

La première est la numérisation (*raster*) de l'ensemble des feuilles topographiques au 1:100 000<sup>e</sup> ou 1:250 000<sup>e</sup> qui existent déjà. Ceci représente un volume d'information important (notamment car il s'agit de la seule source fiable sur la topographie), mais souvent daté (beaucoup de cartes ont été établies il y a plus de vingt ans et n'ont pas été révisées). La seconde est plus originale. Il s'agit de la production de cartes révisées éditées directement en format numérique, malheureusement non géoréférencé (produits sur cédérom en format pdf). Ces cartes offrent parfois un grand niveau de détail, comme le montre l'extrait de carte de secteur de recensement de Brasília au 1:2 000<sup>e</sup> de la figure 2. La troisième, enfin, consiste en une vectorisation systématique des cartes topographiques existantes. Le processus, long et coûteux, est aujourd'hui bien amorcé et les produits géoréférencés devraient être disponibles à la vente d'ici peu.

Il faut par ailleurs noter que de l'information de précision géoréférencée est très souvent disponible dans toutes les agences gouvernementales. Celles-ci possèdent le plus souvent une cellule de cartographie qui numérise les informations existantes ou, le cas échéant, les produit à partir de données satellitales.

### D'autres sources, d'autres images du Brésil

Si donc les organismes publics qui en sont chargés mettent à la disposition des clients de nombreuses sources

d'information géoréférencée, celles-ci ne représentent pas toute la richesse de l'information disponible. Il en existe d'autres, produites à des fins de gestion ou de régulation, mais dont on peut, en les traitant convenablement, tirer des informations spatiales très éclairantes. Même si elles n'ont pas été conçues à l'usage des géographes, ceux-ci peuvent néanmoins en faire leur miel, en les rattachant aux mailles déjà décrites, les enrichissant ainsi des données associées qui leur manquent, ou à d'autres, elles aussi plus nouvelles. Il en résulte des images qui complètent souvent, mais

changent parfois, nos idées sur les structures et les dynamiques du territoire brésilien.

### ■ Réseaux aériens

Les transports aériens trouvent au Brésil des conditions particulièrement favorables. D'un côté la taille du pays et la structure du peuplement en "archipel" créent une demande de déplacements à longue distance, de celles que l'avion franchit le plus commodément que tout autre moyen de transport. D'un autre côté, la nécessité de gérer et

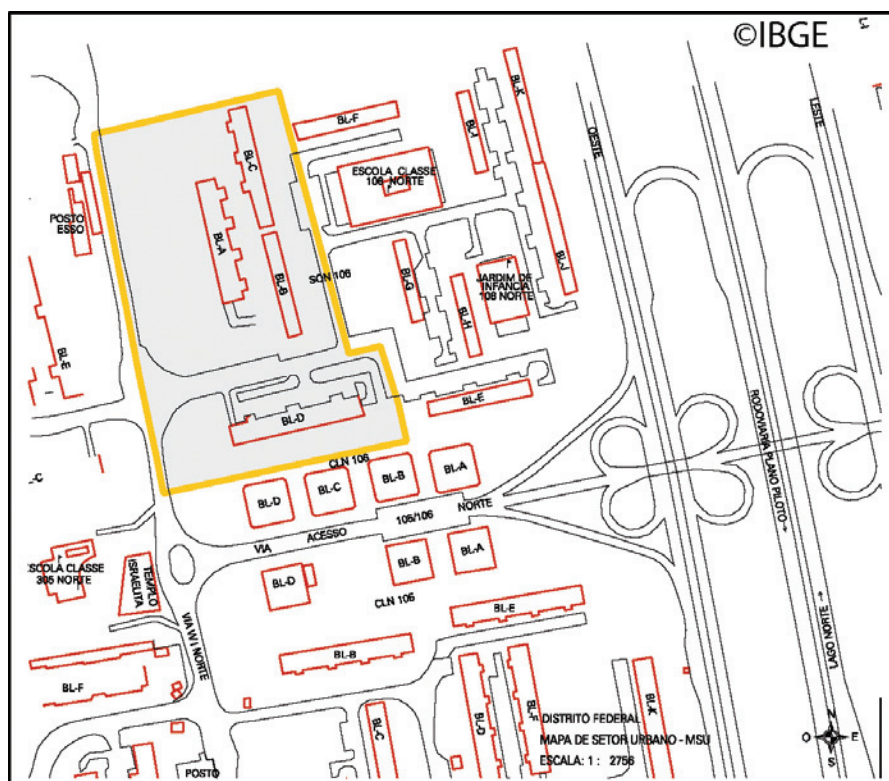
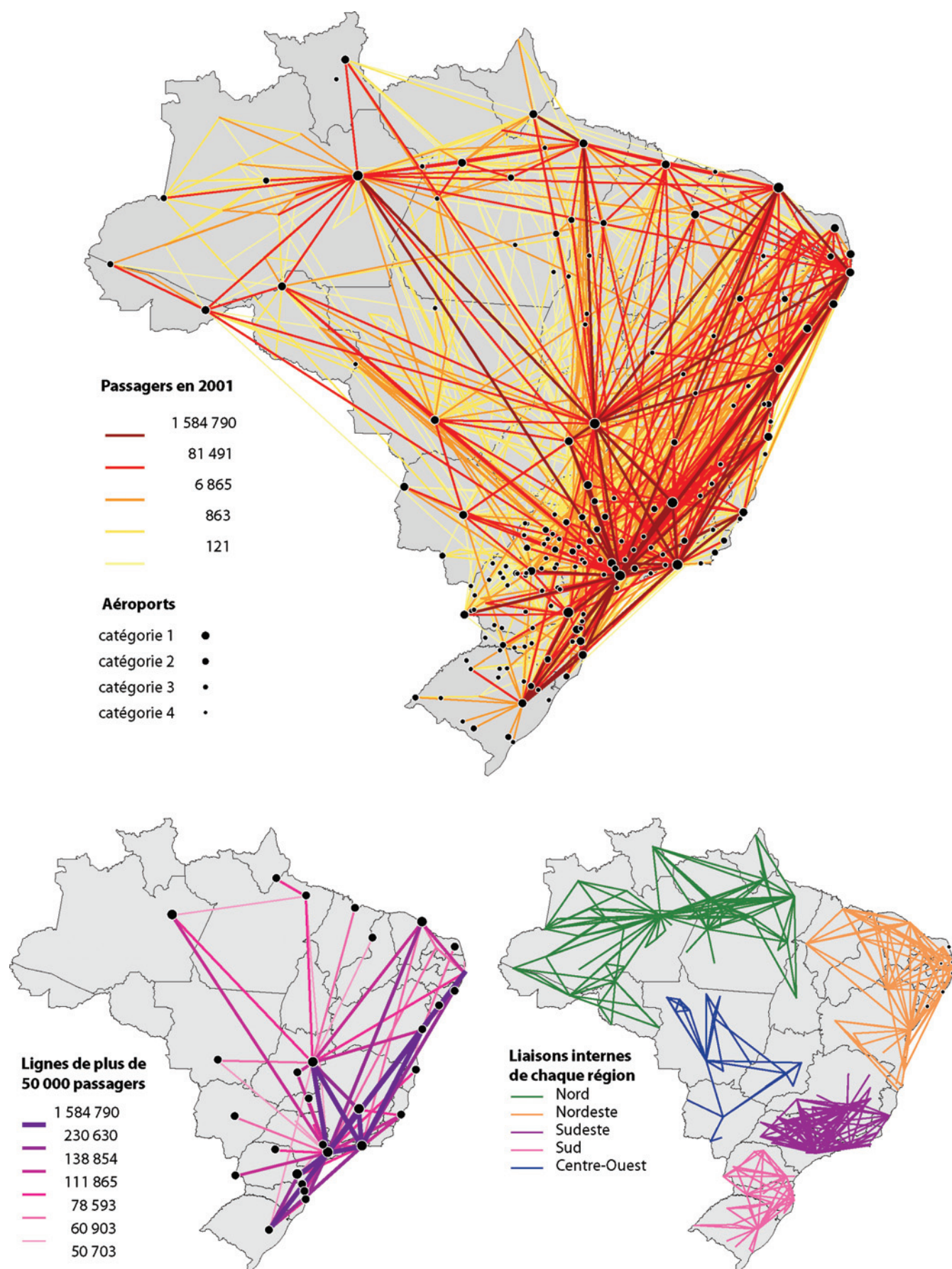


Figure 2 : Extrait de carte de secteur de recensement de Brasília au 1:2 000<sup>e</sup>

**Le dessin des mailles administratives peut à lui seul présenter une vision du territoire, et l'analyser permet d'en déduire certaines qualités. Ces mailles sont aussi un excellent moyen d'investigation du territoire, à partir du moment où elles sont suffisamment fines et où l'on possède un nombre de données suffisantes qui s'y rattachent. Jusqu'à une date récente, la connaissance la plus fine du Brésil se cadrait dans sa maille municipale, dense dans les Etats du sud mais très lâche en Amazonie. La taille moyenne des cellules (le Brésil compte environ 5 600 communes pour 8,5 millions de kilomètres carrés) rendait difficile une approche véritablement fine du territoire, en particulier dans les zones urbaines.**



Figure 3 : carte des réseaux régionaux



d'administrer un espace très différencié suscite un important trafic d'affaires, de fonctionnaires en déplacement et de politiciens en route vers les capitales. Et la concentration des revenus assure qu'une partie au moins des 170 millions d'habitants du pays sont une clientèle solvable pour des déplacements privés ou de loisirs.

Un annuaire, régulièrement publié par la DAC, la Direction de l'Aviation Civile brésilienne<sup>7</sup>, permet d'accéder à des données récentes et détaillées, dont l'exploitation permet de tracer des cartes de flux. Le dessin ne reflète pas exactement la réalité puisque les villes y sont reliées "à vol d'oiseau" et non pas par les couloirs aériens qui existent dans certaines régions du pays (mais pas dans d'autres, où les pilotes ont la liberté de couper au plus court. Ces cartes dessinent de façon on ne peut plus claire des réseaux hiérarchisés, dont on n'est pas très surpris de constater qu'ils reflètent bien la structure centralisée du pays, autour de ses principaux pôles économiques et politico-administratifs, mais aussi une certaine capillarité des échanges locaux et régionaux.

La taille des régions brésiliennes est en effet suffisante – plusieurs d'entre elles sont plus grandes que l'Europe entière – pour que s'y développent des flux internes. La carte de ces réseaux régionaux (figure 3, C) montre la grande densité des réseaux du Sudeste, mais révèle également, outre une maille encore serrée dans le Sud et le Nordeste, que celle de l'Amazonie est elle aussi bien structurée, reliant efficacement entre elles les villes, même moyennes, de la région. Dans cette région immense où les transports sont lents (par voie d'eau), difficiles (par la route) où interminables (s'il n'existe ni l'une ni l'autre sur le trajet souhaité et qu'il faut faire des détours infinis) l'avion est souvent la seule solution praticable.

Ces réseaux régionaux font pourtant pâle figure (et c'est pourquoi on les a mis à part) face aux flux inter-régionaux qui sont l'essentiel du trafic. Que l'on prenne en compte tous les flux (figure 3, A) ou que l'on en détache les lignes les plus fréquentées (figure 3,

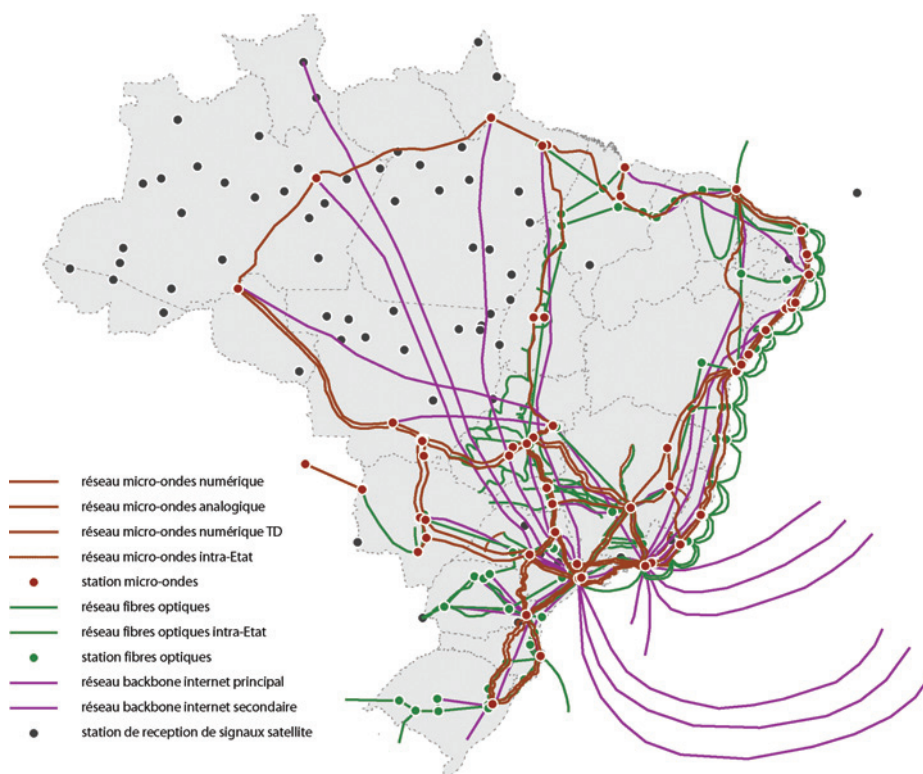
B), on ne peut qu'être frappé par l'extraordinaire dissymétrie des flux. Ceux qui accompagnent la direction du littoral, de la frontière méridionale jusqu'à Recife, notamment ceux qui relient entre elles les villes du Sudeste et du Sud, sont de loin les plus importants et apparaissent comme la "colonne vertébrale" du pays. Rien de très étonnant puisque la zone littorale, au sens large, regroupe l'essentiel de la population du pays et de ses grandes villes, et donc les meilleurs marchés pour le transport aérien. Si on le prolonge par l'axe secondaire qui le littoral plus au nord puis la vallée de l'Amazone, il rassemble une bonne part des liaisons aériennes du pays.

Mais si l'organisation spatiale du trafic aérien reflète la logique d'ensemble de l'organisation territoriale brésilienne, dominée par les pôles urbains du Centre-Sud (et de ce fait la renforce), il permet aussi, par sa capacité à s'affranchir partiellement des distances et des obstacles, de faire émerger d'autres axes. C'est notamment le cas des faisceaux de lignes, tous au départ de São Paulo, vers Fortaleza, Belém (via Brasília), Manaus, le Rondônia (via Cuiabá), et l'Acre. Cet éventail de lignes

structurant les échanges du Nord du pays vers la vraie capitale économique du pays a sans nul doute été un des moyens majeurs de la "capture" de tout le Centre-Ouest et de l'Amazonie, au moins de l'Amazonie occidentale, dans la zone d'attraction pauliste. Preuve en est que le transport du courrier, obéissant encore pour l'essentiel à une logique de service public et de desserte du territoire national, fait apparaître un maillage très régulier, reliant toutes les régions entre elles. Le fret aérien en revanche, obéissant à une logique purement économique, privilégie plus encore que les flux de passagers les lignes de force du territoire, l'axe parallèle au littoral et les faisceaux issus de São Paulo.

## ■ Réseaux d'information

Cette même structure se dessine également dans un tout autre domaine, sur une carte construite à partir d'une autre source. Pour élaborer son programme pluriannuel 2000-2003, le gouvernement brésilien avait chargé un consortium privé (en complément de sa tâche principale qui consistait à recenser les investissements nécessaires au développement du pays), de ■■■





- créer une base de données géoréférencées contenant les informations utiles aux gestionnaires publics et aux investisseurs privés désireux de participer au programme.

Cette base, disponible sur un cédérom qui associe les données et un logiciel d'exploitation, répète en partie des informations disponibles par ailleurs, mais en contient également d'autres plus inhabituelles. C'est par exemple le cas des nouveaux réseaux d'information à longue distance, réseaux de transmissions de données par micro-ondes, analogiques et numériques, réseaux de fibres optiques, réseaux internet à haut débit, réseaux de transmission par satellite.

Ces réseaux ont un rôle de plus en plus important dans la structuration du territoire de tous les pays du monde, car ils sont vitaux pour le fonctionnement de l'économie, et deviennent un facteur de localisation aussi important que les transports physiques et l'énergie, et au moins aussi nécessaire que l'accès à un bassin de main d'œuvre qualifiée. C'est particulièrement vrai au Brésil, où les distances sont énormes et les disparités économiques et sociales si fortes que l'implantation d'une filiale dans les régions périphériques équivaut souvent à une implantation dans un pays voisin, avec ses inconvénients (distance) et ses avantages (bas salaires), mais dans tous les cas la nécessité de garder un contact facile et rapide.

Les moyens mis en œuvre ont évidemment des configurations légèrement différentes, pour des raisons liées au fonctionnement technique de chacun des systèmes, qui n'ont pas les mêmes contraintes et ont été implantés à des périodes différentes : c'est notamment le cas de la diffusion par satellite, très présente en Amazonie, car elle a l'avantage de couvrir de vastes surfaces avec un minimum d'implantations au sol.

Mais même dans ce domaine, où l'on a dit, un peu vite, que les distances et la notion même de réseaux étaient abolies, on constate qu'il existe tout de même des axes forts, favorables aux investissements et des vides où une implantation serait problématique. Ici

encore, c'est le littoral qui reste l'axe majeur du pays, tous les réseaux y sont présents et, curieusement le dessin des fibres optiques, support le plus moderne qui soit, reproduit celui du plus ancien des moyens de transport brésiliens, le cabotage côtier, qui remonte au temps des caravelles. Juste après cet axe principal viennent les réseaux internes à la région centrale, d'autant plus fort que les axes nationaux sont doublés par des réseaux internes aux États, et financés par ceux-ci. Et enfin on retrouve ici la figure observée dans les flux aériens – mais plus forte encore – l'éventail de lignes se déployant à partir de São Paulo pour couvrir le territoire national vers le nord-ouest. La principale, que l'on retrouve également dans le réseau électrique, est l'axe nord-sud qui suit la route Brasília - Belém, axe qui "boucle" le triangle formé par le littoral en coupant droit vers l'Amazonie orientale, et enserme le principal espace "vide" (en tout cas mal desservi), le Nordeste intérieur. Plus à l'ouest d'autres lignes assurent les liaisons avec l'Amazonie occidentale, soit en suivant les routes construites dans les années 1970, vers Cuiabá et Porto Velho, soit en s'en affranchissant et en allant droit à Manaus et Boa Vista, tout au nord du pays.

### ■ De l'information à la synthèse...

Au total, qui souhaite s'intéresser aux structures et aux dynamiques du territoire brésilien dispose aujourd'hui d'informations abondantes, diversifiées, accessibles et à bas prix, au point que la situation du chercheur y est parfois meilleure, dans ce pays émergent, que dans certains pays développés, en France notamment. C'est une chance qu'il serait dommage de ne pas saisir, mais que l'on ne s'illusionne pas : ce n'est là que matière première, indispensable et précieuse mais dont l'interprétation reste à faire.

Eldorado peut-être, mais pour tirer de la poudre d'or et des pierres butes qui gisent dans les alluvions – en l'occurrence les bases de données et les sites internet – les bijoux ciselés que nous voulons livrer à nos "clients" requiert un travail – d'orfèvre – que ces richesses méritent. ●

- (1) Géographes au CNRS, chercheurs invités au Centre du Développement Durable de l'Université de Brasília
- (2) Institut brésilien de géographie et de statistiques, une sorte de fusion de notre IGN et de notre INSEE.
- (3) Cf F.M. Le Tourneau, 2002, "La représentation du peuplement en pays pionnier : l'Amazonie brésilienne", in *L'espace géographique*, n°2-2002, pp. 145-152.
- (4) C.f. Pierre Gondard, Hervé Théry, Sébastien Velut, "Mailles fines pour un grand espace. La carte des divisions statistico-administratives des pays d'Amérique du Sud" in *Cahiers des Amériques Latines*, n°24, 1997, pp 5-32.
- (5) Une commune, celle d'Altamira, couvre à elle seule 169 000 km<sup>2</sup>.
- (6) Les mailles géoréférencées sont vendues en deux cédéroms et les données statistiques du recensement en cinq cédéroms (un par grande région géographique). Le coût d'un cédérom est de 50 Réals brésiliens, soit moins de 15 euros actuellement.
- (7) Le format shape; développé par la société ESRI, correspond aux logiciels ArcView ou la suite ArcGis, mais devient de plus en plus un standard. Le format agf correspond au logiciel Atlas Gis, le format e00 est le format d'export de ArcView.

## ABSTRACT

*Despite being thought of as a country in a difficult economic situation, Brazil goes on some topics farther in modernity than the other industrialized countries. Thus, most of the administration publishes free or low-cost geographical data or statistics, that permits a detailed study of the Brazilian territory and dynamics. The present work introduces of few examples of the available data and the wideness of themes that are possible to study. Alongside its will to contribute to the discovery of what can be called an "El Dorado" of geostatistical data, this work also attempts to call attention on the high cost and low diffusion of French public geodata.*

# Aéroport de Roissy Charles de Gaulle Surveillance du trafic au sol par multilatération mode S

Figure 1 : Aéroport CDG /  
vue du terminal 2



■ Bertrand BOULLARD, Ingénieur Géomètre, Gérant de la société TopoSat®

*Le développement accéléré des transports aériens sur ces dernières années a été largement présenté dans la presse. Ce phénomène pose de nombreux problèmes dont certains sont débattus publiquement (nécessité ou non d'un troisième aéroport...), et d'autres – plus techniques – sont résolus par l'aménagement des plate-formes et outils existants. L'un de ceux ci est le positionnement plus précis des aéronefs en approche d'aéroport ou en évolution au sol. La surveillance du trafic par multilatération mode S est déjà opérationnelle sur certains aéroports dans le monde et le sera prochainement à Roissy CDG. Nous en décrivons ici les principes, ainsi que les opérations topographiques que son installation a nécessitées.*

## Concept de multilatération par transpondeur

Le principe de fonctionnement sera facilement compris des topographes, puisqu'il repose sur les mesures de distance simultanées, entre un mobile et plusieurs points connus. On retrouve ici les techniques de tri-latération ou celles plus récentes des systèmes GPS ou GALILEO.

La multilatération mode S est basée sur le traitement de la dif-

férence entre les temps de réception des réponses aux interrogations (TDOA, "Time Difference Of Arrival"). Ce type de système mesure la différence de temps entre les réceptions d'un signal par des stations dont les positions sont connues. Le signal utilisé dans le cas présent est celui émis par le transpondeur de chaque avion (voir encadré), signal détecté par le système, horodaté, puis envoyé à la station centrale de traitement..



Figure 2 - Aéroport CDG / avion au décollage

Le système MDS (Multilateration / Multistatic Dependent Surveillance) mis en place à Roissy est le premier système

■ ■ ■



## Le transpondeur

Ces lignes sont extraites du site Web de Monsieur Christophe MAYEN consacré au contrôle aérien, et reproduites ici avec son aimable autorisation. Nous invitons nos lecteurs qui souhaiteraient de plus amples informations sur ce sujet à consulter ce site à l'adresse : <http://www.chez.com/controleaerien/>

### ■ Présentation

Le transpondeur est un système de bord permettant aux organismes de contrôle de la circulation aérienne équipés d'un radar secondaire SSR (Secondary Surveillance Radar), parfois associé à un radar primaire classique, de connaître l'identification, la position, l'altitude, l'évolution et la vitesse des aéronefs.



Figure 1 - Transpondeur

### ■ Fonctionnement

Le radar secondaire SSR associé au radar primaire (UHF, 1300 MHz à 2900 MHz) émet sur une fréquence ultra haute UHF (1030 MHz) un signal d'interrogation sous la forme d'une impulsion codée à laquelle le transpondeur embarqué répond par une autre impulsion dans la même gamme UHF (1090 MHz). La réponse décodée apparaît sur l'écran radar au sol sous la forme d'un écho comprenant les 4 chiffres affichés par le pilote à la demande du contrôleur (4 séries de 8 chiffres allant de 0 à 7 soit 4096 codes possibles). Dans le cas d'un vol IFR (sous plan de vol déposé au préalable), les 4 chiffres du code sont remplacés sur l'écran radar par l'indicatif de l'avion grâce à un ordinateur. Lorsque l'avion est équipé d'un transpondeur mode C (avec alticodeur), une information d'altitude-pression apparaît également. Une fonction IDENT permet de faire apparaître en surbrillance sur l'écran radar, et sur demande du contrôleur, l'écho associé à l'aéronef en cas de doute sur l'identification de ce dernier.



Figure 2 - Etiquette

Ce que voit le contrôleur aérien sur son scope radar : 7040 représente le code transpondeur affiché par le pilote à la demande du contrôle aérien. 20 représente le niveau de vol de l'avion ou FL pour Flight Level (également appelé altitude-pression correspondant à un altimètre calé à 1013.25 hPa en centaine de pieds (ft) soit ici 2000 ft). Le symbole suivant indique l'évolution de l'avion (flèche vers le haut : en montée, trait horizontal : stable, flèche vers le bas : en descente). Le dernier chiffre indique la vitesse sol de l'avion en dizaine de noeuds (kt) soit ici 120 kt. La position de l'avion est représentée par le cercle le plus large. Les autres, la comète, indiquent une notion de vitesse et de trajectoire.

Le contrôleur peut, par superposition de carte sur son scope, donner au pilote toutes les informations de position par rapport à une balise ou un terrain, par exemple. Il faut également savoir que les avions de ligne sont équipés de sys-

tème TCAS (Traffic alert Collision Avoidance System) : Les transpondeurs s'interrogent entre eux et donnent des alertes ou des résolutions au pilote équipé de ce système pour éviter un trafic inconnu, à condition que ce dernier ait branché son transpondeur en mode C.

Figure 3 - Avions en approche sur Roissy CDG

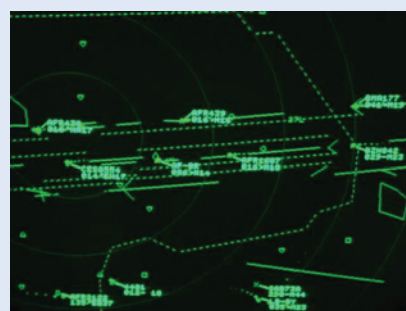


Photo d'un écran radar d'approche de l'aéroport Roissy - Charles De Gaulle (LFPG) montrant les étiquettes générées par le radar grâce au transpondeur embarqué à bord des avions. Sur cette image, on voit les cercles centrés sur les 4 pistes de Roissy espacés de 3 milles nautiques (NM). Le nord est en haut et les pistes en service sont face à l'ouest (les avions se déplacent vers la gauche). Sur la gauche, on voit 2 avions au départ : AFR438 - Air France - (Boeing 777 pour Mexico) et CES0554 - China Eastern - (Airbus A340 pour Pékin). En finale au nord, AFR439 (Boeing 777 arrivant de Mexico) : 016 représente 1600 ft au calage altimétrique 1013.25 hPa, la flèche vers le bas montre qu'il descend, H signifie que l'appareil appartient à la catégorie de turbulence de sillage Heavy (lourd), 16 donne sa vitesse sol : 160 kt. Il est à 4 NM du seuil de piste. Derrière, on voit que le vol BMA177 - British Midland - arrive à l'altitude-pression de 4100 ft au point d'interception du glide (représenté par la flèche) à la vitesse sol de 190 kt. Le M signifie que c'est un appareil de catégorie de turbulence de sillage Medium (moyen) : Il lui faut au minimum un espacement de 5 NM derrière le Heavy. En bas à gauche, on voit un code 4401 qui est un vol VFR à l'altitude-pression 1200 ft, stable, avec une vitesse sol de 100 kt et qui approche du point Echo 1 du transit du Bourget (représenté par le triangle pointe en haut).

Modes de transpondeur :

L'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) a adopté différents modes de transpondeur :

- Mode A : Identification de l'aéronef.
- Mode C : Identification de l'aéronef et report d'altitude grâce à un alticodeur embarqué avec une précision de  $\pm 50$  ft.
- Mode S : Compatible avec les modes A et C et répondant aux futures nécessités d'automatisation et d'amélioration des radars de contrôle de la circulation aérienne.

Codes particuliers :

- 7000 : Vol VFR avec mode C obligatoire (sans instruction donnée par le contrôle aérien).
- 7500 : Intervention illicite (détournement).
- 7600 : Panne radio.
- 7700 : Détresse.

- commercialisé en tant que produit qui applique cette technique au positionnement des avions. Il est développé par la société américaine Sensis Corporation ([www.sensis.com](http://www.sensis.com)). Il est déjà opérationnel sur plusieurs aéroports aux Etats Unis. Il l'est également en Europe à Heathrow depuis novembre 2002 et en cours d'installation à Amsterdam, Genève, Vienne, et Zurich.

## Interventions topographiques

La mise ne place de ce système nécessite deux opérations topographiques de nature différente, mais toutes deux effectuées par GPS :

- Relevé de la position des antennes.
- Tests de précision du système.

Elles requièrent une bonne pratique des calculs en coordonnées géographiques ainsi que celle des travaux sur aéroports, caractérisés par de fortes contraintes de sécurité.

## ■ Station de référence

Pour ces travaux, il a fallu installer une station GPS de référence. Selon les zones sur lesquelles nous avions à intervenir, nous l'avons placée sur un point connu utilisé habituellement par les services topographiques de ADP, et situé au sommet d'un des bâtiments techniques, ou sur des points du réseau d'appui de l'aéroport déterminé en coordonnées RGF93 par le Service de l'Information Aéronautique.

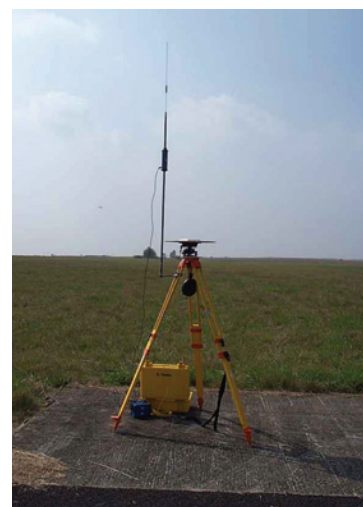


Figure 3 - Référence GPS en station sur un point du réseau d'appui

La mise en oeuvre été grandement facilitée par l'accueil de Monsieur GADY, responsable du service topographique de l'aéroport Roissy CDG, et de ses collaborateurs qui nous ont fournis tous les éléments et informations nécessaires. Je tiens à le remercier ainsi que toute son équipe pour cette aide précieuse.

## ■ Relevé des antennes

C'est un travail simple de relevé de points isolés par GPS bi-fréquence temps réel éventuellement complété au théodolite pour les points inaccessibles. Les coordonnées doivent être fournies en WGS84 à une précision de trente centimètres. La seule difficulté est celle du temps d'accès, certains points étant situés à coté des pistes (au sommet d'un glide par exemple). La mission est conduite avec les agents du service de ADP (Aéroport De Paris) en charge de ce dossier, qui nous ont accompagnés sur les pistes à bord de véhicules autorisés à y circuler.



Figure 4 - Relevé d'une antenne

## Tests de précision du système

La position des avions doit être déterminée par le système MDS avec une précision meilleure que 7.5 m. Le respect de cette obligation est contrôlé lors de deux tests effectués en comparant les positions GPS et les positions calculées par le dit système. Le premier test est informel et sert à Sensis Corporation pour affiner ses paramètres, le second est contractuel.

## ■ Equipement utilisé

Nous avons travaillé en GPS bi-fréquence temps réel, utilisant en base un récepteur Trimble 4700 couplé à une radio Pacific Crest et en mobile un Trimble 5700 avec radio interne. L'antenne GPS a été installée sur un support recueillant également une antenne de transpondeur et montée en hauteur sur un véhicule.



Figure 5 - Montage du transpondeur et de l'antenne GPS



Figure 6 - Véhicules de test

Le montage a été amélioré au fil des opérations, pour obtenir une meilleure rigidité du mat.

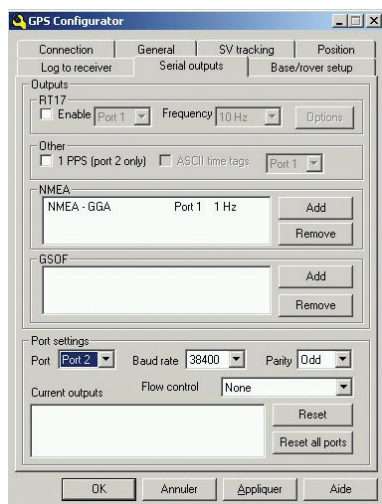
## ■ Collecte des données

Les carnets de terrain des récepteurs GPS utilisés en topographie, toutes marques confondues, permettent de nommer des points ou des lignes, voire d'effectuer moult calculs complémentaires. Les éléments relevés sont marqués dans le temps, mais le plus souvent cet horodatage (indispensable ici pour les comparaisons) n'est accessible qu'au travers du logiciel de traitement associé, nécessitant donc un traitement au bureau (récupération des données puis mise au format). Notre client souhaitant obtenir rapidement cette information, nous avons préféré opter pour un enregistrement direct des points collectés sur PC, en récupérant une chaîne NMEA. C'est un message ASCII au format standardisé par la "National Marine Electronics Association" ([www.nmea.org](http://www.nmea.org)). Nous avons utilisé le message type GGA :

\$GPGGA,100709.00,4859.96420865,N,00232.77887496,E,4,6,1.3,98.384,M,47.279,M,1.0,0029\*4A

100709.00	heure de la mesure, exprimée en seconde GPS (0 au dimanche à 0 H)
4859.96420865	latitude (48 degrés et 59.96420865 minutes décimales)
N	latitude Nord
00232.77887496	longitude (2 degrés et 32.77887496 minutes décimales)
E	longitude Est
4	Type de correction DGPS (4 pour solution à ambiguïté fixée en mode RTK)
6	Nombre de satellites utilisés
1.3	PDOP au moment de la mesure
98.384	altitude MSL (Mean Sea Level)
M	unité d'altitude (mètre)
47.279	Ondulation du géoïde (H WGS84 - H MSL)
M	unité d'ondulation (mètre)
1.0	age de la dernière correction GPS (en secondes)
0029*4A	terme de contrôle de validité de chaîne





**Figure 7 - Paramétrage d'une sortie NMEA sur un récepteur GPS Trimble**

## ■ Relevés

Comme le montre la photo en page précédente, le travail est fait avec deux véhicules, l'un équipé de l'ensemble de mesure et second assurant la sécurité. En effet, il nous a fallu tester la validité du système sur l'ensemble des zones où circulent les avions (pistes, taxiways, parkings, etc.). La circulation n'y est pas aisée, les nombreux avions - évidemment prioritaires - évoluant (sous le contrôle de la tour) dans toutes les directions et prenant sur les taxiways et bretelles de liaisons des chemins variés.



**Figure 8 - Test sur taxiway**



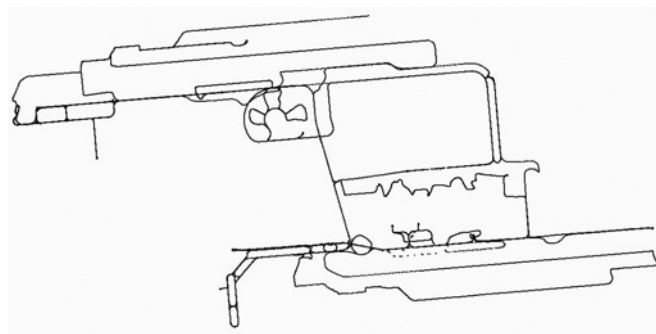
**Figure 9 - Test sur parking**

La récupération sur le PC se fait en utilisant le logiciel "Hyperterminal", installé en standard avec Windows, en mode capture.

Sur les récepteurs Trimble, les sorties de chaînes NMEA peuvent être aisément paramétrées au moyen du logiciel "GPS Configurator" livré en standard avec le produit.

Une liaison radio avec la tour de contrôle nous permettait d'obtenir les autorisations d'accès aux pistes en service mais toujours sur des périodes de temps très courtes, à des heures convenues à l'avance, et le plus souvent en fragmentant la remontée de la piste en plusieurs étapes entrecoupées de longs moments d'attente pour bénéficier de rares périodes d'accalmie dans le trafic.

## ■ Aperçu du résultat



**Figure 10 - Trajet du véhicule**

La figure 10 montre un extrait du trajet effectué. On reconnaît (presque au centre) les abords du terminal 1 à sa forme ronde caractéristique. Les enregistrements ont été effectués à la cadence d'un par seconde, ce qui donne un intervalle variant selon les zones de 5 à 20 mètres entre chaque point.

Grâce au choix de la collecte des données directement sur PC, et utilisant pour cela le portable de l'ingénieur chargé de la mise en place du projet, ce dernier disposait dans les minutes suivant la fin du test des éléments d'analyse. Notre client a particulièrement apprécié, outre la qualité des données, la rapidité de transmission des résultats. ●

## Contact :

Bertrand.Boullard@toposat.fr - [www.toposat.fr](http://www.toposat.fr)

## ABSTRACT

*The accelerated development of air transport over the past few years has received wide media coverage. This phenomenon raises a number of issues, some of which are the subject of public debate (necessity of a third airport, etc.) and others – more technical – which are resolved by the adaptation of existing tools and platforms. These technical issues include the more accurate positioning of aircraft during approach phases and surface movement. Traffic control using a Mode S Multilateration system is already operational at some of the world's airports, and will soon be introduced at Roissy Charles de Gaulle. This technique uses interaction with an aircraft or airport vehicle's transponder to determine position and identity. This article describes the principle of the Mode S Multilateration system and the topographical operations required for its setup, including precise surveys of response signal reception antennae and system accuracy testing.*



## L'imagerie Géographique 3D par laser héliporté, le système FLI-MAP®

### Application à un levé topographique de voies ferrées pour RFF-SNCF

■ Richard DAMIANO responsable commercial - Thierry BORDAS chef de projet  
Sylvain LACOMBE ingénieur travaux

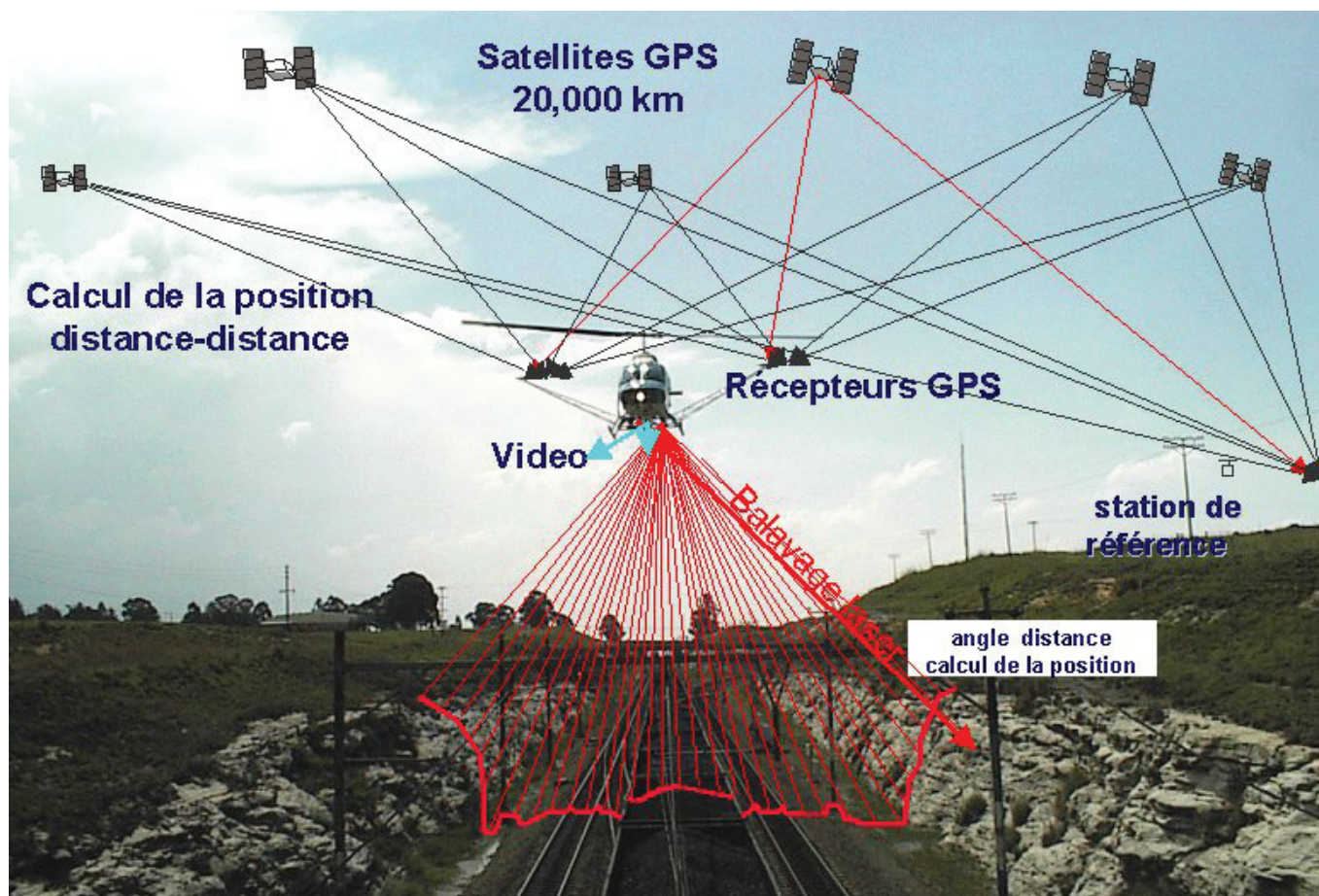
*Dans le cadre de l'étude de l'électrification de la ligne Nantes-Les Sables d'Olonne, R.F.F., maître d'ouvrage, et la SNCF, maître d'œuvre, ont confié à GEOID le levé topographique des deux voies existantes. Ces travaux ont été entièrement réalisés en 2001 à l'aide du système FLI-MAP®. L'article ci-dessous rappelle succinctement les caractéristiques du système et décrit le déroulement de l'opération.*

*Dans un premier temps, cinq points géodésiques espacés d'environ 20 km ont été implantés et rattachés au RGF. Pendant le vol de l'hélicoptère, un récepteur GPS centimétrique positionné sur chacun de ces points a enregistré les corrections des données satellites pour permettre le post-calcul de sa trajectoire. Les matériels de scanning laser et de vidéo numérique étaient embarqués à bord d'un Ecureuil 500. En 3 heures, l'hélicoptère a survolé, à 50 m d'altitude, hors agglomération, l'ensemble des 110 km du parcours et relevé 15 000 points/s sur une largeur au sol de 50 m. Après validation des données sur le terrain dans la nuit-même, nous avons procédé au bureau à la vectorisation d'une bande de 20 m de large au moyen du logiciel FLIP7. Sans avoir eu besoin de mettre le pied dans l'emprise ferroviaire, nous avons ainsi pu remettre au client un jeu de cartes topographiques détaillées au 1/1000, des profils en travers sur 20 m de large aux endroits indiqués par la SNCF (plans au 1/200), les fichiers AUTOCAD correspondants, les images vidéo prises depuis l'hélicoptère ainsi que le logiciel FLIP7 permettant l'exploitation des données laser et vidéo géoréférencées.*

#### ■ MOTS CLES

ALS, LIDAR, LASER  
aéroporté, MNT,  
MNE, Haute résolution,  
Précision





**L**es travaux d'électrification de voies ferrées nécessitent de lever au préalable toutes les installations ferroviaires et autres détails topographiques à l'intérieur d'une bande de 20 m de largeur axée sur la plateforme. La précision demandée inférieure à 8 cm requiert traditionnellement l'intervention de brigades terrain.

Les contraintes sont nombreuses :

- danger d'intervention sur le domaine ferroviaire
- nécessité d'une protection humaine assurée par la SNCF
- coût de cette protection
- délais de réalisation

Le système FLI-MAP® offre une alternative déjà expérimentée avec succès sur des milliers de kilomètres de voies ferrées levées à l'étranger.

En Novembre 2001, pour la première fois en France, nous avons mis en œuvre cette technique pour réaliser le levé laser hélicoptère de la voie ferrée Nantes – Les Sables d'Olonne d'une longueur de 110 km.

Cette opération a été menée à l'initiative

de Mr BARROT, Chef de projet SNCF de la Direction de Nantes, en collaboration avec Mr RISCH et DANJON de la Division de Topographie – Direction de l'Ingénierie à Paris.

Cette expérience s'est montrée particulièrement concluante en permettant notamment :

- de ne pas mettre le pied dans l'emprise ferroviaire
- de ne pas perturber la circulation ferroviaire
- de ne pas mobiliser de personnel de la SNCF pour la protection (économie de 1 700 h de personnel)
- de limiter la durée d'acquisition des données sur le terrain (3 heures)
- de réduire les délais de restitution des documents (3 mois)
- de diminuer le coût global

## Déroulement des opérations terrain

### ■ Détermination des stations de base

Le calcul de la trajectoire de l'hélicoptère nécessite la mise en place de sta-

tions de base au sol qui enregistrent les données GPS.

Nous avons positionné 5 stations le long du parcours en dehors de l'emprise ferroviaire et à proximité de repères de nivellement.

Le réseau constitué par ces 5 stations et 4 repères du RGF a été déterminé au préalable à l'aide :

- de mesures d'observations GPS bi fréquence réalisées entre ces 9 points
- de mesures de nivellement direct opérées à partir des repères de nivellement situés à proximité

Aujourd'hui, la densité des stations permanentes nous permet souvent en France d'exploiter les observations des stations de base acquises pendant le vol de l'hélicoptère pour déterminer leurs coordonnées. Le calcul s'effectue alors sur le terrain lors de la phase de validation des données laser.

### ■ Acquisitions sur le terrain

Le personnel terrain comprenait :

- 1 pilote de l'hélicoptère

- 1 chef de mission
- 1 navigateur qui accompagnait le pilote dans l'hélicoptère
- 2 techniciens pour valider les données
- 4 opérateurs de station de référence

L'hélicoptère a été loué sur place à Nantes. Le montage et le démontage de l'équipement ont nécessité une demi-journée chacun. Nous avons numérisé les axes de vols pour les introduire dans le système de navigation de l'hélicoptère.

En début de journée, le Chef de Mission et les 4 opérateurs ont chacun mis en place une station de base pour enregistrer les observations GPS toutes les 0.5 s.

L'hélicoptère a ensuite survolé la ligne existante à 60 m de hauteur. Le vol de l'hélicoptère a duré 3 heures.

L'acquisition se fait à l'aide de deux lasers situés sur la plate-forme du système. Chacun enregistre des points lasers à une fréquence de 15 000 points par seconde. Le balayage, réalisé à l'aide d'un miroir rotatif, couvre un corridor égal à la hauteur de vol.

Les deux lasers sont orientés de 7° vers l'avant et l'arrière de l'appareil afin de limiter les effets d'ombrage, d'augmenter la fréquence des points sous la végétation et surtout sur les éléments verticaux tels que les poteaux électriques et les caténaires.

Etant donné la rapidité d'acquisition des données, nous avons pris soin de ne voler que lorsque 6 satellites minimum de la constellation GPS étaient présents sur la zone à couvrir afin de garantir la qualité des observations.

### ■ Calculs et validation des données

Toutes les données acquises dans la journée sont calculées durant la nuit même par les 2 personnes dédiées à cette tâche. Le planning de la journée suivante dépend du verdict délivré au cours de la nuit.

La détermination de la trajectoire de l'hélicoptère est calculée grâce aux observations GPS des stations de référence et des deux récepteurs bi fréquence embarqués dans l'appareil :

- Les dix lignes de base cinématiques sont calculées et ramenées au centre optique de chaque laser.
- La trajectoire ainsi obtenue est lissée et densifiée à 50 points/seconde grâce aux données d'accélération et de position (200 positions/seconde) des deux centrales inertielles.

La position de chaque point laser est ensuite calculé à partir des mesures d'angles et de distance du laser et de l'attitude – roulis, tangage et orientation – de l'hélicoptère mesurée par les centrales inertielles.

La validation porte sur plusieurs aspects :

- la couverture laser : Les zones à survoler doivent être levées en totalité
- la densité des points : des filtres de traitement permettent de vérifier la densité des points laser
- la précision relative : Les chevauchements de passe sont contrôlés à travers les différents fichiers laser.

Les points laser issus de différentes passes doivent avoir les mêmes coordonnées lorsqu'ils correspondent aux mêmes détails topographiques.

- la précision absolue : Les points laser qui touchent un point connu en coordonnées sont contrôlés.

A cet effet, lors de chaque vol une station de référence connue en coordonnées est survolée, calculée et vérifiée. Lors de ce dernier contrôle la station de référence calculée n'est pas utilisée dans le calcul de la trajectoire de l'hélicoptère de manière à ne pas fausser la précision du système par une courte ligne de base.

En ce qui concerne le chantier Nantes - Les Sables d'Olonne, la démobilisation a pu intervenir le lendemain du vol après validation des données calculées dans la nuit.

### Traitement des données au bureau

Le traitement des données laser à travers le logiciel Flip7 nous a permis de livrer les documents classiques ci-dessous :

- plans topographiques au 1/1 000 selon la charte SNCF sous Autocad
  - profils en travers au 1/200 sous Autocad
- Face à la grande densité des points

## Qu'est ce que le système FLI-MAP®?

**Fast Laser Imaging Mapping Airborne Platform** (Plateforme aéroportée pour la cartographie à partir de l'acquisition rapide d'images laser)

C'est un Système d'Imagerie Géographique par laser héliporté. Il a été entièrement développé, matériel et logiciel, au sein du groupe FUGRO. Il est adaptable sur tous types d'hélicoptère, sa principale application est la cartographie, de grande précision ( $\pm 7$  cm en X, Y,  $\pm 6$  cm en Z) avec une haute résolution de 5 à 30 points /m<sup>2</sup>, de corridor.

Il est constitué des éléments suivants :

- un système de navigation DGPS, utilisant les corrections Omnistar, qui guide l'hélicoptère sur des trajets pré tracés
- deux récepteurs GPS bi fréquence qui enregistrent les données de positionnement pour le calcul de la trajectographie en post calcul
- deux centrales d'attitude qui enregistrent les mouvements de l'hélicoptère
- deux émetteurs récepteurs laser à balayage
- deux caméras vidéo numériques: une frontale, une nadirale.
- un appareil photo numérique pour les ortho photos

Les positions précises de la trajectoire de l'hélicoptère seront calculées à posteriori, avec les corrections acquises par les stations de référence. Les émissions laser sont dans une bande de fréquence sans danger pour l'homme.

**Les caractéristiques du système sont les suivantes :**

- Hauteur de vol : de 50 à 200 m
- Largeur du corridor : de 50 à 200 m
- Vitesse de vol : 60 km/h
- Distance volée par jour : de 100 à 300 km
- Points laser acquis: 15000 points/s
- Densité : de 5 à 30 points/m<sup>2</sup>
- Stations de référence : situées tous les 20 à 30 km



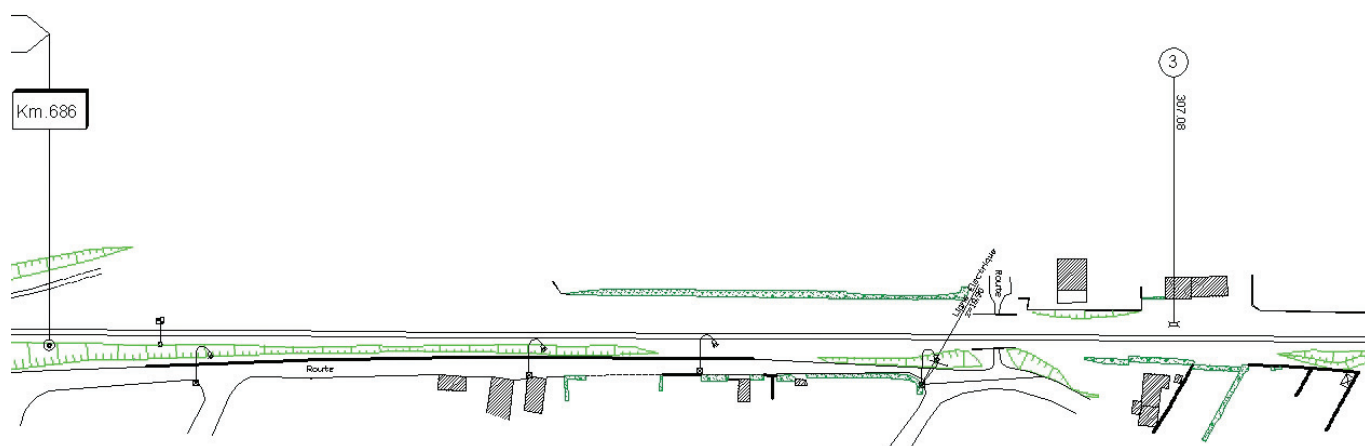


Figure 1

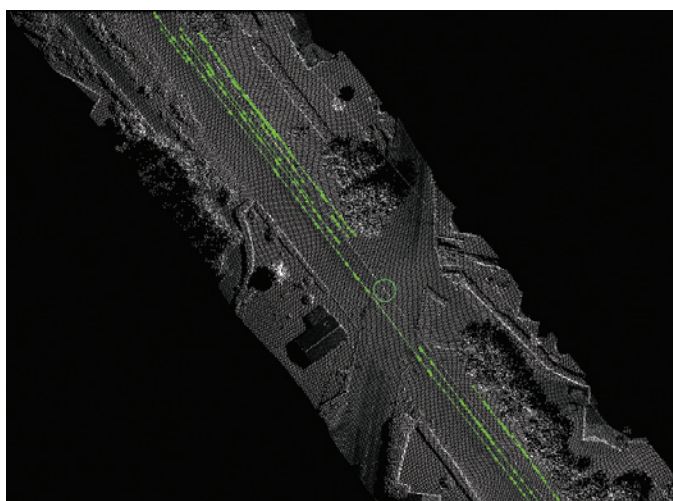


Figure 2

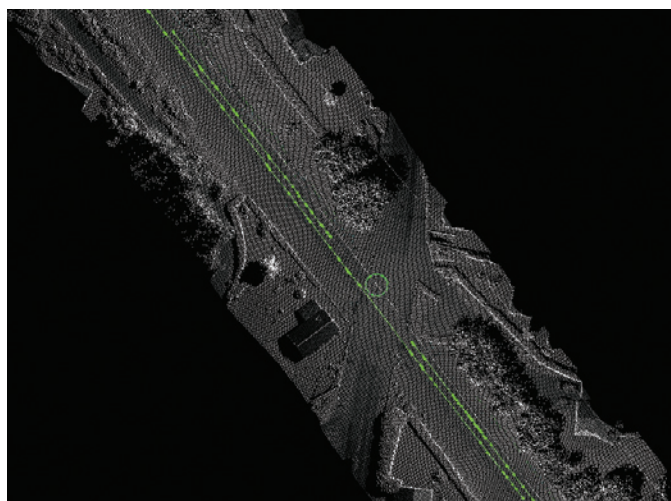


Figure 3

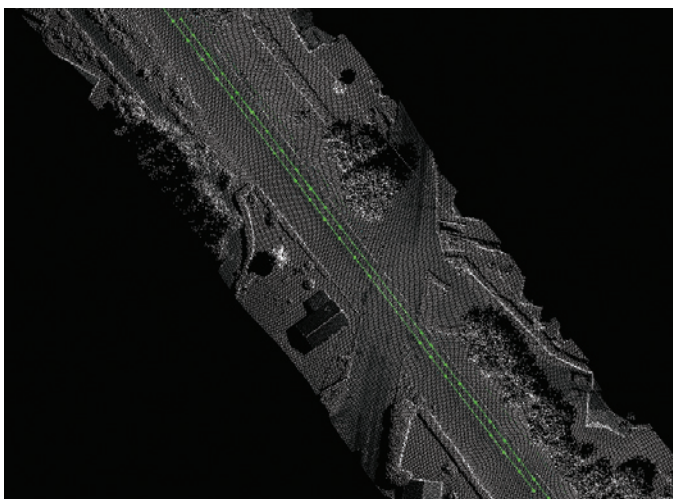


Figure 4

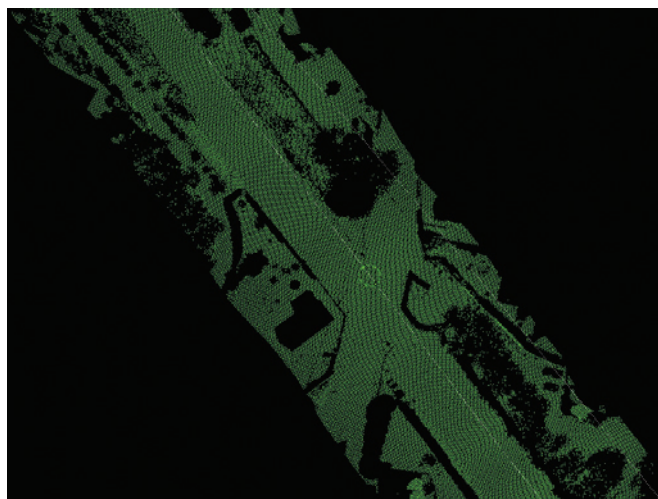


Figure 5

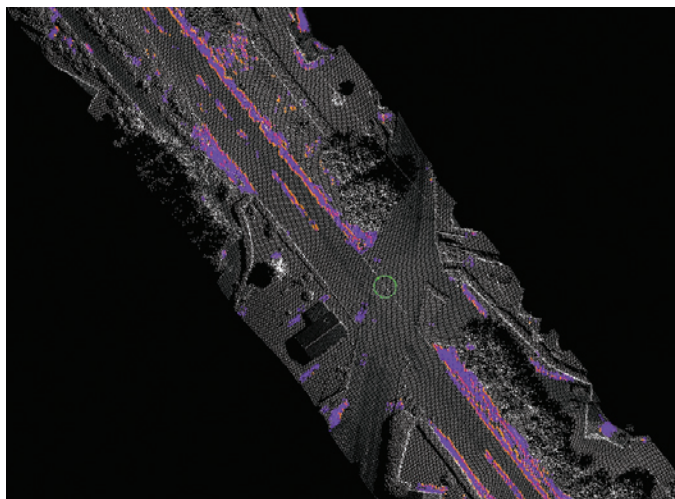


Figure 6

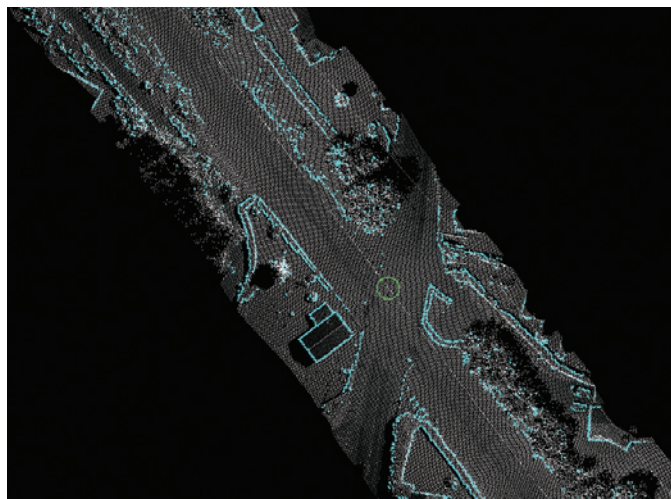


Figure 7

obtenus, de nombreux filtres sont utilisés pour faciliter l'automatisation des traitements. (figure 1)

Une première combinaison de filtres, spécifiques au projet de voie ferrée, est utilisée afin de digitaliser les rails :

- La première étape consiste à repérer les points susceptibles d'être sur les rails grâce aux informations d'intensité du signal réfléchi et d'élévation par rapport aux points adjacents, (figure 2)
- La deuxième étape filtre ces points afin de ne garder que les lignes parallèles, (figure 3)
- La troisième étape consiste à lisser la polygline issue de ces points afin de déterminer la position finale des rails. (figure 4)

Une deuxième combinaison de filtre est utilisée afin de faciliter la vectorisation des éléments topographiques :

- un filtre isole les points du MNT par étude des différences d'élévation et des surfaces planes – pour filtrer la végétation – entre points voisins. Ce filtre sert aussi par la suite au dessin des profils en long et en travers de la voie. (figure 5)
- Un filtre repère les éléments caractéristiques du terrain comme les talus par études des ruptures de pentes sur les points du MNT. (figure 6)
- Un autre filtre localise les limites des éléments bâtis, des clôtures, des haies, des boîtiers et des poteaux par comparaison des élévations. (figure 7)
- De nombreux autres filtres nous permet-

tent aussi de repérer des lignes électriques ou tout autre objet caractéristique. Nous avons aussi fourni une vidéo géo-référencée qui permet au client de visionner en détails toute la ligne. Ce produit offre une interprétation plus facile des plans et évite au client de nombreuses visites sur le terrain.

## Conclusion

Cette première mission a donc entièrement satisfait les responsables de RFF et de la SNCF. A ce jour, RFF-SNCF vient de nous confier un autre lever topographique de 100 km de ligne de chemin de fer pour un projet identique. En effet, dans la perspective de la modernisation du tronçon de ligne QUIMPER à LANDERNEAU, M. RIZK Directeur de l'opé-







ration (RFF), M. MAGRE Directeur Délégué de l'infrastructure de la Région de Rennes et M. LIVERNEAUX Chef de projet ont demandé à GEOID de réaliser les plans topographiques à partir de données acquises par le système FLI-MAP®. L'ensemble de ces plans, à la charte RFF-SNCF, à l'échelle du 1/1000 ainsi que 250 profils en travers au 1/200 et tous les fichiers numériques incluant les images vidéo seront fournis au chef de Projet dans un délai de sept semaines.

## Opérations réalisées depuis l'Europe

Depuis 1997, plus de 20000 km de levés topographiques de corridor ont été réalisés par le groupe FUGRO pour

les applications industrielles suivantes :

- Voies ferrées
- Lignes électriques haute tension
- MNT de digues pour la lutte contre les inondations
- Autoroutes, routes, ouvrages d'art
- Tracé de pose de pipelines
- Auscultations des côtes

## Contact

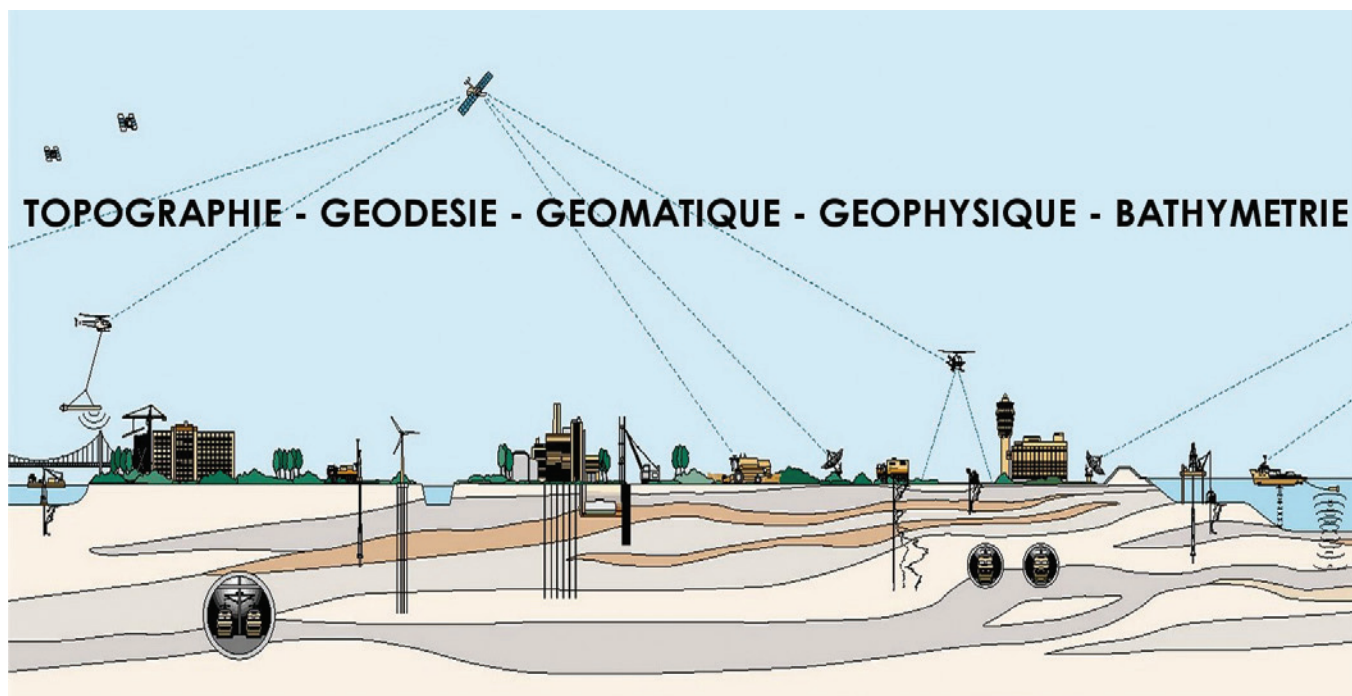
richard.damiano@geoid.fr  
thierry.bordas@geoid.fr  
sylvain.lacombe@geoid.fr

### Société GEOID

Montpellier Technopole  
3 rue Jean Monnet 34830 CLAPIERS  
Tel: 33 (0)4 67592644  
Fax: 33 (0)4 67592842  
www.geoid.fr

## ABSTRACT

**Key words:** ALS, LIDAR, airborne LASER, DTM, DEM, High density, Accuracy  
*Presentation of the FLI-MAP® system and of one operation which GEOID member of the FUGRO group carried out in France in 2001. Within the framework of the study of the electrification of the Nantes - Les Sables d'Olonne railway line, the Réseau Ferré de France (R.F.F.), project manager and the SNCF, works manager, asked GEOID to carry out a topographical survey, using the FLI-MAP® system, on the two existing lines. Firstly, five geodetic points spaced at about 20 Km were marked and tied-in to the RGF network. During the helicopter flight, a centrimetric GPS receiver placed on each of these points registered the corrections of the satellite data to allow post-processing, of it's trajectectory to be carried out. The scanning laser and digital video equipment were fit on board an Ecureuil 500. In three hours, the helicopter had flown over the entire length of 110 Km, at 50 m altitude, except urban areas, and had surveyed 15 000 points/s over the 50m wide area. After the on-site data validation in that same night, in the office we vectorized a 20m wide band using the FLIP7 software. Without needing to put a foot on the railway line itself, we were able to deliver to the client a set of detailed topographical plans on 1/1000 scale, cross sections over the 20 m wide at site requested by the SNCF (plans au 1/200), the corresponding AUTOCAD files, the video images taken from the helicopter as well as the FLIP7 software which allowed the laser and video geo-referenced data to be exploited.*



Société GEOID membre du groupe FUGRO

Montpellier Technopole  
3, rue Jean Monnet  
34830 CLAPIERS  
Tel : 04 67592644  
Fax : 04 67592842

<http://www.geoid.fr>

Contacts :  
richard.damiano@geoid.fr  
thierry.bordas@geoid.fr  
laurent.vigier@geoid.fr



# Surveillance et diagnostic de comportement d'ouvrage par nivellement hydrostatique de précision

■ Patrick LETEURTRE, Directeur de la société FOGALE Nanotech

*Surveiller, contrôler un ouvrage afin de détecter un endommagement, évaluer son importance, son évolution, l'échéance d'une réparation, tels sont aujourd'hui les enjeux pour garantir l'intégrité d'un ouvrage de génie civil, prolonger sa durée de vie ou réduire le coût des aléas dans les phases de construction. Pour ce faire, il faut pouvoir mettre à disposition du gestionnaire d'ouvrage, du maître d'œuvre voire de l'assureur, un modèle qui lui permettra de "voir", comprendre, et prévoir le comportement de l'ouvrage et ceci dans sa globalité. C'est pour répondre à cet objectif que la société Fogale Nanotech a développé des capteurs et des systèmes de haute précision qui élaborent un modèle de mouvement permettant d'effectuer un diagnostic sur "l'état de santé" d'un ouvrage et des prévisions sur son comportement.*

*Parmi ces capteurs, le système de nivellement hydrostatique HLS est un des outils essentiels car il fournit les mesures permettant de contrôler la stabilité globale d'un ouvrage tout en séparant les mouvements d'ensemble des mouvements différentiels entre les diverses parties. A partir de quelques exemples, nous allons montrer l'apport du capteur de nivellement hydrostatique à la stratégie de surveillance ou de diagnostic de comportement d'ouvrage.*

### ■ MOTS CLES

surveillance d'ouvrage, stabilité, auscultation, maintenance prédictive, nivellement hydrostatique, capteur HLS

**D**éjà incontournable pour aligner et contrôler précisément la géométrie des grandes machines industrielles ou de physique (synchrotron, télescope, grand alternateur, etc...) le capteur de nivellement hydrostatique de très haute résolution HLS (Hydrostatic Levelling System) répond particulièrement bien aux attentes du génie civil en matière de contrôle de stabilité et de prévision de comportement des ouvrages en vue de maintenance prédictive.

Surveiller, contrôler, voir et comprendre les interactions sol structure, détecter et localiser les déplacements différentiels de l'ouvrage souvent sources d'endommagement, leurs évolutions, telles sont les possibilités qu'offrent les mesures de ce capteur pour diagnostiquer très rapidement le comportement d'un ouvrage. La précision des mesures de ce système (typiquement de quelques microns à quelques dixièmes de millimètre sur des points éloignés de plusieurs centaines de mètres) associée à l'enregistrement continu des données permettent d'analyser en temps "quasi-réel" les déplacements de l'ouvrage tout en dissociant les mouvements continus et permanents (tassement de sol, évolution d'un endommagement...) des mouvements périodiques ou occasionnels (effets thermiques journaliers et saisonniers, variation de hauteur d'une nappe phréatique, etc...)

Si le nivellement par niveau hydrostatique a toujours été utilisé par les constructeurs de bâtiments, de routes ou d'ouvrages d'art il a quelquefois, faute d'avoir été bien utilisé, été décrié pour ces mesures entachées d'erreurs. Aussi, avant d'illustrer par des exemples d'applications les avantages de cette technique, il nous est apparu nécessaire de rappeler les quelques

éléments essentiels à l'emploi de cette technique qui, convenablement employée, permet de réaliser des mesures remarquablement fiables et précises. Une fois les précautions de mise en œuvre respectées, ce système de mesure devient un outil économique et redoutablement efficace pour contrôler et diagnostiquer rapidement la stabilité des ouvrages.

## Rappels Techniques sur le nivellement hydrostatique

Destiné à la mesure de nivellement de haute précision entre plusieurs points, ce système est basé sur le principe des vases communicants et a le grand avantage d'utiliser la surface libre d'un liquide comme référentiel de mesure. Utiliser un référentiel hydraulique pour effectuer des mesures de nivellement est particulièrement intéressant car il définit une référence horizontale uniquement soumise à la gravité c'est à dire indépendante des mouvements de l'ouvrage comme des mouvements de l'environnement.

Dans la pratique on crée ce plan horizontal de référence au moyen d'un liquide, en général de l'eau de ville, en équilibre hydrostatique dans des pots de mesure reliés par des tubes. Les variations d'altitude sont décelées par les variations de hauteur du liquide dans les pots, cette variation étant mesurée par des capteurs de déplacement. Les techniques utilisées pour le capteur, partie sensible de l'instrumentation sont très variables. Elles vont de la fiole graduée aux systèmes électroniques qui généralement détectent le déplacement d'un flotteur. Pour le capteur HLS nous mettons en œuvre la technologie capacitive dont la qualité est de permettre des mesures sans contact extrêmement



■ ■ ■ précises et pour laquelle le savoir-faire de notre société est important. La capacité mesurée est proportionnelle à la hauteur de liquide dans le pot, une des électrodes de mesure est constituée par le capteur lui-même l'autre électrode est directement constituée par le plan d'eau sans aucun élément intermédiaire. Le grand avantage de cette technologie, outre sa remarquable précision, est donc que la mesure est effectuée directement par rapport à la référence et sans aucun contact avec elle. La mesure est ainsi directe et la référence non perturbée par un palpeur, un flotteur ou autre pièce ce qui est un gage de fiabilité et de robustesse. Le nivellement entre tous les points est directement calculé par un logiciel de traitement des mesures. Plusieurs modes de traitement peuvent être choisis par l'opérateur pour calculer le nivellement : calcul par rapport à un capteur (dit point fixe) pris en référence, calcul par rapport au niveau moyen ou encore calcul par rapport à un plan défini par la mesure de trois capteurs.

Comme on le voit, le principe de cette technologie "antique" est extrêmement simple et le référentiel hydraulique avantageusement adapté à l'analyse de stabilité et au diagnostic de comportement d'ouvrage. Nous allons également montrer que la technique peut être remarquablement précise pour peu que l'on apporte quelques soins à la conception et à la réalisation du réseau hydraulique car n'oublions pas que c'est lui qui contient notre référence et donc de lui dont dépend la qualité et la précision du système.

En pratique trois pièges doivent être évités. Le premier concerne les bulles dans l'eau, celles-ci peuvent totalement obstruer la tuyauterie et donc la circulation d'un liquide. Pour les éviter il suffit de respecter certaines consignes de remplissage et d'employer un tube de diamètre supérieur à dix millimètres. Le second problème peut venir d'une différence de pression entre les pots de mesure qui se traduit inévitablement par des variations de hauteur d'eau dans les pots de mesure. Pour y remédier il suffit de mettre tout le circuit en équilibre de pression ce qui est facilement réalisable en reliant tous les pots par un tube d'air et de monter les capteurs de manière étanche sur les pots. Le dernier problème est lui directement lié au cheminement choisi pour les tuyaux d'eau. La surface libre du liquide qui matérialise la référence dans chacun des pots du circuit peut en effet être influencée par les parties non horizontales du circuit. Si des gradients de température apparaissent entre ces parties celles-ci engendrent des variations de masse spécifique de l'eau et donc des variations de hauteur dans les pots ou sont effectuées les mesures. Ces variations différentielles sont loin d'être négligeables quand l'on souhaite réaliser un nivellement de précision. Pour une température moyenne de l'eau du réseau de 20°C celles-ci seraient de 0,2 millimètres par mètre de colonne d'eau et par degré celsius. Les deux premiers pièges sont faciles à éviter et le dernier se résout en maintenant le réseau hydraulique dans un plan horizontal. Si cette dernière solution est très simple elle est parfois difficile à mettre en œuvre, on pourra alors équiper les parties non horizontales avec des capteurs de température afin de réaliser des corrections sur les mesures ou adopter des conceptions de circuit hydraulique circulant pour homogénéiser la température de l'eau.

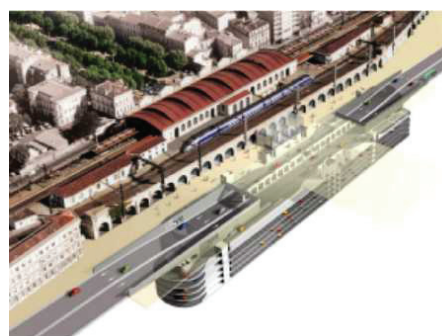
Dans tous les cas, même si le choix pour la réalisation de l'une ou l'autre des installations est bien souvent guidé par une

contrainte d'environnement, une attention toute particulière doit être apportée à la conception et à la réalisation du réseau. A cette condition le nivellement hydrostatique devient alors un outil économique et de très haute précision pour diagnostiquer rapidement la stabilité et le comportement des ouvrages.

## Mettre les ouvrages d'art sous surveillance informatique

Réaliser une construction tout en contrôlant la stabilité des ouvrages environnants, notre premier exemple concerne le contrôle de la stabilité d'un viaduc pendant la construction d'un parking.

Réalisé par la SENIM (Société d'Équipement de Nîmes et sa région) l'ouvrage à construire était un parking souterrain de 800 places sous trémies routières. D'une longueur totale de 200 m et d'une largeur de 30 m, il est

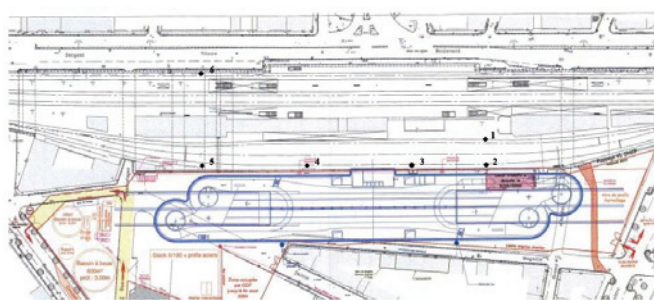


**Figure 1 : Vue générale du parking et du viaduc SNCF**

situé à 3 mètres de la façade du viaduc sud de la gare voyageur de Nîmes, parallèlement au bâtiment. La technique de construction employée est celle de la paroi moulée, ancrée dans le substratum étanche à -27m de profondeur, pour un dernier niveau de parking à -21m du terrain naturel.

La gare est elle composée de deux viaducs, un nord un sud, ancrés sur une couche de sistres très compacts située à deux mètres sous le terrain naturel. Pour contrôler la stabilité du viaduc sud pendant les travaux de construction et évaluer l'interaction viaduc/parking nous avons installé six capteurs HLS sur l'ouvrage. Quatre ont été répartis le long du chantier sur le viaduc sud (parking), un capteur a été fixé sur le viaduc sud mais côté nord afin de mesurer le gauchissement de l'ouvrage et le sixième capteur a été fixé de l'autre côté de la gare sur le viaduc nord côté nord. Ce sixième capteur positionné loin de la zone des travaux sera pris comme référence pour le calcul des nivellements.

Comme à l'accoutumée nous débutons les mesures avant le début des travaux afin d'enregistrer "l'état des lieux" du comportement de l'ouvrage. Pendant cette phase d'observation nous enregistrons très clairement les cycles journaliers de dilatation se



**Figure 2 : Positionnement des capteurs HLS sur le viaduc**

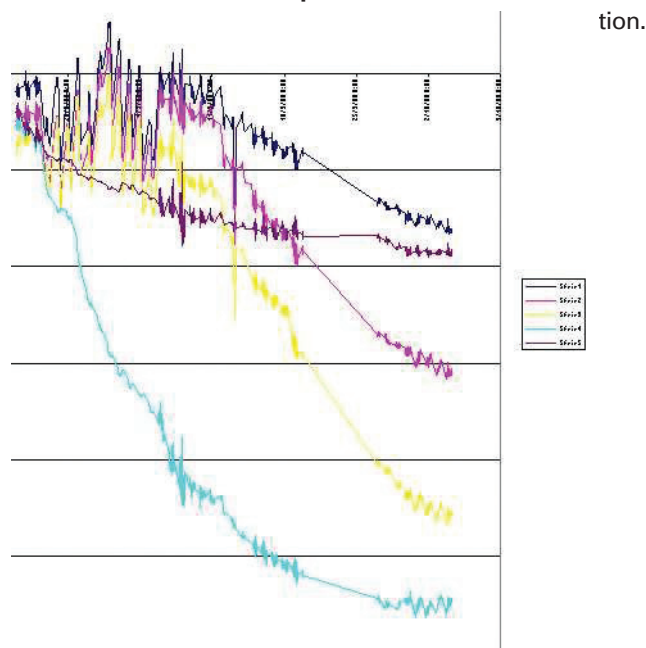
superposant sur une pente qui nous indique une très légère dérive de l'ouvrage. Celle-ci, parfaitement corrélée à l'augmentation des températures durant cette période estivale (juillet-août), nous en déduisons que nous sommes en train d'observer les effets thermiques saisonniers sur le comportement du viaduc. Nous remarquons également l'écartement des enregistrements de chaque capteur ce qui indique un léger gauchissement de cet ouvrage. Par curiosité, nous avons observé le tassement du viaduc sous chargement (arrêt d'un train en gare) pour constater qu'il était pratiquement négligeable.

L'exécution de la paroi moulée a débutée le 23 août, l'enregistrement en continu de cette phase est très intéressant car il montre parfaitement le tassement du viaduc et son basculement au fur et à mesure de l'avancement du forage et la réaction de l'ouvrage à la découpe de la couche de sistres.

Pour ce type de chantier, cette auscultation continue par capteur HLS permet de mettre facilement en œuvre la méthode dite "observationnelle" : définir la limite admissible de déformation, vérifier par calcul cette limite, ausculter en continu pour suivre les variations. Cette observation permet bien sûr de vérifier que l'on ne dépasse pas le seuil limite, mais est aussi une aide précieuse pour le maître d'œuvre qui peut ainsi suivre en temps réel l'impact de ses travaux sur les ouvrages environnants, fixer des seuils d'alertes et si besoin un seuil d'interven-

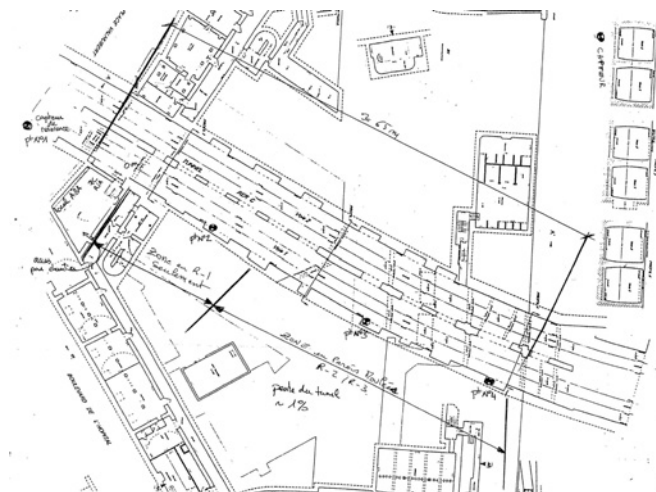


**Figure 3 : Enregistrement du comportement du viaduc avant la réalisation de la paroi moulée**



**Figure 4 : Enregistrement du comportement du viaduc durant la réalisation de la paroi moulée face aux capteurs 3, 4 et 5**

Le même type de contrôle est actuellement appliqué au suivi des déformations de la ligne ferroviaire Musée d'Orsay à Paris gare d'Austerlitz pendant la réhabilitation de l'immeuble

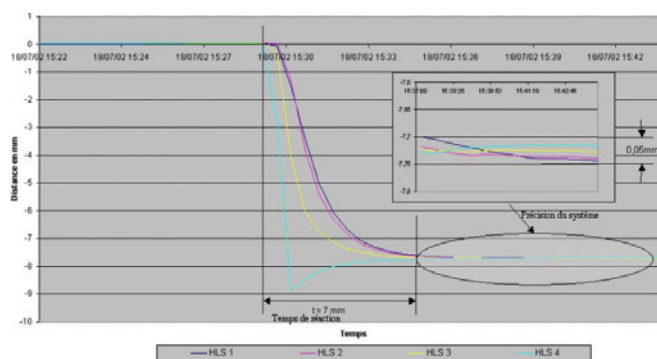


**Figure 5 : Positionnement des capteurs HLS dans le tunnel**

#### Point de mesure n°2

Valhubert. Pour cet exemple aussi le maître d'œuvre devra arrêter son chantier en cas de dépassement des valeurs prescrites au cahier des charges. En cas d'atteinte du seuil limite l'analyse des défaillances, (étape obligatoire avant toutes propositions des mesures à prendre pour la suppression des risques), peut s'avérer difficile si elle doit être réalisée à partir d'une auscultation ponctuelle réalisée par moyen topographique. Pour ne pas en arriver à ces extrémités la société COTÉBA Management en sa qualité de maître d'œuvre nous a demandé d'ausculter et de suivre en continu le nivellement de la plate forme ferroviaire pendant toute la durée des travaux. Le tunnel ferroviaire a ainsi été équipé de quatre capteurs HLS fixés tous les vingt mètres sur ses parois ainsi que de capteurs de déplacements mesurant les éventuels mouvements différentiels entre le radier supportant le ballaste et les parois du tunnel.

Ici aussi les mesures effectuées avant le début des travaux permettent d'analyser l'état initial du tunnel et éventuellement de faire réviser les seuils fixés a priori. Une fois installée la mise en service du système commence toujours par la qualification de ses performances dans son environnement. On va ainsi mesurer le temps de retour à l'équilibre du système lors d'une



**Figure 6 : mesures des performances du système**





**Stabilité d'un tunnel routier**

sollicitation, celle-ci sera simulée par le déplacement d'un capteur et la précision du système qualifiée par l'écart des mesures par rapport au niveau moyen de chaque capteur entre l'équilibre initial et l'équilibre après sollicitation (figure 6).

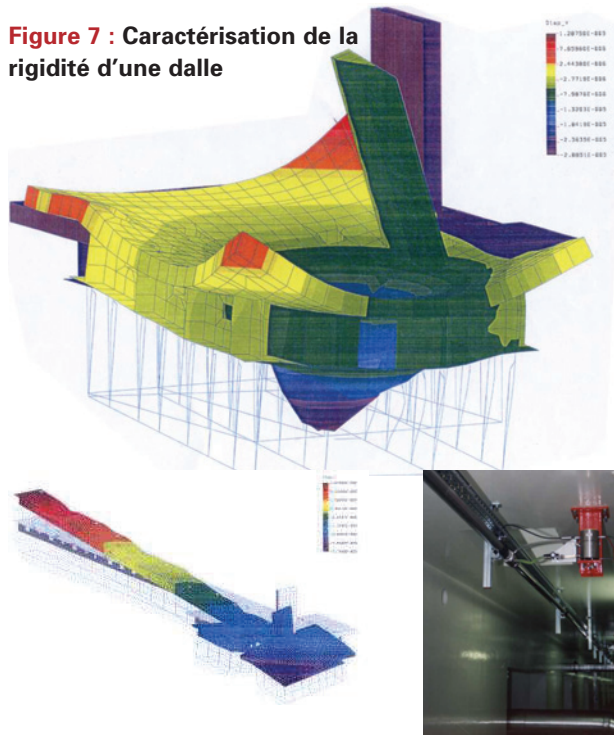
Autre exemple d'application, le contrôle de stabilité d'un tunnel routier dans les Alpes. Ici, les données sont numérisées par la centrale d'acquisition installée sur l'ouvrage puis trans-

mise directement par fibre optique au centre routier d'Alberville et au CETE de Lyon.

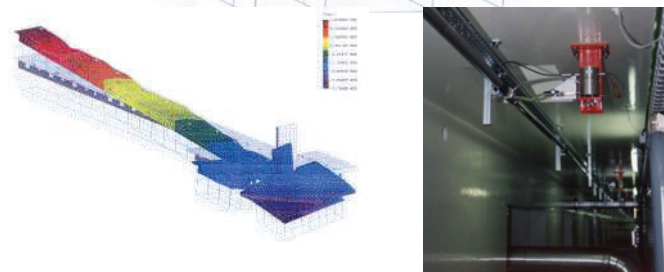
## Etudier et caractériser le comportement d'un ouvrage existant

Exemple d'interaction sol/structure sur un grand bâtiment

**Figure 7 : Caractérisation de la rigidité d'une dalle**



**Figure 8 : Modèle de mouvement d'un bâtiment permettant de caractériser l'interaction sol/structure**



## Conclusion

Comme on a pu le voir, les applications des capteurs HLS sont multiples que se soit dans le domaine du génie civil ou de l'industrie. Idéal pour étudier et contrôler la stabilité d'un ouvrage dans sa globalité il s'avère un outil précieux du maître d'œuvre

## Perspectives de développement : le couplage modèle de mouvement / modèles numériques

Outre le développement de nouveaux capteur (extensomètre invar, extensomètre à fibre optique, fissuromètre, inclinomètre de forage, écartométrie à fil, etc...) et la réalisation d'une nouvelle centrale d'acquisition dotée de toutes les possibilités de communication évoluée nous nous intéressons aujourd'hui à une nouvelle approche associant étroitement et faisant inter-agir pertinemment le modèle de mouvement élaboré en continu par notre logiciel avec les modèles numériques de l'ouvrage considéré. Un outil de prédiction et de simulation évolué dont nous vous reparlerons prochainement. ●

## Contacts

Patrick Leteurtre, Fogale Nanotech  
 Frédéric Ossart, Fogale Nanotech

### FOGALE Nanotech

Parc Kennedy - 285 rue Gilles Roberval - 30900 Nîmes  
 Tel : 04 66 62 05 55 Fax : 04 66 62 71 60  
 info@fogale.fr - www.fogale.fr

## ABSTRACT

*Surveying and controlling an infrastructure in order to detect any deformation, estimate its extent, its evolution, the deadline of repairs, those are today's stakes to guarantee the integrity of any civil engineered work, extend its life or reduce the cost of hazards linked to building procedures. To do so, the building administrator, the project manager and even the insurance company need to have at their disposal a pattern enabling them to visualize, understand and anticipate the infrastructure's behaviour and this from every angle. In response to this need, Fogale Nanotech has developed sensors and high accuracy instruments which elaborate a motion pattern enabling to diagnose the "state of health" of an infrastructure and predict any works drift. Among those sensors, HLS, hydrostatic levelling system is one of the main instruments as it provides accurate measurements allowing to control an infrastructure's global stability as well as separating overall motions from local ones in different parts of the building. We will base our demonstration on a few examples to show the input of the hydrostatic levelling system in the infrastructures' motions surveying and diagnosing strategy.*

**Keywords:** works drift surveillance, stability, auscultation, anticipated servicing, hydrostatic levelling, HLS sensor.

# Barrages, risques et dommages, évaluation de la sécurité des barrages

■ Adriana MIRI et Emmanuel NATCHITZ

## (Etude de cas)

*Aux frontières de l'Union Européenne, l'Albanie avait développé un parc important de barrages hydroélectriques pour favoriser à la fois le développement économique du pays mais surtout accroître la production électrique nécessaire aux besoins de ses habitants. Avec l'évolution politique de ce pays, le programme s'est ralenti et le suivi de ces grands barrages n'est plus assuré convenablement. Nous revenons sur une étude de cas, le barrage de Koman sur le fleuve Drini. Comment les ingénieurs ont fait évoluer leurs techniques pour le construire ? Comment et*

*pourquoi l'état peine à assurer le suivi et l'entretien de ce barrage ? Quelle suite sera donnée à ce vaste projet de construction ?*

### ■ MOTS CLES

construction de barrage,  
pathologie, risque,  
environnement,  
prévention

## Les sources hydriques

### ■ Sans eau, point de vie

L'Albanie, avec une superficie de 28 748 km<sup>2</sup>, est constitué à 70 % de montagnes, collines, lacs et rivières. Au point de vue des richesses hydriques et du potentiel hydro-énergétique, elle se situe parmi les premiers pays européens. L'altitude moyenne du territoire hydrographique de l'Albanie est très importante, environ 700 m au dessus du niveau de la mer. Les précipitations sont relativement élevées (1 400 mm de pluie par an). Au dessus de 1 000 m d'altitude, il neige. Cette neige assure une grande quantité d'eau dans les fleuves pendant le printemps et même l'été. La direction du courant est en général Est-Ouest et les cours d'eau coulent principalement dans la mer Adriatique et partiellement dans la mer Ionienne. Malgré les débits faibles (340m<sup>3</sup>/sec pour Drini), les caracté-



Fig. 1 : Carte Albanie

ristiques particulières physiques et géographiques du pays (avec les sources hydriques à 500 – 1 000 m d'altitude), donnent à ces fleuves des valeurs importantes du point de vue hydroélectrique. Malgré ces ressources, l'alimentation en eau de l'agriculture et de l'industrie reste une des tâches les plus lourdes en Albanie. Ces raisons ont conduit les pouvoirs politiques à apporter une attention extrême à la construction des ouvrages de retenue. Ces installations sont conçues de manière à participer en premier lieu à la satisfaction des



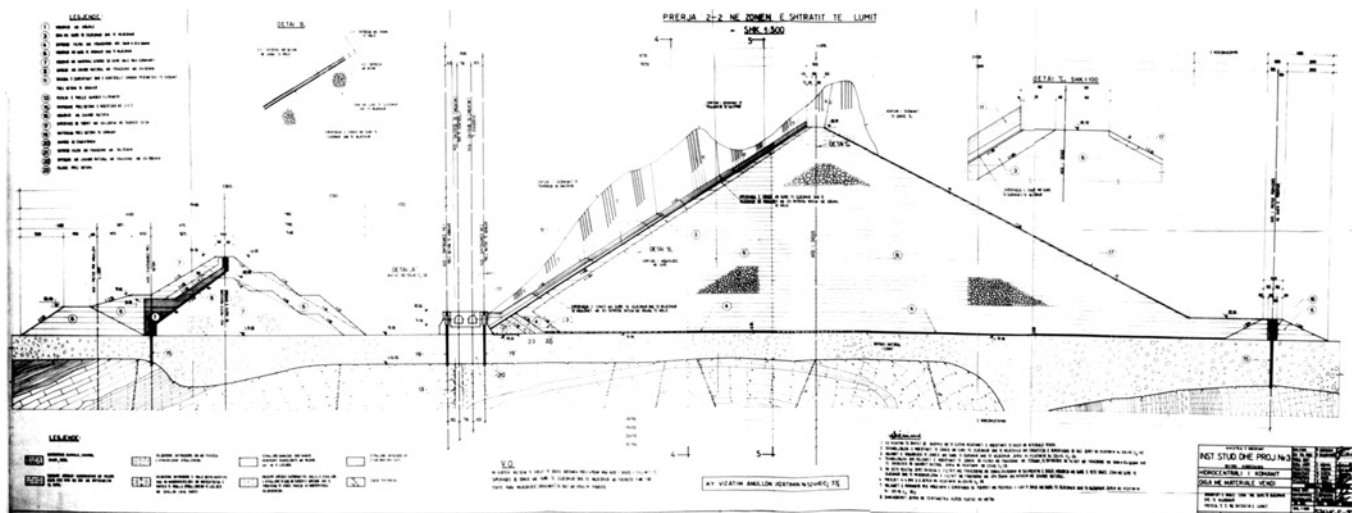


Fig. 3 : Coupe de Koman

■ ■ ■ besoins en énergie. Actuellement, seulement 30 % de ce potentiel est exploité, tandis que le volume des lacs artificiels qui règlent le débit des rivières est égal à 40 % du débit annuel des rivières. L'Albanie compte aujourd'hui 630 ouvrages de retenues, parmi lesquels 360 remplissent les conditions de la Commission International des Grands Barrages, dont l'Albanie en est membre depuis 1964. Selon le registre mondial de 1998, sur 80 pays membres de cette Commission l'Albanie se situe en 18<sup>e</sup> place pour la quantité des barrages construits, et en 1<sup>er</sup> place pour le nombre d'ouvrages de retenue par habitant (0.9/10 000 habitants). La construction des barrages en Albanie, a commencé vers la deuxième moitié des années 50 et s'est poursuivie jusqu'à la fin des années 80. Ces grands travaux se sont inscrit dans le cadre de l'électrification du pays. Aujourd'hui les centrales hydrauliques assurent 90 % de l'énergie électrique en Albanie. Parmi les barrages on citera les centrales électriques de Koman, Fierza, Vau i Dejes (sur la rivière de Drini), Bistrica I, Bistrica II, Shkopeti, Ulza et Selita.

## L'exécution des barrages sur la fleuve de Drini

Les barrages sur la fleuve de Drini sont importants en hauteur et en valeur énergétique. La construction de la centrale de Bushat en aval a commencée et le barrage de Skavica en amont reste en projet. Ces deux derniers aideront, entre autre à régler l'équilibre hydromécanique des barrages existants. (Voir schéma Fig.2)

Le barrage hydroélectrique de Koman construit en 5 ans à partir de 1981 (Fig.3), se situe au Nord-Est du pays (dans les Alpes). Dans la première version, le projet prévoyait un barrage poids comme celui de Fierza avec un noyau en argile (fig.4). Dans cette optique, des études ont été effectuées (in situ et en laboratoire), sur la qualité et la quantité des matériaux de construction à utiliser : argiles, sables, granulats etc. Des calculs statiques ont été effectués complétés par des études topographiques chiffrant le volume des travaux, les besoins en moyens, les délais de la construction et de la mise en eau du barrage. Pendant la phase d'étude des problèmes de divers ordres sont apparus.

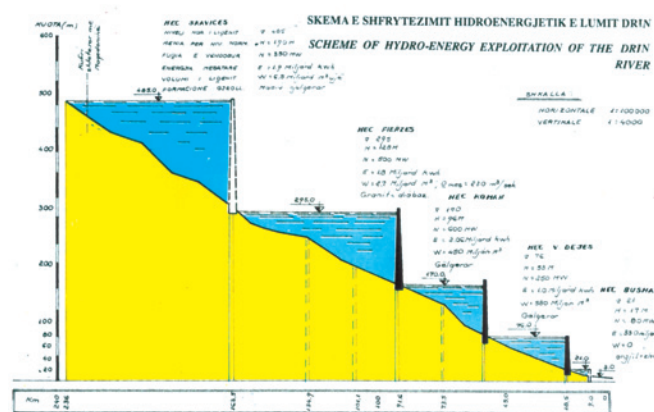


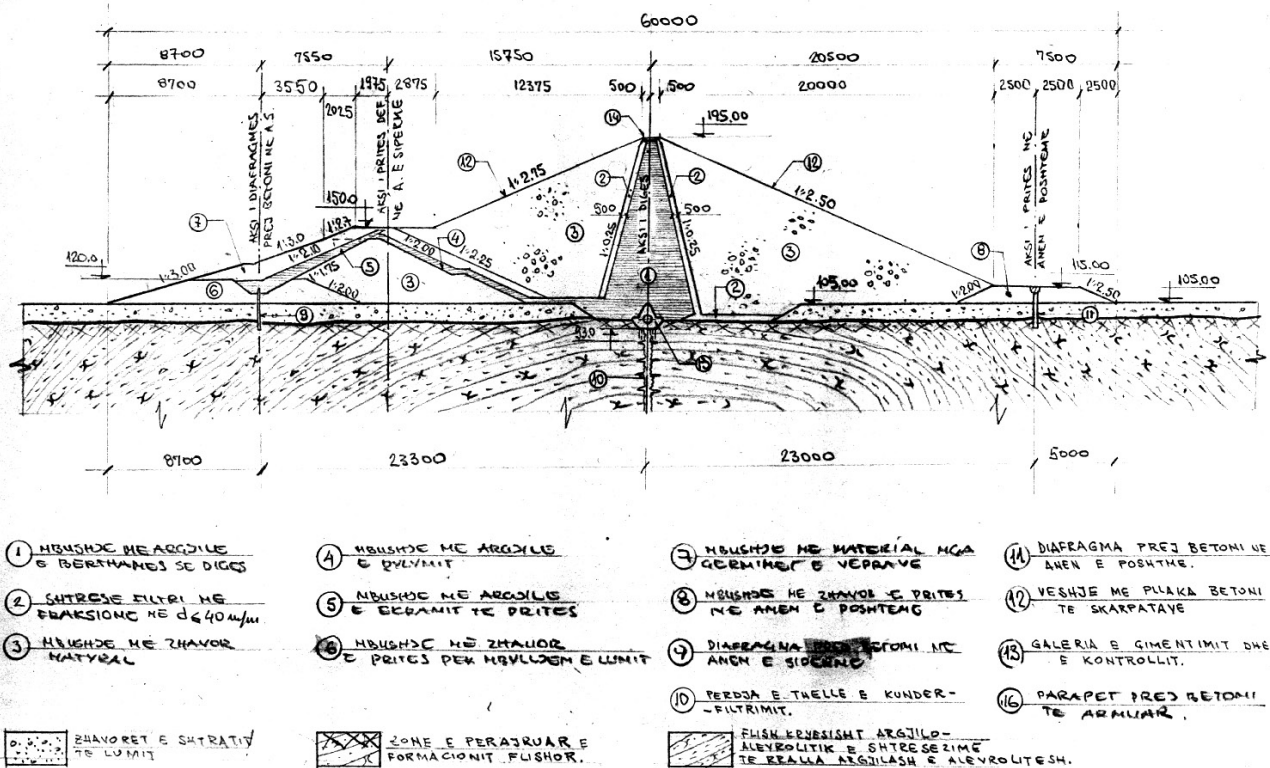
Fig. 2 : Schema d'exploitation du fleuve Drini

Du point de vue technique, la construction du barrage au noyau d'argile était un procédé connu en Albanie, (plusieurs barrages du même type étaient déjà construits). Mais, d'une part, la teneur en eau de l'argile était très élevée et d'autre part, l'argile se trouvait à 40 km loin du site, dans un terrain très accidenté. Le transport et le stockage devenait difficiles. Le délai de construction se prolongeait au moins de 5 mois, dans des conditions optimales.

Les ingénieurs ont décidé d'adopter, en 1981, la variante du barrage avec un écran en béton armé appuyé directement sur le lit rocheux du fleuve (fig.5), et couvert dans la partie inférieure avec un écran supplémentaire en argile jusqu'à la côte de 220 m, (un procédé qui s'expérimentait pour la première fois dans ce pays). Cette variante, était certes plus économiques, mais plus difficile à mettre en œuvre.

Pendant les travaux de préparation pour les fondations du barrage, des problèmes d'étanchéité du sol sont apparus. Les conditions de la fouille pour atteindre le rocher solide devenait difficiles. La seule solution pour respecter les délais et éviter les infiltration était de construire un écran en béton armé à partir du niveau du terrain naturel. En supplément, deux rideaux ont été placés sous ce bloc pour mieux assurer l'étanchéité et pour prendre une partie de la surcharge. La largeur de la rivière dans la zone du bloc est de 75 m. La côte altimétrique des graviers naturels de la rivière est de 70 m tandis

## SEKSIONI TIP I DIGES NE SHTRATIN E LUMIT. SHK. 1:3000.



FORMATI NR. 2.

Fig. 4 : Coupe barrage Fieza moyen argile

que celle du rocher est d'environ 52 m. L'axe du bloc se trouve à 198 m de l'axe du barrage, en amont. Les dimensions du bloc en béton armé sont : 116 m de longueur, 29 m de largeur et 12.5 m de hauteur, avec un volume de 34 000 m<sup>3</sup> tandis que la hauteur maximale des rideaux est de 24 m. La fondation a été calculé pour résister à une séisme d'échelle 9. L'ensemble des travaux de topographie ont été réalisé selon des procédés traditionnels (théodolites, niveaux). Les reports se sont fait de façon manuelle par les géomètres de l'état.

L'écran s'appuie et glisse librement sur la face inclinée du bloc en béton armé. Au final un déplacement de 60 cm maximal était prévu. Dans ces conditions, il n'est pas possible d'effectuer le joint d'étanchéité à la surface de contact avec le bloc. Pour réaliser l'étanchéité du barrage, un rideau d'argile équipé d'un contre filtre, a été effectué en bas de l'écran en béton armé.

Le contrôle de ce déplacement s'est fait par l'intermédiaire d'une galerie percée entre l'écran et l'épaulement du barrage. La pente de fouille du tunnel de contrôle n'est pas fixée. Elle varie en fonction des conditions géologiques observées à l'avancement des travaux. Ces conditions ont déterminé l'axe de creusement. Un plan de récolement indispensable a été établi. Il sert de base de référence pour les points de contrôle ultérieurs (fig.3.)

Un réseaux de points références a été positionné sur les pans de montagne transverse et des cibles placées sur l'écran. Chaque jours ces points étaient relevés par l'institut étatique de contrôle en charge du suivit de l'opération. Le manque de moyen technique empêche de poursuivre cette surveillance. Le glissement de l'écran a dû en théorie se stabiliser mais aucun relever le confirme réellement.



Fig.5 : Construction de l'écran en béton



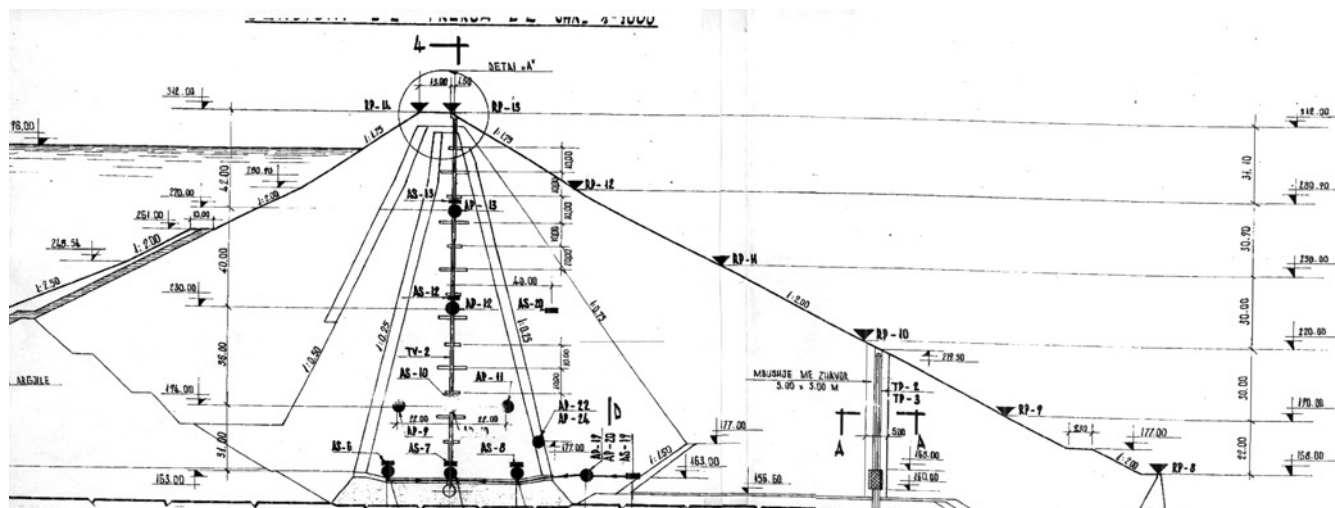


Fig. 6 : Appareillage de mesure placé dans le corps de barrage (Fierza)

## La sécurité des barrages

La construction d'un barrage n'est pas une fin en soi qui se termine avec la mise en eau. L'ouvrage devra faire l'objet d'auscultations et d'inspections tout au long de "sa vie", afin que sa pérennité soit assurée. Un barrage est construit pour durer longtemps. Depuis sa conception, puis sa construction et l'exploitation, l'ouvrage est testé, contrôlé, surveillé et réparé de manière à prévenir tous risques d'accidents. Un barrage travaille et vieillit, en fonction des efforts auxquels il est soumis. En dehors des réparations exceptionnelles consécutives à une détérioration d'une partie de l'édifice, un entretien régulier de l'ensemble de l'ouvrage est nécessaire. La longévité des aménagements hydroélectriques repose largement sur la maintenance et l'entretien de sa pièce maîtresse, le barrage.

Une large gamme d'instruments de mesure : pendules, piézomètres, témoins sonores, mesures de fuites, est placée dans le corps des ouvrages. Ces instruments sont reliés à un système central contrôlé en permanence. De la précision de ces mesures va dépendre la détection des anomalies et la compréhension du comportement des barrages. Des années après sa construction, les capteurs continuent à fournir de précieux renseignements sur l'état du barrage. Ces appareillages automatiques peuvent détecter des déplacements de l'ordre de quelques millimètres sur des barrages de plusieurs centaines de mètres. La réglementation prévoit un contrôle continu avant, pendant et après la construction des barrages. Une surveillance spécifique est assurée pendant la première mise en eau complète des barrages, période pendant laquelle une rupture a le plus de probabilité de se manifester.

Le barrage doit résister à de fortes charges : poids propre (environ 167 tonnes/m<sup>2</sup> pour le barrage de Koman), pression de l'eau (qui croît proportionnellement avec la profondeur), la sous-pression (infiltrations d'eau minimales mais inévitables, à travers le barrage et sa fondation, créent des forces de sous-pression), variations de température, crues, gel,

sédiments, séismes etc. Pour cette raison, l'exploitant doit effectuer des visites régulières et réaliser une analyse périodique des mesures d'auscultation. Le suivi continu du comportement du barrage, et notamment des paramètres liés aux déformations, permet de détecter les éventuels premiers signes de fatigue de l'ouvrage.

On peut alors prendre des mesures qui s'imposent pour remettre l'ouvrage dans les conditions optimales de sécurité. En conséquence, l'hypothèse d'une rupture de barrage brusque et inopinée peut être considérée comme très faible. Cependant il existe des facteurs de risque qui restent indécélables par l'homme, et dont la survenue serait inopinée. C'est le cas des séismes qui pourraient mettre en cause l'intégrité de l'ouvrage, mais également des glissements de terrain dans la retenue du barrage. Pendant l'inspection journalière, le surveillant examine l'ouvrage et le terrain et note les moindres changements. Il contrôle visuellement le parement en aval. Les apparitions d'humidité (suintement, changement de couleur, développement de végétation), remarqués en aval d'un barrage ou les traces d'érosion (dépôts de matériaux érodés, particules en suspension), sont rapidement suivis de la vérification de l'étanchéité de l'ouvrage. L'entretien du parement aval et son caniveau est nécessaire pour faciliter la surveillance.

Les débits de fuite et les niveaux piézométriques sont les mesures d'auscultation dont toute variation doit être rapidement analysée pour détecter une érosion interne. En conjuguant le contrôle visuel et les mesures à l'aide des instruments (piézomètres, inclinomètres, visées topographiques, accélérographes, instruments de mesure de contraintes, pression des pores et tassements dans le noyau) (fig.6), on a les moyens d'anticiper les risques de tassement, d'affaissement, d'infiltration ou de déformation d'édifices, et ainsi de maintenir à long terme la fiabilité et la sécurité de l'installation hydraulique. En dehors des réparations exceptionnelles suite à une détérioration d'une partie de l'édifice, un entretien régulier de l'ensemble de l'ouvrage est nécessaire. Par exemple il est nécessaire de dégager périodiquement les

prises d'eau des matériaux solides qu'amène le courant et qui peuvent interrompre le fonctionnement de l'ouvrage.

En France, la loi prévoit, une obligation de vidange tous les dix ans, ce qui permet un entretien et une inspection complète des vannes et des autres éléments. Lors de la vidange décennale, l'état du parement amont, couvert habituellement par la retenue d'eau, est entièrement contrôlé. En Albanie, à cause des contraintes économiques et un déficit très important en énergie électrique, la vidange des lacs n'est pas possible, ceci veut dire que le parement en amont n'a jamais été contrôlé depuis la mise en eau.

Tous ces résultats de mesures n'ont toutefois de valeur que lorsqu'ils sont reçus à temps et avec l'indication exacte de l'instant et sont complétés de toutes les données et indications nécessaires. Ils sont relatifs au facteur humain. Le sentiment d'infailibilité, l'approche trop simpliste, la non communication entre les différents spécialistes de l'équipe, etc. peuvent aussi conduire à des accidents avec des conséquences graves.

## État actuel :

Les conditions climatiques particulièrement difficiles de ces dernières années ont causées une diminution drastique du débit du fleuve Drini. Actuellement, le débit de Drini est de 30 à 50 l/s (3 fois plus bas que le débit moyen multi-annuel). Ce débit faible amène à l'abaissement graduel et continu du niveau d'eau du lac de Fierza qui constitue la réserve principale de la vallée de Drini. Ce niveau se situe actuellement à 246,39 m d'altitude, 80.10 m au dessous du niveau maximal et à environ 6 m au dessus du niveau minimal.

Le contrôle de stabilité des ouvrages est donc de plus en plus important. Le suivi des tassements devrait préoccuper le concessionnaire et exploitant des barrages (La corporation énergétique d'Albanie). Les barrages albanais, jusqu'à la fin des années 90, ont été considérés comme des ouvrages de grande importance avec un programme d'exploitation et de contrôle bien suivi. A partir de 1991, les changements politiques suivis de fortes problèmes économiques ont entraînés de grandes difficultés dans l'exploitation et la gestion des barrages. À cela s'ajoute l'apparition d'actes de malveillances qui ont conduit les pouvoirs publics à mettre ces édifices sous contrôle militaire. Actuellement, beaucoup de mesures législatives sont prises afin de discipliner les trois périodes de vie des barrages : la construction, la mise en eau et l'exploitation.

Jusqu'en 1993, l'Albanie n'a pas connu de crise énergétique. Avec une industrie modeste et une consommation par ménage très faible, les 5 centrales hydroélectriques suffisaient largement à fournir l'énergie nécessaire. L'Albanie exportait l'énergie électrique. Aujourd'hui les centrales produisent environ 13 million KW par jour, tandis que les besoins sont de 22 million KW par jour. Depuis la construction du dernier barrage hydroélectrique de Koman en 1986, aucun investissement n'a eu lieu.

## Conclusion

Avec le changement de régime qu'a récemment connu l'Albanie, l'état n'arrive plus à assumer les coûts d'exploitation et d'entretien des barrages. De plus, l'ensemble du savoir faire albanais était détenu par les ingénieurs qui sous couvert de secrets d'état ne l'ont pas franchement transmis. Pour pallier le manque d'énergie, le gouvernement favorise la construction de nouveaux barrages en limitant le suivi et l'entretien du parc existant.

Malgré la compétence des ingénieurs et techniciens locaux, aucune structure ne peut s'investir dans une telle entreprise. Le manque de moyens financiers et de formation de la nouvelle génération de spécialistes oblige l'Albanie à ouvrir ses frontières aux compagnies étrangères pour se lancer à nouveau dans ce type de construction. ●

P.S. Remerciement au Doc. Ing. Farudin HOXHA, Vice- président de l'Académie des Sciences d'Albanie pour son aide.

## Contact

Adriana MIRI miri@estp.fr  
Emmanuel NATCHITZ enatchitz@estp.fr  
Enseignants chercheurs ESTP

## Bibliographie

- Carrere A., Coussy O., Fauchet B.** *Stabilité des barrages-poids : apport de la mécanique des milieux poreux*. Annales des Ponts et Chaussées, Paris, septembre 1990
- Fry J.J., Delage P., et al.** *Computing the stability of clay fill dams under construction*. Water Power & Dam Construction, 1993
- Back, P.A.A.** *Designing safety into dams*. International Water Power and Dam Construction, Vol. 42, No. 2, pp. 11-12, February 1990
- Allen, P.H., Thompson, R.A..** *Averting the risk of dam failure*. Hydro Review, Vol. 8, No. 5, pp. 28-38. 1989

## ABSTRACT

*At the European community borders, Albania had developed an important network of hydroelectric dams. Those constructions were created for two main reasons: to increase his economic development and to raise the electric production for the habitants' needs. Due to the country's political evolution, this construction's program had slowed down and for the dams following this construction program has not been assured properly. In this article we bring in a real case study, the dam of Koman along the Drini river.*

*How were the engineer going to use new techniques for the construction?*

*How and why the government had many difficulties in assuming the maintenance of the dam?*

*What will be the follow ups given to a vast project like this construction?*

**Key-Words:** dam, pathology, risk, environment, prevention



# Mission archéologique à Petra

Quelques façades de tombeaux

**(Jordanie) - Prospection sur le Jabal ash-Shara, montagne entourant Wadi Musa - Du 7 au 29 novembre 2002**

■ **Christian Meyer, retraité de l'IGN**

*La ville de Pétra s'est développée dans un environnement gréseux. Son centre est marqué par le lit d'un oued de direction est-ouest, le Wadi Musa, asséché la majeure partie de l'année, et qui prend naissance dans le massif calcaire qui domine par l'est la capitale nabatéenne. Dans l'arrière pays de Petra, plusieurs chercheurs ont souvent remarqué de nombreux vestiges archéologiques. La zone qui paraît la plus intéressante est en fait le bassin versant de Wadi-Musa ; elle couvre environs 20 km x 12 km.*

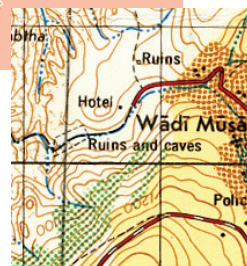
**D**ans le but de vérifier si la montagne calcaire a pu constituer la réserve alimentaire principale ou complémentaire de la ville antique, il semblait donc intéressant de lancer un projet qui puisse faire le relevé des sites encore visibles sur le terrain ; l'occupation de cette zone a été plus ou moins continue ; elle couvre les périodes de l'âge de fer, hellénistiques, nabatéennes, romaines, byzantines, jusqu'à la période islamique et moderne.

Aussi en 1996 et 1997, Laurent Tholbecq, dans le cadre de l'IFAPO (Institut Français de l'Archéologie au Proche-Orient) a effectué deux missions pour prospector et relever les sites de cette région, complément logique de "l'inventaire général des monuments de Petra" réalisé par Leila Nehmé.



Carte de la Jordanie

Extrait de la carte américaine à 1 : 50 000





## ■ ■ ■ Préparatif de la mission

Ainsi en 2002, une nouvelle campagne archéologique dirigée par M. Laurent THOLBECQ est organisée sous les auspices de Christian.AUGE, UMR 7041, "Proche-Orient hellénistique et romain".

Cette mission avait un but cartographique important ;

- améliorer la carte réalisée par Laurent : position précise des sites reconnus, compléments sur les principales composantes du paysage (routes, nouvelles installations, etc.)
- effectuer des plans précis pour les sites majeurs, et des plans moins élaborés pour les petits sites

Un autre aspect concernait la géographie de la zone (notamment l'étude des terrasses).

Aussi, Laurent Tholbecq a réuni pour cette mission :

Christian Meyer, retraité de l'IGN

Céline Corbières, géomètre de l'IGN

Jérôme Lejot, géographe

Gabriel Humbert pour l'intendance et le classement des tessons.

## ■ Logistique

Il a été possible de loger dans la maison des fouilleurs à l'intérieur du site de Petra (Nazzal Camp) dans d'excellentes conditions, car il n'y avait aucune autre mission. Par le biais d'un groupe électrogène, nous avions de l'électricité de 16h à 22h, ce qui est maintenant indispensable, compte-tenu de l'équipement électronique actuel des missions (recharge des batteries et ordinateurs). Nous avions une jeep Pajero tout terrain permettant de nous déplacer sur toute la zone sans problèmes majeurs. Ravitaillement à Wadi Musa, à quelques kilomètres de notre logement, un peu plus compliqué que d'habitude à cause du Ramadan. Plusieurs cybercafés nous permettaient d'être relié avec le monde extérieur.

## Organisation du travail

### ■ Deux types d'activités

- Relevé topographique avec une station totale
- Prospections des sites déjà identifiés pour compléter les informations et les localiser précisément avec un GPS et une étude géographique du paysage.

Donc sur le terrain de 6h du matin à 14 h, avec les "deux" équipes. L'après-midi et la soirée, nous mettions au net sur ordinateur les levés du matin et faisons les premiers dessins avec MapInfo pour s'assurer de la validité des mesures effectuées.

### ■ Aspect technique

Nous disposions d'une carte numérique (dessinée sous Adobe Illustrator) élaborée par Laurent par numérisation de l'ancienne carte américaine à 1 : 50 000, mise à jour sommairement avec la position des principales routes et des sites précédemment répertoriés.

Les sites ayant été positionnés par rapport aux courbes de niveau leur localisation était bien sûr peu précise (jusqu'à 250m).



Façade du fameux "El Khazneh" dit "The Treasury"



"El Deir" dit "The Monastery"

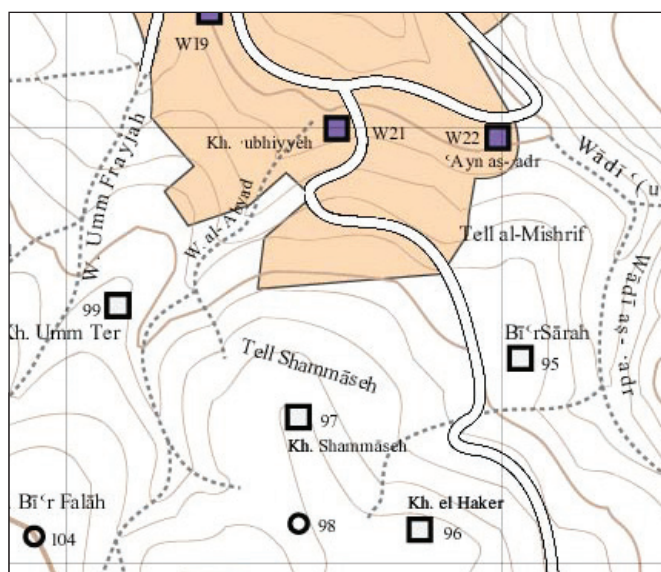
Le réseau routier était également approximatif. Néanmoins, nous avions une base de travail solide pour enrichir les informations des premières missions.

### ■ Levés topo

Ils ne concernaient que les sites importants, constitués de vestiges de murs, remparts, citernes, abris sous roche, etc. couvrant environ un hectare. Nous avons utilisé une station Leica TC600, matériel de l'IFAPO récupéré à Amman.

Pour chaque site, nous avons déterminé un point de base avec un GPS de navigation Garmin Summit (ce qui permettait, grâce à son capteur de pression d'avoir des points en coordonnées tridimensionnelles UTM à 10 m près en absolu) et

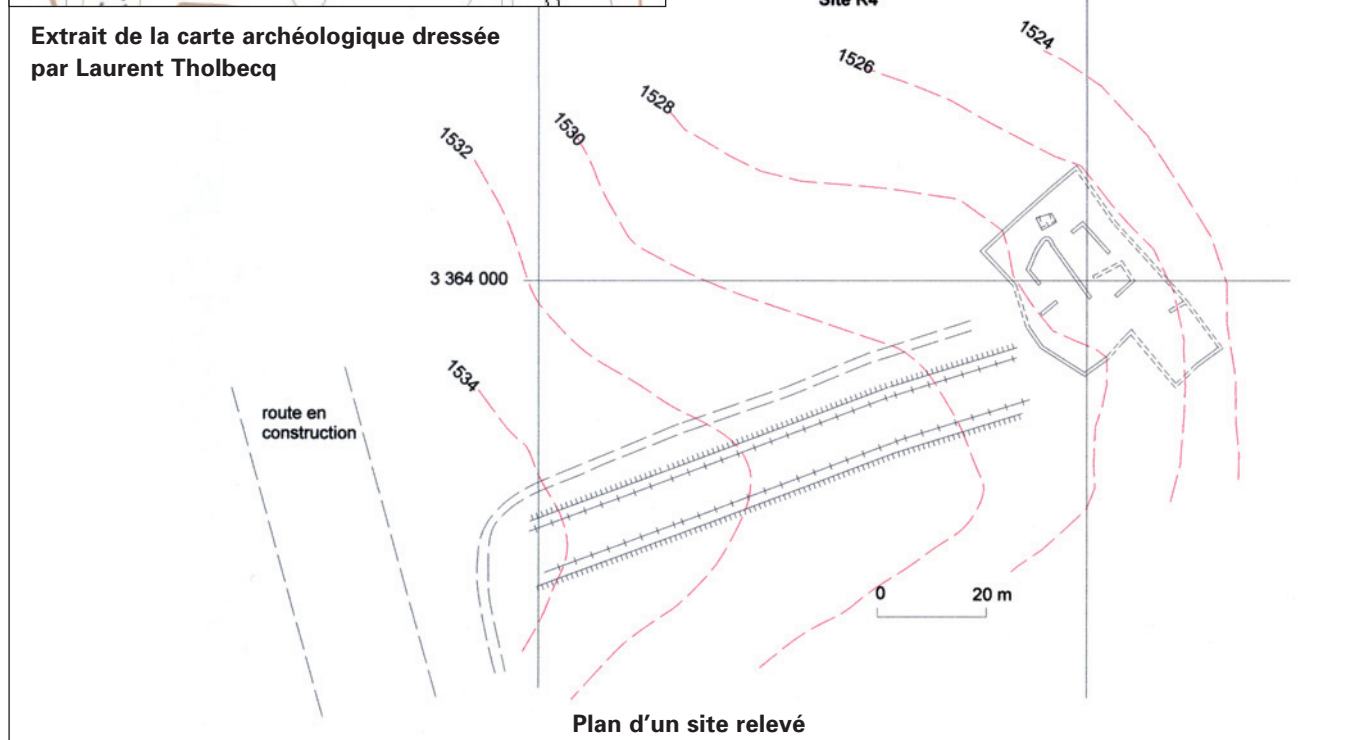




Extrait de la carte archéologique dressée par Laurent Tholbecq



Relevé d'un site



Plan d'un site relevé

orienté le levé avec une boussole, ce qui était suffisant pour l'étendue minime de chaque levé individuel.

Le capteur de pression a été étalonné d'après un point coté figurant sur une carte jordanienne à 1 : 25000. Le levé, (de précision centimétrique), est un des paramètres qui permet à l'archéologue de mieux comprendre la structure et la destination des sites. Nous avons ainsi levé topométriquement 23 sites. Sur d'autres sites plus détruits ou plus petits, nous avons fait des relevés plus simples, au décimètre ou au double pas.

Pour la mise à jour de la carte, il est prévu d'utiliser des cartes jordaniennes récentes établies au 1 : 25 000. Ce travail est à faire dans les mois qui viennent

Pour l'étude géographique, le géographe, Jérôme Lejot a parcouru le terrain et a pris de nombreuses photos de façon à

rassembler le maximum d'informations pour l'étude qu'il sera amené à effectuer. Nous disposons d'un jeu de photographies aériennes à 1 : 10 000 de l'IGN, malheureusement anciennes (1979), mais très utiles notamment pour l'étude physique du territoire (géomorphologie).

## Difficultés rencontrées

La période choisie était favorable car il y avait peu de monde, malheureusement c'était la période de Ramadan, peu favorable pour les contacts humains. Peu de touristes aussi sur le site de Petra.

Il a fait aussi assez froid ; parfois 4° le matin, surtout que nous travaillions à 1700 m d'altitude ; nous avons souvent eu des



Dune à Wadi Ramm

- vents très violents qui ont été parfois durs à supporter ! Un peu de pluie aussi par moment, et du brouillard dans une zone où on ne l'attendait pas !

## Aspect touristique

Nous avons eu aussi quelques loisirs pour admirer le site extraordinaire des grès de Petra et de ses monuments sculptés. Depuis les "haut-lieux", on avait parfois des visions superbes.

Un week end, nous nous sommes échappés pour aller à Aqaba et la Mer rouge, et surtout à Wadi-Ramm, où, grâce à l'habileté pour conduire d'un bédouin, nous avons bien visité ce site du désert.

## Conclusion

Les outils modernes de prospection et de topographie ont bouleversé les méthodes de travail en les rendant beaucoup plus efficaces et précises. Sans le GPS, nous aurions été beaucoup plus modestes dans la qualité et l'étendue de nos relevés.

Néanmoins, les connaissances traditionnelles de base d'un topographe sont indispensables pour résoudre de façon cohérente les divers problèmes qui se présentent ; savoir ce qu'est un "datum" n'est pas un problème théorique ; son ignorance peut conduire à de graves fautes de positionnement cartographique. ●

## ABSTRACT

### *Archaeological mission in Petra (Jordan)*

*A survey campaign was conducted in the Jebel-ash-Shara (natural basin of the Wadi Musa) from November 9th to November 25th. This project is part of the French "Mission archéologique de Petra au Wadi Ramm" directed by Christian Augé (CNRS). The field work was directed by Laurent Tholbecq (associate searcher, CNRS). Four other people participated to the project : Mrs Céline Corbières and Mr Christian Meyer (Topographers, French Geographical Institute – IGN), Mr Jérôme Lejot (Geographer, University of Lyon II) and Mr Gabriel Humbert (Restorer, IFAPO). The work focused on three main objectives :*

- Update the 1:25 000 archaeological map of the surveyed area (15 km x 7 km)*
- Produce sketched and top-plan of the main sites*
- Initiate the publication*

*The 160 sites previously found have been investigated and recorded; twenty three key sites have been topographically surveyed with Leica TC 600, and about seventy others have been sketched.*

*The UTM coordinates of all the surveyed sites have been sketched using a GPS receiver Garmin.*

*Mr Lejot studied the natural environment and its main features. Among several, the agricultural potential was defined through the study of the various types of terracing walls.*



# Rêve-partie à GSF...

■ François BODIN Président de GSF

*L'assemblée générale ordinaire de l'association, tenue le 31 janvier dernier, est un lieu où l'on se prend parfois à rêver...*

**N**otre engagement de participer au démarrage de l'Ecole Supérieure des Ingénieurs Géomètres et Topographes de Cotonou arrive à sa fin au terme de presque 4 ans de collaboration. En cette année 2003 nous allons assurer la venue d'un étudiant béninois pour son travail de fin d'études en France ainsi que la fin des cours à Cotonou avec une approche des SIG : des Vosges à Cotonou, de son cabinet de Géomètre-Expert dont elle laissera les commandes quelques jours à la chaleur de l'accueil africain, c'est un peu cela l'esprit de GSF dans lequel se reconnaît notre amie professeur bénévole et l'aboutissement d'un rêve des membres de l'association, celui de tout parent qui voit son enfant lâcher la main et se mettre à marcher d'un pas encore incertain.

Au delà des bilans et de la fin de mission d'accompagnement évoquée ci-dessus, le projet moteur discuté au cours de l'assemblée générale nous a été fourni par une équipe de jeunes ESGT qui ont monté une association d'étudiants interne à l'école mais destinée à ouvrir ses adhérents sur l'international ; leur volonté d'une prompte action a permis de ré-activer une demande qui sommeillait depuis quelques mois, demande qui émanait d'une autre association d'étudiants assurant des actions de développement à Madagascar (voir XYZ n°91) et dont les besoins en topographie correspondent aux projets d'adduction d'eau qu'ils installent sur place.



La "rêve-partie" a, un moment, supplantée les débats ordinaires et parfois austères d'une assemblée générale : aider au rapprochement non seulement des jeunes malgaches et des jeunes français, mais encore d'étudiants issus de diverses écoles, voilà une belle occasion de faire tomber quelques barrières de préjugés et de certitudes... Philippe PELLEGRINI, déjà parti à Madagascar, a tout de suite accepté de troquer sa mire pour un chapeau de coordinateur et de contrôleur sur place au milieu de tous ces jeunes professionnels.

Et puis, et comme d'habitude, toutes ces missions n'aboutiraient pas s'il n'y avait le nerf de la guerre. A ce sujet la volonté d'indépendance de l'association conduit le bureau à ne solliciter que les professionnels de la géométrie et de la topographie pour des aides ponctuelles sous forme soit de billet d'avion, soit de dons ou prêts de matériel ; alors encore merci d'abord aux adhérents de base, collaborateurs de cabinets, de sociétés ou de bureau d'études, d'enseignants des lycées professionnels, géomètres-experts, ensuite aux instances professionnelles qui nous soutiennent chacune à leur façon : syndicat UNGE, Conseils Régionaux ou Conseil Supérieur de l'Ordre des Géomètres-Experts, Association Française de Topographie.

Merci surtout de permettre que notre rêve de partage et de paix devienne réalité au travers maintenant des jeunes que nous accueillons ou que nous aidons à partir à la rencontre des autres... ●

# Vasarely rime

■ Jean-Pierre MAILLARD

*Au croisement de la Francilienne et de la nationale 3, la route de l'Allemagne, Villeparisis demeure un lieu de passage comme elle l'a toujours été au cours des siècles. Incontestablement, son nom souligne la dimension gallo-romaine de la France puisqu'il signifie littéralement "le domaine des Parisis". En donnant son nom à Paris cette tribu gauloise devient la plus connue de toutes et cette notoriété, au-delà de l'Ile de la Cité, berceau des premiers occupants, rejaillit également sur la commune de Seine-et-Marne.*

Outre ce nom chargé d'histoire, Villeparisis est connue par le souvenir de Madame de Berny et d'Honoré de Balzac dont la relation passionnée a révélé l'écrivain – il y a écrit "Le lys dans la vallée" – et, plus récemment, par l'échange fructueux entre la commune et Victor Vasarely. La proximité de sa résidence d'Annet-sur-Marne où il est décédé en 1997 explique le lien noué avec la municipalité voisine.

Ainsi Villeparisis est signalée par l'existence d'un monument en forme de "V" fiché sur l'esplanade du centre culturel, aussi plat qu'une équerre isocèle. Par un trompe-l'œil abouti, l'artiste a mis en évidence deux empilements de briques qui symbolisent la construction de la cité. Cette réalisation s'est transformée depuis en un logotype municipal dont on reconnaît, pour une fois, immédiatement la signature. Précédemment, l'inauguration du centre culturel avait été marquée par une exposition Vasarely.

Dans l'Hôtel de ville, la salle des mariages est singularisée par huit lithographies du maître d'un format unique de 80 cm x 80 cm de la période "Gestalt" centrée sur l'année 1969. Il s'agit du traitement de la même trame, sorte de construction axonométrique, dont la perception se révèle différente selon la couleur dominante, la combinaison de plusieurs couleurs générant des damiers et selon l'accrochage des cadres par tel ou tel côté. La rigueur du trait, l'uniformité des aplats constitués d'autant de triangles et de losanges, le soin quasi mécanique apporté à l'exécution des couleurs franches tranchent avec l'effet de clair-obscur produit, riche de couleurs lumineuses soulignées par l'illusion des ombres. Ce faisant Vasarely met en œuvre sa méthode créative programmable s'appuyant sur l'équation:

losange = carré + espace + mouvement + temps



© Yvette Velay



# avec Villeparisis

Pour Arnaud Pierre *"la géométrie vasaréienne est une géométrie relativiste perpétuellement modifiée par le mouvement et par les forces dont elle est le résultat provisoire"*. La savante combinaison des couleurs de chaque unité polygonale amplifie et accentue la perception de la profondeur. Ainsi l'artiste transforme magnifiquement la froideur des mathématiques.

Vasarely a donné gracieusement toutes ses réalisations pour Villeparisis à la commune. Pour marquer sa reconnaissance, la municipalité milite pour un projet culturel public dans la propriété de l'artiste à Annet-sur-Marne aujourd'hui libre à la vente d'autant que Vasarely a été le propre architecte-décorateur de son atelier.

Victor Vasarely est né en 1906 à Pésc en Hongrie. Après de brèves études de médecine dont il gardera la rigueur scientifique, Vasarely entre en 1929 à l'école du Bauhaus de Budapest, le Muhely. Il s'initie au constructivisme et découvre l'Art abstrait. A défaut de pouvoir rejoindre le Bauhaus de Dessau, opprimé par la montée du national socialisme en Allemagne, il émigre en France dès 1930. Dès lors c'est chez Havas qu'il devient jusqu'en 1946 un graphiste distingué. De son côté il s'exprime par la peinture et, en 1947, sa recherche lui révélera que l'abstrait *"est la forme pure et la couleur pure pouvant signifier le monde"*.

Il expose pour la première fois en 1944 à la galerie Denise René inaugurant du même coup le haut lieu parisien de l'art géométrique qu'elle est encore aujourd'hui. Les sorts de l'artiste et de la galeriste sont désormais scellés et, ensemble, ils deviennent des agitateurs de projets. Cela s'est notamment traduit par l'établissement de son manifeste jaune (du fait de la couleur du papier) en faveur des théories esthétiques abstraites introduisant l'appréhension du mouvement

dans les compositions : la plastique cinétique. L'exposition *"Le Mouvement"* d'avril 1955 explicite le manifeste et fait entrer l'art cinétique de Vasarely, d'Agam, de Tinguely et de bien d'autres dans l'Histoire de l'art. La démarche correspondante sous-tend l'interaction de l'œuvre et du spectateur dont le déplacement génère l'illusion du propre mouvement de l'œuvre en cause.

Puis son art a franchi l'Atlantique. En 1964 le Muséum of Modern Art de New York (MoMA) organise une première exposition retentissante d'art optique *"The responsive Eye"*. Cet événement consacre ce qui s'appelle désormais *"l'op art"* dont Vasarely devient le chef de file. Après 1966, Vasarely, dont la notoriété monte de façon vertigineuse, obtient une célébrité presque mondaine jusqu'à devenir une sorte de peintre officiel du président de la République Georges Pompidou. Cette réussite peut d'ailleurs paraître paradoxale pour un sympathisant du Parti communiste français au financement duquel il a contribué. En effet Vasarely considèrerait que l'artiste ne peut plus être un génie solitaire illuminé par « l'Idée » et qu'il a pour seule fonction possible celle de chercheur. Cette position s'inscrit dans les contextes social et urbain de l'époque et souligne sa conviction que l'art doit participer au progrès de la connaissance du monde. Sur le plan pratique, elle se traduit par la création des multiples pour rendre les œuvres accessibles à de nouveaux acquéreurs à des conditions éco-

nomiques acceptables pour les amateurs. Cette volonté d'être dans l'époque se concrétise également par une relation privilégiée avec la société Renault Automobiles qui a constitué une collection d'Art contemporain entre 1967 et 1985. En janvier et février 2003, Vasarely était d'ailleurs à l'honneur dans l'Atelier du " Pub Renault " sur les Champs Elysées à Paris.

Le couronnement de sa vie intervient dès 1976 par la création de la Fondation Vasarely à Aix-en-Provence qui concrétise ses idées sur l'intégration de l'Art dans la cité même si l'artiste n'a pas mis la gestion de l'établissement dans les meilleures mains. Quoiqu'il en soit il laisse un héritage pictural sans comparaison dominé par l'illusion de la 3D, ce qui le rend si proche des géomètres. ●

Art et Géométrie participe également à la semaine FIG d'avril prochain en proposant, en marge de l'exposition professionnelle, un accrochage d'art contemporain. Les visiteurs et les amateurs feront mieux connaissance avec les œuvres de Marino di Teana et de Ghislaine Escande dont la rubrique a déjà commenté une réalisation. De même ils découvriront des peintures d'Yvette Velay par ailleurs en charge de l'illustration photographique de la plupart des articles *"Art et géométrie"* d'*x, y, z*.

**Exposition les mardi 15 et mercredi 16 avril 2003. Entrée libre  
ENSG Cité Descartes à Champs-sur-Marne (Seine-et-Marne)**



© Yvette Velay