

xvz

Éditée par
l'Association
Française de
Topographie

n°88

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

L'altimétrie
laser



***Le TGV méditerranannée
contrôle et repérage de la voie***

Directeur de la publication

André Bailly
Ingénieur Géomètre ETP

Rédaction et administration XYZ

AFT : 2 avenue Pasteur -
94165 Saint Mandé cedex
Tél. : 01 43 98 84 80 - Fax : 01 43 74 72 80
E-mail : aftopo@club-internet.fr
Site : http://perso.club-internet.fr/aftopo
secrétariat : tous les jours de 9 h à 17 h

Comité de Rédaction

Emmanuel Natchitz
Enseignant Chercheur (ESTP)
Pierre Grussenmyer
Maître de Conférence - ENSAIS
Bernard Ravez
Responsable de service Topographique
(Bouygues TPI)

Conseil d'orientation scientifique

Jean Bourgoin
Ingénieur Général Hydrographe ER
Robert Chevalier
Géomètre-Expert DPLG
Pierre Grussenmeyer
Maître de Conférence - ENSAIS
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

Dépot légal

3^e trimestre 2001 ISSN 0290-9057

Tirage de ce numéro : 2 500 ex

Abonnement annuel

France CEE : 480 F / 73 €
Étranger (avion, frais compris) : 500 F / 76 €
Les règlements payés par chèques payables
sur une banque située hors de France doivent
être majorés de 60 F / 10 €
le numéro 130 F / 20 €
Le bulletin d'adhésion est en page 85

*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.*

Membre du SPCS

Syndicat de la Presse Culturelle et Scientifique

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

Membre de la FIG (Fédération Internationale des Géomètres) 

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

E-mail : aftopo@club-internet.fr • **Site internet** : http://perso.club-internet.fr/aftopo

Septembre 2001 • 3^e trimestre

Editorial 5

Info-Topo

Les informations de la profession 7

Événement

24^e colloque de l'AFT à St-Amand-
Montrond 20

GPS



Bilan d'un levé de ligne à grande vitesse
par profilomètre ferroviaire
Adaptation au TGV Méditerranée
Stéphanie Beets 15

SIG archéologie

Le site gallo-romain du Vieil-Evreux
(Eure) *Laurent Aubry* 32

GPS



Le Sommet du Spitsberg Newton ou
Perrier ? *Yves Vallette* 36

Technologies nouvelles

L'altimétrie laser, nouvelle technologie
en plein essor *Eurosense* 45

SIG

Les Systèmes d'Informations
Géographiques (SIG) au service de
l'exploration pétrolière chez TotalFinaElf
Jean-Michel Amouroux 48



SIG

Le SIG au service
d'une étude
nationale sur
l'impact des mines
antipersonnel
*Frédéric Cussigh,
Sylvain Ogier et
Lionel Schutz*

53

Informatique

Apport de l'Orientation-Objet dans le
développement d'applications
informatiques
F Becker 59

Imagerie satellitaire

HRS sur Spot 5 : le relief en plus ! 63

Géodésie

Le développement du vecteur DGPS le
long de la géodésie
Claude Million 68

GSE

L'esprit de GSE... ? *François Bodin* 72



Art et Géométrie

Merkado :
ode à l'art construit
*Jean-Pierre
Maillard* 74

Vie des régions

Tunnel de La Major Marseille 76

Topo-vécue

Le combat des chefs
Robert Chevalier 77

FIG

FIG : Semaine de Travail Séoul (Corée)
6 au 12 mai 2001
Michel Mayoud 81

Les livres

..... 76
Pour la recherche de nos annonceurs
consulter la page 81.

Début octobre 2001, se tiendra à Saint-Amand-Montrond notre congrès annuel de topographie. Limité habituellement au seul secteur professionnel, il va cette année s'ouvrir au grand public. En effet, ses aspects scientifiques et commerciaux traditionnels seront complétés par des manifestations populaires et festives réalisées grâce à l'appui de la municipalité d'accueil.

A terme, notre ambition est bien de faire rayonner cette manifestation au-delà des cercles professionnels habituels vers le nombre sans cesse croissant des utilisateurs de la topographie en France, comme les manifestations existant en Allemagne, Angleterre et aux USA.

Nous sommes convaincus en effet que nous nous situons au départ d'une grande aventure. Elle peut mobiliser d'ici 3 ans l'ensemble d'un domaine économique qui regroupe un très grand nombre d'acteurs (fournisseurs, prestataires, clients et utilisateurs) de tous les secteurs concernés.

L'exemple du Festival International de Géographie lié à la ville de Saint-Dié nous montre le chemin. Après seulement 10 ans d'existence, il attire quelques milliers de visiteurs.

D'après son président-fondateur Christian Pierret, « il semblait un pari impossible » et « son succès mondial résulte de sa dimension à la fois scientifique, populaire et festive ».

Ce pari, nous pouvons nous aussi le tenir, même si bien entendu, notre congrès n'a pas au départ la même dimension généraliste que le Festival International de Géographie. En effet, tous les professionnels attendent une manifestation unitaire, cohérente dans ses objectifs et ses réalisations. Actuellement, ils doivent disperser leur énergie dans de nombreuses actions à faible impact. Quant aux utilisateurs, ils ne peuvent pas toujours avoir une vue globale des produits et des prestations qui leur sont proposés. Enfin, aucun ne dispose de points de rencontres phares propices aux échanges d'idées et à la réalisation de ses affaires.

L'AFT est bien décidée à ce que ses moyens d'action décrits dans ses statuts permettent de développer une communication permanente autour des grands enjeux de nos métiers. Les conférences et les démonstrations prévues cette année seront ainsi centrées sur les préoccupations majeures exprimées par les différentes cibles professionnelles et utilisateur.

Nous préparerons également le futur dès notre congrès 2001 : les lieux et thèmes des deux prochaines manifestations annuelles ont d'ores et déjà été fixés : Dunkerque et Prats-de-Mollo en 2002 avec la communication, et Paris en 2003 avec les produits urbains, accueilleront nos journées professionnelles, en couplage avec un programme festif lié au méridien de Paris.

Ensemble, nous mettrons ainsi en mouvement en 2001 une dynamique qui doit permettre à la topographie d'élargir la base de ses inconditionnels vers un large publics.

André Bailly

Les 5, 6 et 7 octobre 2001

24^e colloque de l'AFT à

**Topographie et Cartographie pour le monde rural et les agglomérations moyennes
Techniques du futur dans la vie de chacun**

Le congrès 2001 au centre de la France, à St-Amand-Montrond

Des démonstrations, conférences et débats seront répartis les 5 et 6 octobre entre enseignants, fournisseurs, prestataires, et utilisateurs. L'objectif sera d'abord de répondre aux souhaits exprimés par les Maires et responsables des services techniques du département du Cher dans un questionnaire qui leur a

été diffusé, puis de montrer les voies du futur de notre profession. Les thèmes abordés seront les systèmes d'information géographiques (SIG), les cartes sur PC, les photographies aériennes et la 3^e dimension, et la topographie au sens large incluant les positionnements par GPS.

2000 - 2004 : ouverture du 3^e millénaire avec l'AFT

Ce congrès 2001 est le premier d'une série de quatre qui ouvriront le 3^e Millénaire, avec l'ensemble des partenaires professionnels, publics et privés, dans le domaine de l'AFT qui est la mesure de la Terre. L'objectif est de générer une dynamique du secteur topo-carto français en symbiose avec ses clients et son public souvent plus passionnés que les professionnels qui réduisent parfois, la vision de leur métier à 21, 19 ou 15 pouces. Si nous devons exprimer nos techniques à ce public qui croit encore aux aventures de nos métiers, c'est lui qui nous fera connaître avec son sentier géographique le long du Méridien de Paris, ses expositions, ses reconstitutions historiques, et ses randonnées. Ces congrès resteront bien sûr professionnels et d'événements festifs.



Les cartes 3D sur PC



GPS topcon

■ 5 - 6 octobre 2001 : journées professionnelles

2001, au milieu de la Méridienne de France, à St-Amand-Montrond, Morlac, Vesdun, avec le Conseil Général du Cher et l'IGN

Congrès : « Plans et cartes pour le monde rural et les agglomérations moyennes » et « Techniques du futur dans la vie de chacun »

Démonstrations et conférences, dans l'ordre exprimé par les Maires et responsables ayant répondu à une enquête menée

- **Les Systèmes d'Information Géographique :** Principe, utilisations, objets en 3D, intérêts communaux
- **Les Photos aériennes** utilisations directes et transformations en plans et cartes
- **La cartographie sur PC** utilisations, mises à jours, le 3D, cadastre, personnalisation
- **Le positionnement par satellites (GPS) :** Principe, utilisations, précautions à prendre
- **La Topographie** faire et utiliser les plans, contrôles de stabilités, guidage d'engins

St-Amand-Montfond

Daniel Schelstraete

■ 6 - 7 octobre 2001 : journées culturelles

Thème festif : Les hommes du XVIII^e siècle passent le relais à ceux du futur. Démonstrations des instruments anciens et du futur

Inaugurations : Sentier du méridien de Paris (section du Cher) - Monument de la Géodésie Française - signal de Ripolle (commune de Vesdun)

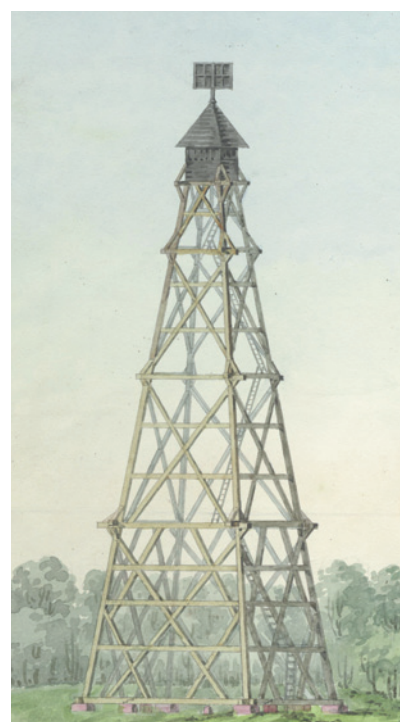


la chambre syndicale des géomètres experts du Cher

Expositions historiques : MESURER LA TERRE

par les communes organisatrices, et l'IGN avec la participation de géomètres du Cher

Commune	Lieu	Sujet	Période
St-Amand	Bibliothèque	Carte de A à Z	20 sept - 10 oct
	Pôle de l'Or	Histoire des instruments	20 sept - 12 oct
	Pôle de l'Or	Aquarelles des IG (XIX ^e S)	20 sept - 12 oct
Morlac	Mairie	Le système métrique	20 sept- 12 oct
Vesdun	Grande salle	Le point de Ripolle	5-7 oct



Programme des 3 journées

Vendredi 5 octobre : Professionnels, scolaires et public

9h - 19h : Stands, Démonstrations, Plate forme constructeurs, Conférences, A.G. de l'AFT

20h - 21h : Clôture avec un spectacle en 3D au Pôle de l'Or

Samedi 6 octobre : Professionnels, scolaires et public

9h - 18h : Stands, Démonstrations, Plate forme constructeurs, Conférences

15h - 19h : Reconstitutions historiques, fiction du 3^e millénaire, inauguration des expositions

20 h : Clôture par une soirée berrichonne

Dimanche 7 octobre : Public

9h30 - 10h : Inauguration du monument au centre du méridien et de la première section du sentier

10h - 16h : randonnée pédestre du monument de Morlac au signal de Vesdun

17h - 18h : Inauguration du signal de Vesdun et trajet en voitures anciennes vers le village en fête

Les congrès de 2000 à 2004

■ 2001 St-Amand-Montfond :

- besoins des milieux ruraux et des petites et moyennes agglomérations.
- techniques du futur

■ 2002 Dunkerque et Prats-de-Mollo Communication, GPS et Internet dans le domaine géographique

■ 2003 Paris

- besoins aux niveaux nationaux et urbains.
- mesures des édifices et ouvrages d'arts

■ 2004 : Avec les pays ayant fait l'objet d'une mesure historique d'un méridien : Les unités de mesures internationales

2001 : monument de la géodésie française 2001-2004 : le sentier du méridien de Paris

Jean-Michel Autissier

Les excellentes relations entre l'IGN (Institut Géographique National), l'AFT (Association Française de Topographie) et la ville de Saint Amand Montrond dans le Cher permettent de lancer le projet d'un sentier du méridien de Paris et d'un Monument aux Géographes français.

Rappelons tout d'abord que, suite à une proposition de l'évêque-député Talleyrand à l'Assemblée nationale en mars 1790, les géographes Delambre et Mechain de l'Académie des Sciences de Paris, quittent Paris en juin 1792 et mettront plus de 6 ans pour déterminer, du Nord au Sud de la France, une chaîne de triangles appelée «Méridienne de France». Elle-même servira à calculer la ligne imaginaire, appelée « Méridien de Paris », qui permettra de déterminer une unité de mesure universelle de référence, le mètre, qui était proposé, dès le premier rapport de la Commission, comme l'unité de longueur équivalente à la dix millionième partie du quart du méridien terrestre...

Cette campagne de terrain unique et historique, la plus longue mesure géodésique jamais effectuée, a permis de déterminer pour la première fois dans l'histoire des hommes, des référentiels universels de la longueur (le mètre), du poids (le kilogramme) et du temps (la seconde), qui seront reconnus par la suite, dans le monde entier !

C'est cette aventure liée à notre métier que nous désirons faire revivre, à travers la création du « Sentier du Méridien de Paris ».

Pour cela, il faut retourner 200 ans après sur le terrain comme Delambre et Mechain ! ...

Mais, soyez rassurés, il n'y aura plus de mesures à effectuer, l'IGN ayant depuis cette époque envoyé de nombreux géographes et géodésiens remesurer, et recalculer cette mesure. Aujourd'hui, on peut annoncer, avec toute la précision que l'on reconnaît aux ingénieurs de l'IGN, que la longueur du méridien de Paris, sur le territoire français est de :

960 km 662m et 752 mm !

La première étape sera la reconnaissance des points géodésiques utilisés dans cette campagne et leur relevé environnemental.

La seconde sera la recherche sur le terrain, de Dunkerque à Prats de Mollo, d'un sentier pédestre au plus près du Méridien, tenant compte de tous les aspects géographiques, culturels et locaux liés à l'histoire de la Méridienne, musées, curiosités, signaux géodésiques, etc....



La troisième consistera à lister les centres d'intérêts le long de ce sentier avec étapes gastronomiques et gîtes d'étapes.

La dernière phase sera la publication d'un guide et l'implantation du sentier.

C'est cette aventure que nous vous invitons à partager, en parcourant secteur par secteur et pour quoi pas en totalité, ce chemin de 960 km... qui reliera symboliquement les hommes du XVIII^e siècle et ceux du troisième millénaire.

Le premier tronçon allant des latitudes de Bourges à Montluçon sera inauguré à l'occasion du congrès 2001 de l'AFT la réalisation de ce sentier devant durer 3 ans

Simultanément et pour commémorer le travail des tous les géographes qui ont mesuré la Méridienne de France de Picard (1620) à nos jours, un monument sera érigé par l'IGN à mi distance de Dunkerque et Prats de Mollo grâce au concours des communes de St-Amand, Morlac et Vesdun, du Conseil Général du Cher, de l'ONF.

Rappel :

Méridien « 0 de Paris » : Ligne virtuelle reliant les deux pôles en passant par le centre de l'Observatoire de Paris. Elle sert de référence pour les coordonnées Est et Ouest sur toutes les cartes topographiques en France.

Méridienne de France : Chaîne des triangles ayant permis de calculer le méridien de Paris. Les campagnes d'observations ont démarrées dès 1620 avec l'abbé Jean Picard jusqu'en 1973 avec le Général Louis Hurault. Les plus importantes furent celle de Cassini, dite « Méridienne vérifiée » entre 1683 et 1740, celle de 1792 à 1798, pour la détermination du mètre et la nouvelle Méridienne de France (1870-1892 & 1930) qui préfigure la cartographie actuelle.

Méridienne verte : Festivités de l'an 2000 et plus particulièrement du 14 juillet 2000, organisées le long du Méridien 0 de Paris.

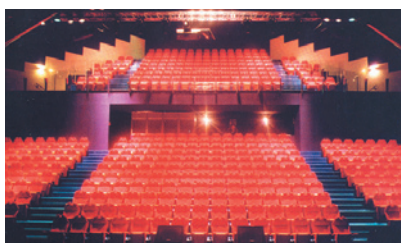
Sentier du méridien de Paris : Projet actuel ayant pour but de transmettre aux hommes du troisième millénaire l'histoire des géographes français et plus particulièrement la mesure de 1792 à 1798 destinée à l'établissement des étalons universels.



Montage du signal de Ripolle



Le Pôle de l'Or à St-Amand-Montrond



La salle de conférences



■ Cité de l'Or

Rue Pelletier Doisy, BP801
18200 St-Amand-Montrond cedex

■ Accès

A71 : Paris et Lyon 2h30,
Orléans 1h30, Bourges 0h30
Train : Paris 2h30
Avion : Bourges 40km

■ Hôtels

St-Amand	136 chambres
Bourges	1400 chambres



L'AFT par ses statuts

- L'AFT a été créée en 1978 pour regrouper (autour de la Topographie) tous les professionnels, praticiens, spécialistes, enseignants, utilisateurs, à quelque titre que ce soit.
- son activité recouvre, au sens de ses statuts : les sciences permettant la définition physique et juridique de l'espace terrestre telles que : la géodésie, l'hydrographie terrestre et marine, la topographie, la photogrammétrie, la cartographie, l'expertise foncière et toutes les activités parallèles, ou d'applications liées à ces activités.
- l'un de ses moyens d'action est l'organisation de conférences, journées d'études, colloques, séminaires et congrès.

■ Contacts AFT

2, Av Pasteur
94165 Saint-Mandé cedex
Tel : 01 43 98 84 80
Fax : 01 43 74 72 80
E-mail : aftopo@club-internet.fr
Site : <http://perso.club-internet.fr>
Président : André Bailly
Organisation : Jacques Riffault





Bilan d'un levé de ligne à grande vitesse par profilomètre ferroviaire Adaptation au TGV Méditerranée

*Stéphanie Beets - Ingénieur ENSAIS
Division de Topographie SNCF Paris*

La Division de Topographie de la SNCF utilise le Profilomètre Ferroviaire Geo++® SURVER depuis 1999, dans le cadre du développement d'applications de levé dynamique de voie, dans le but de répondre à des contraintes très spécifiques de l'activité ferroviaire, notamment en ce qui concerne la surveillance et la maintenance des voies ferrées, qu'elles soient classiques ou à Grande Vitesse.

Nous avons abordé dans notre dernier article l'analyse qualitative d'une voie ferrée, au travers de l'utilisation de nouvelles applications dans le traitement des données acquises (voir XYZ n°85 pages 35 à 38), à savoir le calcul automatique de flèches et la décomposition du tracé en éléments géométriques, développées en réponse aux besoins exprimés par les Etablissements avec lesquels nous travaillons et dans un souci d'innovation.

Nous nous proposons à présent de dresser le bilan de l'ensemble des opérations qu'il est possible de mettre en œuvre avec le profilomètre, et ce dans le cadre d'un levé particulier : celui d'une Ligne à Grande Vitesse (LGV).

Dans cette optique, après un bref rappel sur le fonctionnement du système et une présentation de la LGV Méditerranée, nous précisons les objectifs de l'étude, puis la mise en place des outils de traitement nécessaires. Les parties suivantes concernent les interventions de terrain et le traitement qui en découle, ainsi qu'une synthèse des résultats obtenus.

Contexte des travaux réalisés

Rappels sur le fonctionnement du système

Il s'agit d'un système de mesure dynamique, constitué d'une station de référence et d'une composante mobile, chacune équipée d'un capteur GPS bifréquence.

La composante mobile, Geo++® SURVER (figure 1), sert de support au MicroPort, l'ordinateur embarqué équipé du logiciel de traitement Geo++-GN_BAHN/PM, dans lequel s'effectuent tous les calculs nécessaires au positionnement et à la détermination de la géométrie de la voie.

Il s'agit d'un logiciel de positionnement différentiel Temps Réel, utilisé en mode cinématique. Les données



Fig. 1 : Geo++® SURVER

sont traitées par combinaison de phase et pseudo-distance, le mode de calcul utilisé se rapprochant de la trajectographie. Le profilomètre ferroviaire calcule, à la cadence d'une seconde, les coordonnées de l'axe de la voie au niveau du plan de roulement, avec une précision de ± 8 mm.

L'antenne étant placée au-dessus du bord supérieur de l'une des files de rail, les mesures d'écartement et de dévers sont nécessaires pour réduire les coordonnées à l'axe, exprimées dans le système N.T.F. (Nouvelle Triangulation de la France). Des cap-

teurs, calibrés lors de chaque intervention, sont ainsi utilisés (un inclinomètre et un extensomètre). Nous obtenons alors un semis de points très dense (tous les 80 cm environ).

A propos du TGV Méditerranée...

Commençons par présenter brièvement la LGV Méditerranée. Sa construction est une entreprise dont le lancement des premières études à la demande du gouvernement date de janvier 1989. En mai 1999 sont

posés les premiers mètres de rail, en octobre 2000 ont débuté les circulations des premières rames d'essais. La maîtrise d'ouvrage relève du Réseau Ferré de France, la maîtrise d'œuvre étant confiée à la Direction de la Ligne Nouvelle TGV Méditerranée de la SNCF. La mise en service commercial de la ligne date du 10 juin 2001.

La LGV représente 250 km de ligne à double voie, entre Valence et Nîmes ou Marseille. Notre intervention couvre la zone présentée sur la figure 2, soit 100 km de ligne. Trois lignes composent la LGV :

- **Ligne 752** (Valence-Marseille) entre Mongragon et Cavaillon jusqu'à la base travaux de Cheval Blanc sur 70 km,
- **Ligne 834** (Valence-Nîmes), la branche partant des angles en direction de Nîmes sur 25 km,
- **Ligne 836**, la branche Grand Sud, permettant la liaison entre Nîmes et Marseille sur 5 km.

Sur ce tracé, le Triangle des Angles au niveau d'Avignon est impressionnant de complexité, puisqu'il représente le point de concours et de croisement des lignes. Les croisements appelés sauts de mouton en sont l'illustration.

Le profilomètre dans le cadre du projet

Objectifs

Notre intervention survient lors de la finalisation de la LGV, c'est-à-dire suite aux travaux de superstructure. A ce stade, notre tâche consiste à vérifier que la voie implantée par les entreprises de Génie Civil, est bien posée par rapport à la position théorique du tracé d'implantation : en effet, les voies (V1 et V2) sont implantées à 2.40 mètres de l'axe de la plate-forme.

Outre cet aspect récolement, une partie des mesures réalisées s'inscrit dans le cadre du repérage planimétrique et altimétrique de la voie. Pour cela sont réalisées des mesures de nivellement et de gabarit (on entend par gabarit la distance horizontale entre le bord extérieur du rail et diverses installations ferroviaires tels



Fig. 2 : Le tracé du TGV Méditerranée

que les poteaux caténaires), qui seront en effet exploitées ultérieurement en vue de la maintenance de la ligne.

Pour répondre à ce double objectif de récolement et de repérage géométrique, une méthodologie particulière de levé et de traitement, adaptée à la LGV et plus particulièrement au TGV Méditerranée a dû être mise en place.

Les mesures réalisées concernent les points situés au droit des poteaux caténaires (présents en moyenne tous les 40 mètres), des bornes jaunes d'ORP-FRP (Origine et Fin de Raccordement Parabolique, en plan), des bornes vertes d'ORC-FRC (Origine et Fin de Raccordement

Circulaire, en profil en long), matérialisant les raccordements du tracé, ainsi que les bornes blanches de PRA (Pointe Réelle d'Appareil). La figure ci-contre rappelle ces éléments.

Mise en place des outils de traitement

Il s'agit là d'une intervention que nous n'avons pas l'habitude de traiter : méthode de levé et outils de traitement n'existent pas. Il s'agit donc dans un premier temps de mettre en place et d'adapter le matériel en fonction des éléments à fournir, et mettre en œuvre une chaîne de traitement adéquate.

1. La base théorique
Afin de contrôler la position de la voie,



les éléments théoriques d'implantation de la ligne sont indispensables car ils serviront de référence. Ceux-ci ont été répertoriés dans une "base" dans laquelle est ensuite intégré l'ensemble des mesures, pour en déduire les écarts existants et les informations de maintenance.

Cette base, programmée en Visual Basic, comprend ainsi par défaut les informations théoriques suivantes pour chaque profil :

- position kilométrique (PK),
- type et numéro du point levé (CAT : caténaire, ORP, FRP, ORC et FRC),
- distance théorique par rapport à l'axe de la plate-forme,
- coordonnées (X,Y) de l'axe de la plate-forme,
- coordonnées (X,Y) de l'axe de la voie traitée (V1 ou V2),
- altitude des files de rail de la voie concernée (rail intérieur et extérieur),
- épaisseur du champignon.

Elle est destinée à recevoir les informations issues des différents levés, dans des champs prévus à cet effet :

- PK voie,
- (X,Y) de l'axe de la voie,
- Dévers et écartement,
- Altitude des 2 files de rail,
- Altitude du repère sur le poteau caténaire,
- Distance inclinée mesurée par le distancemètre (cf paragraphe suivant).

Lorsque la base est complète, les derniers champs de résultat sont complétés par calcul. Le traitement est complexe car toutes les données dépendent les unes des autres. Ainsi, nous retrouvons :

- Le PK réel des points levés,
- La distance rabattue à l'axe de la plate-forme, à partir des coordonnées de l'axe de la voie,
- La dénivellée entre le rail extérieur et le repère caténaire,
- La distance horizontale (ou gabarit) Rail-Caténaire ou Rail-Borne.

2. L'adaptation du profilomètre au levé de gabarit

Le but de cette adaptation matérielle est d'obtenir la distance horizontale d'une installation ferroviaire (caténaire ou borne) au bord extérieur du rail. Dans cette optique, notre équipe a adapté un distancemètre laser, couplé à un terminal d'enregistrement du type Husky, sur

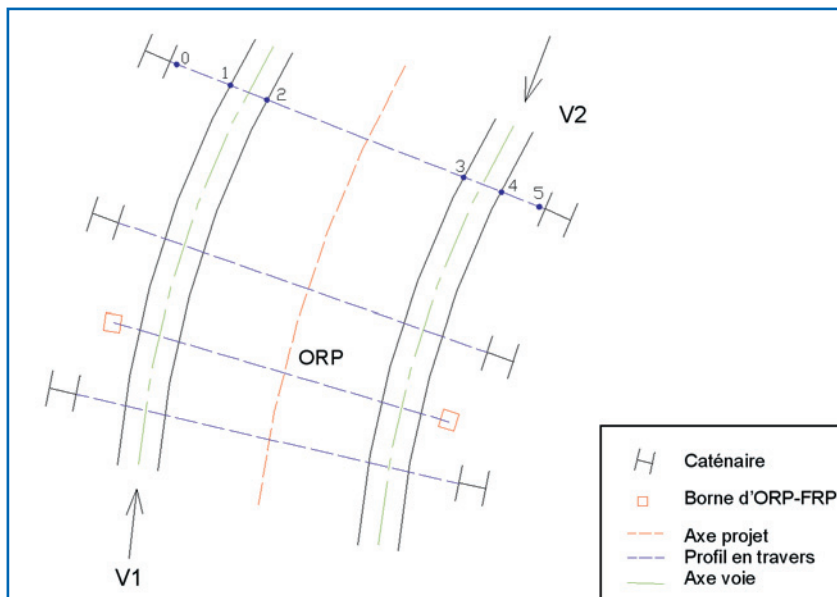


Fig. 3 : Représentation des éléments constitutifs d'une voie ferrée



Fig. 4 : Adaptation du distancemètre

le mat du profilomètre (photo ci-contre).

Le distancemètre est orienté vers l'extérieur et fixé directement sur le mat. Le rabattement à l'horizontal impose le choix de constantes, et donc une position fixe du système par rapport au mat, ce qui implique que lors du levé, ce dernier soit placé au-dessus de la file de rail extérieure.

En outre, le distancemètre doit être placé suffisamment haut pour s'affranchir de toute contrainte dans le

cas d'un dévers maximal (180 mm sur LGV) pour un écartement moyen de 1.435 m.

Ainsi, le rabattement à l'horizontal tient compte du dévers de la voie, de l'écartement, de la largeur du champignon (dans notre cas, il s'agit de LRS UIC60 de 72 mm de largeur), de la hauteur du distancemètre par rapport au plan de roulement (constante de fixation sur le mat) et enfin de la dénomination de la voie levée (voie 1 ou voie 2).

Les interventions terrain

Une quarantaine d'interventions ont été nécessaires sur environ 200 kilomètres de voie, entre février et avril 2001.

Sur chaque voie, les mesures sont réalisées par zone de 2 à 3 kilomètres de long (correspondant à la portée des radios utilisées). La référence est placée au centre de la zone. Le SURVER est poussé sur la voie à une vitesse de 2 à 3 km/h. Compte tenu de l'arrêt du système au droit de chaque point, le rendement s'élève à 1 kilomètre de levé de voie par heure.

Les mesures sont rattachées au canevas existant, exprimé en coordonnées Lambert III. Cette polygonale "plate-forme" est constituée de points distants de 300 mètres environ, matérialisés par des rivets implantés sur la piste.

Chaque intervention forme en fait

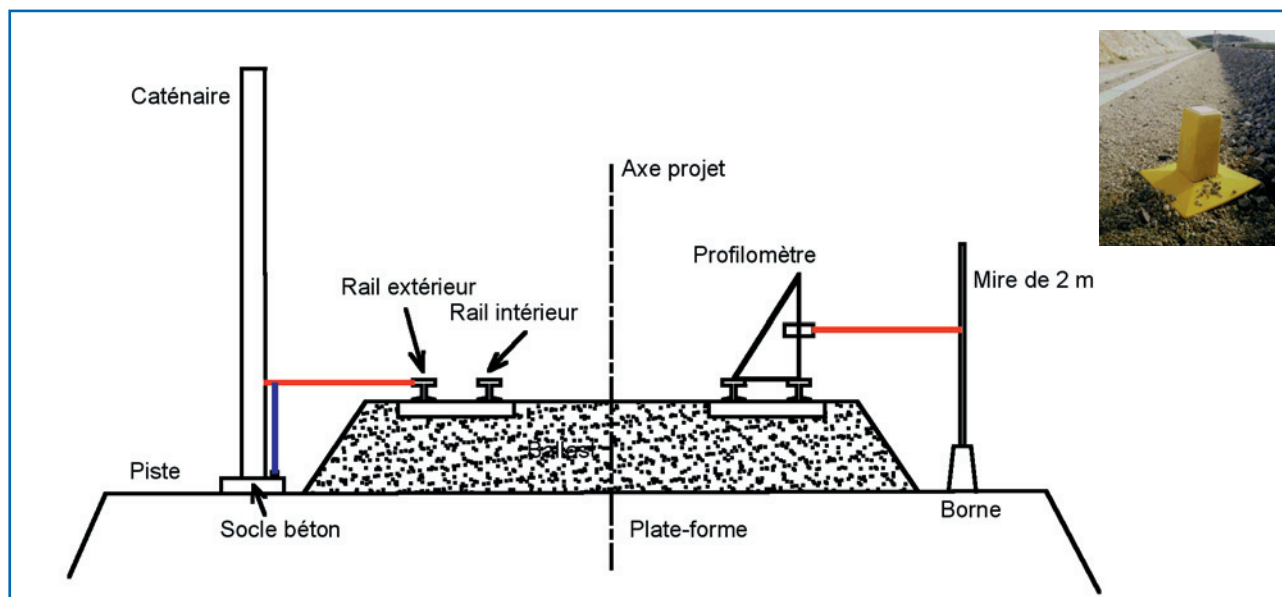


Fig. 5 : Éléments constitutifs de la voie et levé de gabarit et de dénivellée

une boucle : le levé démarre en face la station de référence, par exemple sur V1 et progresse sur 1.5 km environ dans le sens des PK croissants. Le profilomètre est alors placé en voie 2 et le levé repart sur 3 km dans le sens des PK décroissants. Enfin, de retour sur V1, la boucle se termine sur le point de départ (ce point nous donne une fermeture).

Dans la mesure du possible, nous intervenons en continu, sans laisser de secteurs à traiter ultérieurement. Cependant, la prévision de notre planning d'avancement dépendait entièrement des lieux et dates du programme général des essais de montée en vitesse. Un plan de ligne, sur lequel sont reportées les zones levées, permet de visualiser l'avancement des travaux.

En moyenne, six kilomètres de voie furent levés par journée d'intervention (3 km ligne), et ceci dépendant :

- des conditions météo (pluie ou fort mistral),



Fig. 6 : Méthodologie de levé d'une borne

Sur chaque voie, les mesures sont réalisées par zone de 2 à 3 kilomètres de long (correspondant à la portée des radios utilisées). La référence est placée au centre de la zone. Le SURVER est poussé sur la voie à une vitesse de 2 à 3 km/h. Compte tenu de l'arrêt du système au droit de chaque point, le rendement s'élève à 1 kilomètre de levé de voie par heure.

Les mesures sont rattachées au canevas existant, exprimé en coordonnées Lambert III. Cette polygonale "plate-forme" est constituée de points distants de 300 mètres environ, matérialisés par des rivets implantés sur la piste.



- de la position, la densité et la facilité d'accès : les emprises TGV sont closes et des "accès-voiture" sont prévus le long du tracé, répartis au mieux tous les 1.5 km,
- des problèmes liés aux mesures de sécurité et de protection des agents,
- des avaries matériels (mauvaise réception due à la proximité de relais sous-station),
- de l'état d'avancement de la pose des bornes.

Différents types de mesure sont réalisés :

- Position planimétrique de l'axe de la voie.
- Le nivellement direct de la voie avec un niveau NA2000, par profils en travers de 6 points (2 points matérialisés par des repères sur le socle des caténaires et 4 files de rail), rattaché au système NGF. Compte tenu du bruit de la mesure GPS plus important sur la composante altimétrique, des interventions en nivellement direct sont nécessaires pour atteindre une précision millimétrique.
- La mesure du gabarit (précision de 3 à 4 mm) : sur les caténaires, la distance est directement prise à l'axe de la face intérieure du poteau. Quant aux bornes, celles-ci sont implantées au niveau de la piste. Une mire, recouverte d'un ruban noir dans le but de rendre visible le point lumineux, est alors placée dessus. Des mesures ponctuelles directes à la chaîne ont permis de contrôler la fiabilité du système.

La majeure partie des travaux fut réalisée de jour, et fut achevée de nuit

Type de fichier	Nom adopté
Profilomètre (*.GK1)	01602V1 : 3 chiffres (PK du pivot) + 2 chiffres (2 ^e fichier ouvert) + V1 (identification de la voie)
Nivellement (*.NIV)	59159301 : 3 chiffres (PK début) + 3 chiffres (PK fin) + 2 chiffres (1 ^{er} fichier ouvert)
Disto (*.GAB)	07020102 : 3 chiffres (date : 7 février 2001) + 2 chiffres (ici, 2 ^e fichier ouvert)

tableau 1

(notamment pour les opérations de nivellement), du fait de la densification des essais TGV à partir du 3 mai.

Un complément tachéométrique fut nécessaire dans les tunnels de Bonpas, Saint Génies et sous la tranchée couverte au niveau de la sortie de la gare d'Avignon.

Résultats

Traitement

Suite à ces opérations sur le terrain, la chaîne de traitement intervient. Elle suppose tout d'abord une organisation rigoureuse, surtout lors de la sauvegarde des données. Nous avons pour cela opté pour une arborescence bien précise, permettant une hiérarchisation exploitable des données, à savoir un répertoire par ligne, pour chaque ligne des répertoires par lot, et pour chaque lot :

- un répertoire contenant les fichiers de nivellement (commun aux deux voies),
- un répertoire V1 et un répertoire V2 dans lesquels on trouve les fichiers issus du disto et du profilomètre ainsi que la base correspondante.

Les noms de fichiers sont conçus de telle sorte qu'ils soient facilement identifiables (voir le tableau 1).

Les fichiers sont transférés et sauvegardés par journée de travail. Puis les fichiers sont importés dans la base, qui centralise l'ensemble des données et gère la mise en correspondance des points théoriques et levés, par le biais du PK (pour le profilomètre et les fichiers de nivellement) et du numéro de caténaire (pour les gabarits).

Le calcul des cellules de résultats est rendu possible à partir du moment où la base est complète.

Résultats finaux

A partir de la base de données sont édités deux types de tableau de résultats, concernant respectivement le récolement et le repérage géométrique de la voie.

Les résultats sont alors fournis sous forme de 3 fichiers Excel, un fichier par ligne, chaque fichier contenant 4 feuilles :

- Deux feuilles concernant le récolement (en V1 et V2),
- Deux feuilles concernant le repérage de la voie pour la maintenance (en V1 et V2).

Sur la totalité du chantier, 5270 profils-voie ont été traités.

1. Le récolement

Ce tableau permet d'évaluer la position de la voie dans les 3 dimensions, à travers les écarts :

- De la distance rabattue à l'axe par rapport à la théorie,
- De nivellement des deux files de rail.

2. Le repérage géométrique

Ce tableau indique le PK rabattu réel, le gabarit mesuré, l'altitude du repère situé sur l'ancrage du caténaire et de la file de rail extérieur (dont on

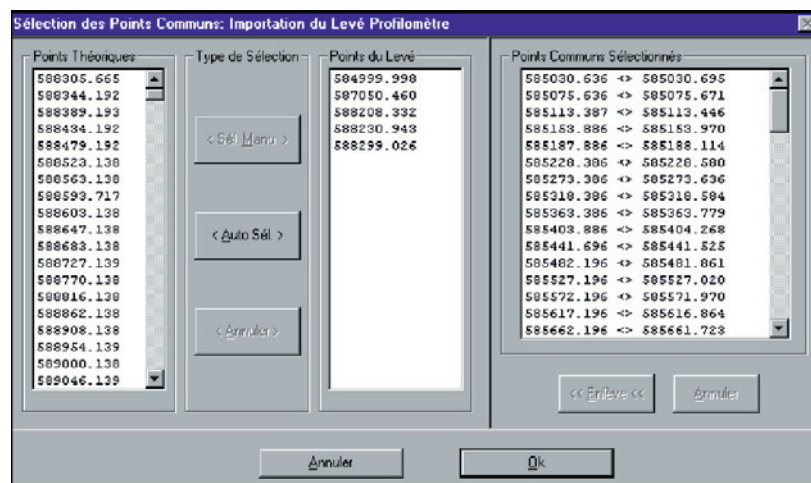


Tableau2 : Mise en correspondance points levés-points théoriques (ici pour le profilomètre)

VALEURS THEORIQUES							VALEURS LEVEES CALCULEES			ECARTS (mètres)		
Km	Type	Dis/AxeP	X Axe Voie	Y Axe Voie	Z Int.	Z Ext.	Dis/AxeP	Z Int.	Z Ext.	Dist.	Z Int.	Z Ext.
585871.386	CAT	-2.400	788088.709	218278.506	46.318	46.175	-2.397	46.295	46.151	0.003	-0.023	-0.024
585911.820	CAT	-2.400	788092.488	218238.261	46.298	46.155	-2.399	46.273	46.129	0.001	-0.025	-0.026
585952.321	CAT	-2.400	788096.486	218197.971	46.278	46.135	-2.396	46.260	46.116	0.004	-0.018	-0.019
585992.820	CAT	-2.400	788100.695	218157.703	46.258	46.115	-2.399	46.241	46.096	0.001	-0.017	-0.019
586033.321	CAT	-2.400	788105.116	218117.457	46.237	46.094	-2.402	46.219	46.076	-0.002	-0.018	-0.018
586073.821	CAT	-2.400	788109.749	218077.236	46.217	46.074	-2.398	46.193	46.051	0.002	-0.024	-0.023

tableau 2 : Tableau de résultats (récolement) – Lot 21 – Voie 1 – Ligne 752



déduit la dénivelée) et enfin l'écart kilométrique entre la position théorique et le PK réel.

Conclusions et perspectives

Plusieurs campagnes de mesure ont d'ores et déjà été réalisées avec le profilomètre, dans plusieurs régions en France, et notamment dans le cadre d'études relatives à la réouverture de ligne au service voyageur, au récolement de voie, à la modification de tracé, au raccordement du TGV Est sur ligne existante, et le dernier chantier en date concerne le TGV Méditerranée, objet de notre article.

Au delà de la position de la voie en absolu, le profilomètre ferroviaire et ses applications sont des outils d'aide à la décision. Ils facilitent la connaissance de la voie, en amont dans la préparation d'opérations d'entretien de la voie (comme les renouvellements de voies et ballast), ainsi qu'en aval dans la vérification de travaux réalisés, ce qui nous concerne ici.

Les informations de repérage géo-

VALEURS THEORIQUES			VALEURS LEVEES / CALCULEES					
Km	Type	N°	Km Rabat.	Dist. Hz.	Z Repère	Z Rail Ext	Delta Z	Delta Km
585030.636	CAT	585 030 01 0	585030.708	2.300	46.116	46.594	0.478	-0.072
585075.636	CAT	585 075 03 0	585075.697	2.292	46.035	46.570	0.535	-0.061
585113.387	CAT	585 113 05 0	585113.475	1.972	46.033	46.542	0.509	-0.088
585153.886	CAT	585 153 07 0	585154.012	2.176	46.308	46.514	0.206	-0.126
585187.886	CAT	585 187 09 0	585188.165	2.105	46.257	46.494	0.237	-0.279
585228.386	CAT	585 228 11 0	585228.646	2.317	45.961	46.474	0.513	-0.260
585273.386	CAT	585 273 13 0	585273.715	2.307	45.929	46.456	0.527	-0.329
585318.386	CAT	585 318 15 0	585318.677	2.304	45.928	46.434	0.506	-0.291
585363.386	CAT	585 363 17 0	585363.884	2.306	45.891	46.411	0.520	-0.498
585403.886	CAT	585 403 19 0	585404.387	2.286	45.887	46.391	0.504	-0.501

tableau 3 : Tableau de résultats (repérage géométrique)

métrique permettront aux agents de maintenance de contrôler la position de la voie par rapport aux poteaux caténaires, par chaînage du gabarit et mesure de la dénivelée entre le repère et le rail.

Certes, le personnel doit être formé à son principe mais l'utilisation conjointe du profilomètre et du distancemètre améliore le rendement pour plusieurs raisons :

- Rapidité de la prestation, compte tenu de la densité d'informations recueillies par ce système intégré, en une seule passe :
 - position planimétrique de la voie, dévers, écartement,
 - gabarit des installations ferroviaires.

→ ce qui se traduit par une réduction du nombre d'interventions sur le terrain et ainsi un gain en terme de productivité.

- Rentabilité accrue des opérations :
 - sur le terrain : l'agent s'affranchit d'un certain nombre de mesures directes et de leur transcription sur un carnet de terrain, qui sont source

de faute,

- au niveau du traitement, la gestion des différentes données est automatique : le calcul des gabarits à l'horizontale tient compte du dévers et de l'écartement enregistrés par le profilomètre.

- Système évolutif : possibilité d'améliorer à nouveau le produit pour l'adapter à de nouveaux travaux.

Ainsi, le profilomètre ferroviaire a permis de réaliser un levé linéaire de près de 200 km de voie, sur une quarantaine d'interventions, tout en s'adaptant aux contraintes éventuelles que l'on peut rencontrer sur le parcours et à la configuration du terrain (masques, etc ...).

Si le profilomètre est opérationnel dans son fonctionnement, l'adaptation matérielle et logicielle est en constante évolution. Ce chantier fut ainsi l'occasion d'évaluer à grande échelle les capacités du système et de montrer qu'il est possible de combiner plusieurs types de mesure sur un même appareil. C'est éga-

Le site gallo-romain du

Etude documentaire

Contexte et but de l'étude

De manière générale, les archéologues ne disposent actuellement que de la fouille pour étudier les structures anthropiques présentes dans le sol. Les contraintes financières actuelles de l'archéologie tant programmée que préventive font que les surfaces décapées sont de plus en plus réduites. Cette politique de fouille s'oppose donc paradoxalement à une connaissance nécessaire sur de grandes surfaces.

Cet état de fait implique donc pour les années à venir une évolution des méthodes d'études de l'objet archéologique que l'on peut assimiler à une amélioration de la gestion du patrimoine : meilleure connaissance préalable à la fouille, ouverture « stratégique » afin de préserver au mieux les structures présentes, étude de risques archéologiques,...

C'est dans cette optique que ce travail s'inscrit (L. Aubry, étudiant en thèse à l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI et ingénieur géophysicien à Terra Nova sarl). Son objectif consiste donc en la mise en place d'un protocole d'étude permettant la documentation de surfaces étendues sans avoir à les fouiller.

Si ce travail de recherche intervient dans le cadre du projet de valorisation de l'édifice thermal du Vieil-Evreux (Conseil Général de l'Eure), il a pour but l'étude de l'ensemble de l'agglomération antique et de son environnement (limites, faubourgs, voies d'accès,...) sur une surface de l'ordre de 250 hectares. Il apporte ainsi une dimension globale à la connaissance du site, à l'échelle de l'agglomération antique.

Cette étude est menée en employant des méthodes de prospections non destructives telles que les prospec-

tions géophysiques, l'étude de photographies aériennes (photo-interprétation, ortho-photographies), l'établissement d'un Modèle Numérique de Terrain ainsi que l'analyse de documents cartographiques (cadastres moderne et napoléonien, carte de Cassini, carte d'Etat Major, ...).

Ce type de problématique de recherche ne peut se concevoir sans l'utilisation d'un Système d'Information Géographique, permettant l'intégration, l'exploitation et la confrontation des diverses sources d'informations. Le SIG apportera en outre, à terme une aide à la décision considérable quant à la mise en place de problématiques archéologiques et par conséquent au choix des zones à préserver et/ou à étudier en priorité.

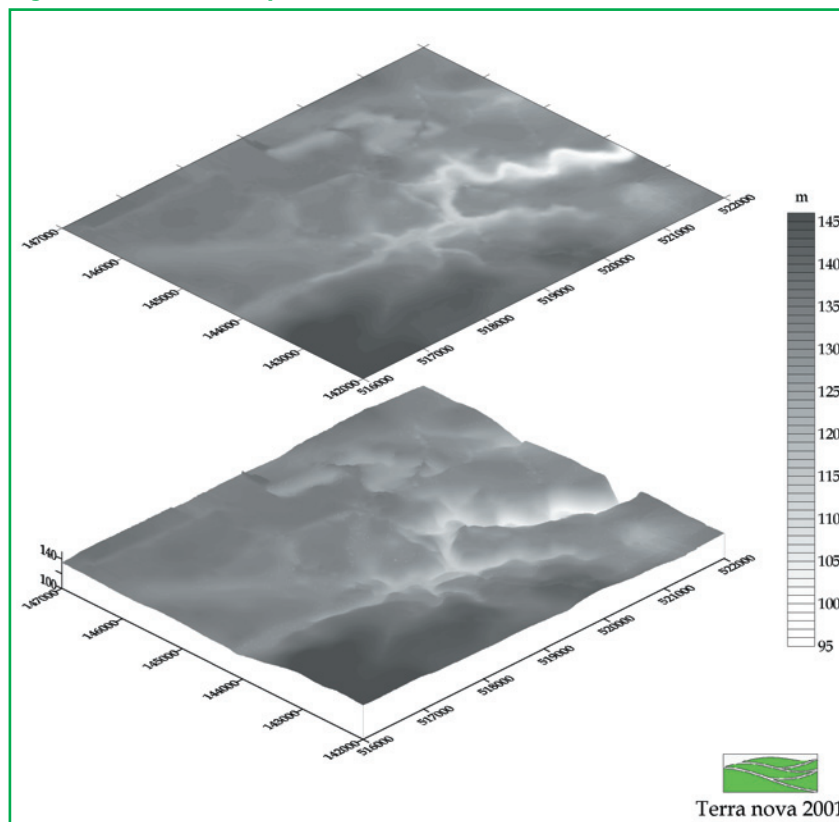
Quelques résultats ...

1. Modèle Numérique de Terrain.

Un Modèle Numérique de Terrain de précision infra-métrique, comme base topographique tridimensionnelle est indispensable.

Cette étude concerne l'établissement d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à partir de couples de photographies stéréoscopiques (source IGN) et de points mesurés sur le terrain à l'aide d'un GPS différentiel. La précision verticale souhaitée est de l'ordre de 50 cm ou inférieure. Outre l'aspect tridimensionnelle replaçant la ville antique dans l'espace, ce MNT devrait éventuellement permettre de déceler les variations topogra-

Fig. 1. Modèle Numérique de Terrain.



Vieil-Evreux (Eure)

Laurent Aubry, ing., Terra NovA sarl.

phiques causées par les vestiges de la ville antique. Intégré au Système d'Information Géographique (SIG) que nous utilisons, il sera donc un outil primordial pour la définition des zones à risques archéologiques.

Les couples stéréoscopiques de photographies aériennes de l'IGN servant de base au calcul du MNT ont été définies (échelle 1/15 000^e). Les négatifs ont été numérisés directement par les services de l'IGN à une résolution de 1200 dpi soit un pixel pour 30 cm terrain.

A suivi, l'acquisition des points de contrôle positionnés sur le terrain par un GPS différentiel, (en collaboration avec l'IRD, le CNRS). Ces points positionnés par GPS selon les trois directions de l'espace sont visibles sur les photographies aériennes et donc serviront de points d'appui pour géoréférencer les photographies dans le système de coordonnées Lambert I.

Lors des campagnes d'acquisition GPS, les données ont été acquises selon deux modes opératoires distincts :

- **acquisition statique.** Un jeu de données ponctuelles, permettant un recalage relatif des photographies aériennes servant à l'établissement du MNT. Acquis avec une précision spatiale de 30 cm, la précision spatiale du MNT sera de cet ordre de grandeur.

- **acquisition cinématique.** Un jeu de données acquises en mouvement permettant un recalage absolu du réseau routier de la zone d'étude.

A l'heure actuelle, ce MNT est en cours de réalisation.

Un premier MNT a toutefois été élaboré à partir des points cotés et des courbes de niveau obtenus par digitalisation des cartes IGN au 1/25 000^e, et par les points GPS précédemment acquis. De précision verticale, métrique, ce MNT est utilisé pour le redressement de divers clichés

obliques du site.

2. Etude cadastrale.

Simultanément à l'élaboration du MNT, une étude documentaire a débuté. Elle a pour but l'acquisition numérique de différents documents (cadastres napoléonien et actuel) pour les intégrer sous forme vectorielle dans le SIG.

Lors d'une première étape, une partie de ces documents a été vectorisée sur une table à digitaliser. Se révélant peu pratique pour la digitalisation de documents de grand format et/ou de petites échelles, ce procédé a été remplacé par la digitalisation directe « à l'écran », à l'aide du logiciel Didger 2 (golden software). Le protocole d'acquisition possède trois étapes distinctes : numérisation, digitalisation et géoréférencement

Le cadastre actuel a été numérisé (avec une résolution de 400 dpi) à l'aide d'un scanner professionnel permettant la numérisation de documents de grand format. Ce type de scanner est bien sûr, calibré pour rendre les erreurs de numérisation négligeables.

Les feuilles du cadastre napoléonien (1812), trop fragiles, n'ont pas pu être numérisées par le même procédé. Elles ont été photographiées après

avoir été placées sous une vitre sur laquelle des repères avaient été tracés tous les 10 cm. Après numérisation des diapositives, les repères ont servi au « redressement » des clichés.

La digitalisation directe à l'écran possède plusieurs avantages importants sur le procédé de vectorisation à la « table à digitaliser » :

- **Il est possible de numériser n'importe où !** Il n'est plus besoin de dédier une pièce et un ordinateur spécifique à la table à digitaliser.

- **La possibilité de zoomer « à volonté »** le document permet de vectoriser précisément des zones délicates ou confuses. L'erreur propre de la numérisation devient alors négligeable par rapport à l'erreur inhérente au document. Sur la table une erreur d'1/4 de mm sur un document au 1/25000^e correspond à une erreur sur le terrain de l'ordre de 6m.

- **L'outil informatique permet une gestion plus souple des projets de numérisation.** Contrairement à la digitalisation sur table, il est possible de revenir facilement, a posteriori sur les documents pour acquérir une nouvelle couche d'information, corriger un positionnement, reprendre un tracé mal interprété.... Ce gain en souplesse de travail se traduit au final par des exports aux formats vectoriels



L'outil informatique permet une gestion plus souple des projets de numérisation. Contrairement à la digitalisation sur table, il est possible de revenir facilement, a posteriori sur les documents pour acquérir une nouvelle couche d'information, corriger un positionnement, reprendre un tracé mal interprété.... Ce gain en souplesse de travail se traduit au final par des exports aux formats vectoriels classiques type dxf et/ou compatibles SIG (ESRI, MapInfo, ...).

classiques type dxf et/ou compatibles SIG (ESRI, MapInfo, ...).

Bien entendu, ce travail n'a de sens que si les couches d'informations sont, *in fine*, replacées dans leur contexte géographique pour être intégrées dans un SIG.

Le cadastre actuel est exprimé dans des systèmes de coordonnées variables selon les communes et les époques de mise à jour des feuilles cadastrales (systèmes propres au document d'origine). En premier lieu, un recalage relatif des documents est nécessaire pour uniformiser les systèmes de coordonnées et ainsi vérifier la cohérence des documents entre eux. Enfin, les acquisitions cinématiques au GPS sur le réseau routier ont servi

de base pour géoréférencer les couches d'informations du cadastre actuel. Prendre le réseau routier comme base de géoréférencement est une hypothèse qui se justifie pour le cadastre actuel uniquement.

Le géoréférencement du cadastre napoléonien, plus problématique s'est basé sur le réseau routier (après vérification, il est apparu que les routes ont été peu modifiées aux alentours du Vieil-Evreux), les limites communales et sur les ensembles parcellaires non touchés par le remembrement. Ce géoréférencement est, bien entendu, plus sujet à caution.

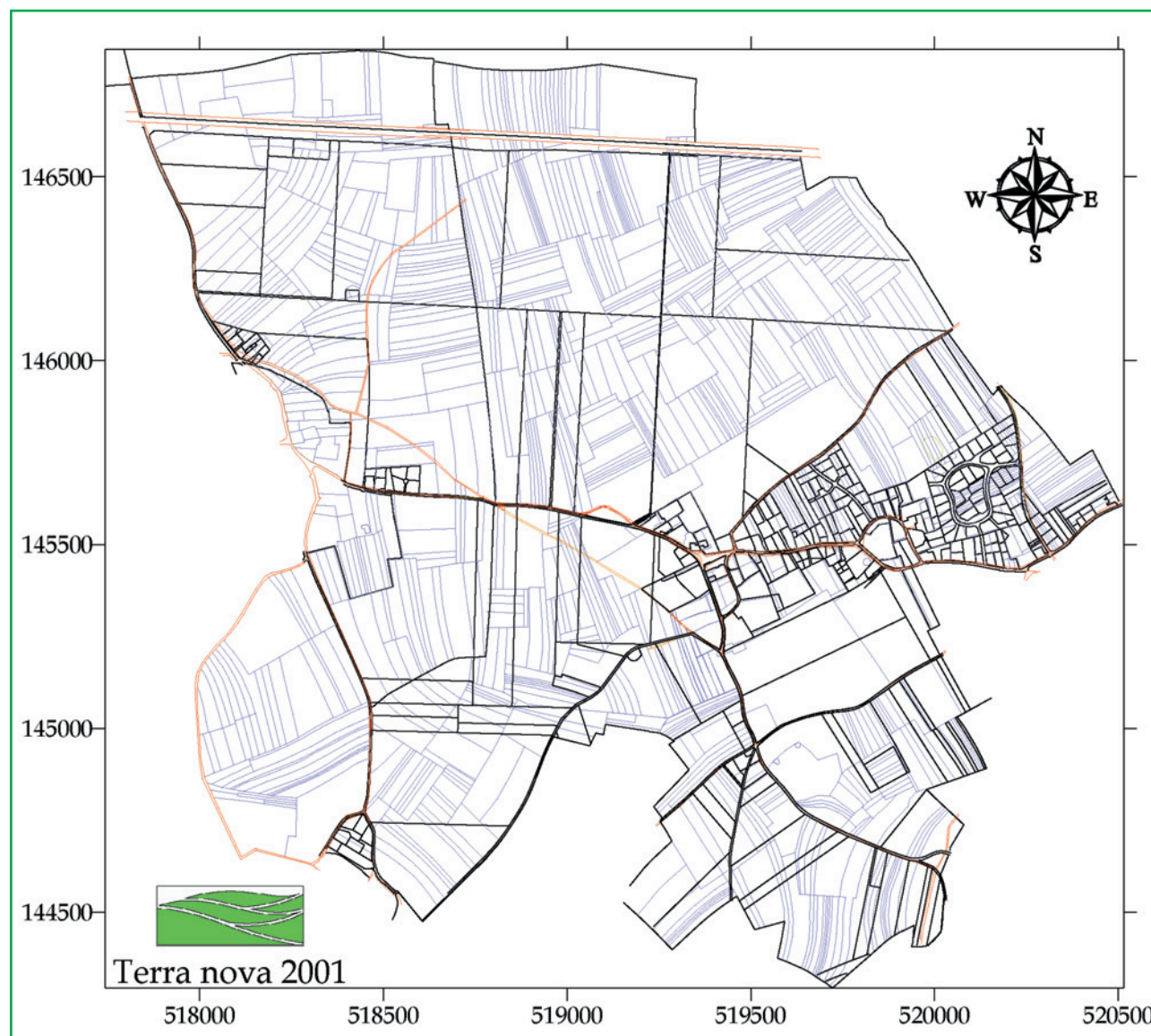
3. Prospections géophysiques multi-méthodes du fanum du Vieil-Evreux.

Parallèlement, l'intervention en terme de prospection géophysique a été poursuivie. L'étude géophysique brièvement présentée ici, concerne un temple de tradition indigène, ou fanum, édifice déjà connu par diverses photographies aériennes (R. Agache, SDA, 1976, Archéo27).

Ce bâtiment a bénéficié d'une couverture complète par la méthode électrique multiprofondeur afin non seulement de le cartographier mais aussi d'apporter une information concernant ses structures à 2 profondeurs d'investigations différentes (0.5 et 1 mètre).

Cette méthode a été couplée avec une prospection magnétique à maille fine (un profil tous les 50 cm), à l'aide d'un magnétomètre à pompage optique utilisé en mode gradiomètre.

Fig. 2. Superposition des cadastres actuel (noir) et napoléonien (bleu).



L'utilisation conjointe de ces deux méthodes distinctes a donc permis d'apporter une série d'éléments inédits parmi lesquels :

- **Contrairement à la méthode électrique, le mur externe sud** n'est pas détecté par la méthode magnétique alors que les autres murs sont détectés. Cette variation de détection entre les méthodes d'investigation atteste, soit d'un changement de nature de la structure, soit d'une variation de l'état de conservation.

- **La prospection magnétique** a mis en évidence une augmentation du champ magnétique dans la cour du fanum ce qui correspond à une variation physique du terrain (aménagement interne du fanum, conservation d'un revêtement de surface). Le changement de propriété physique de cette zone n'a pas été vu par la méthode électrique.

- **Les méthodes magnétique et électrique** ont permis de cartographier la structuration interne du fanum, une allée centrale, un mur parallèle à cette allée et un petit bâtiment.

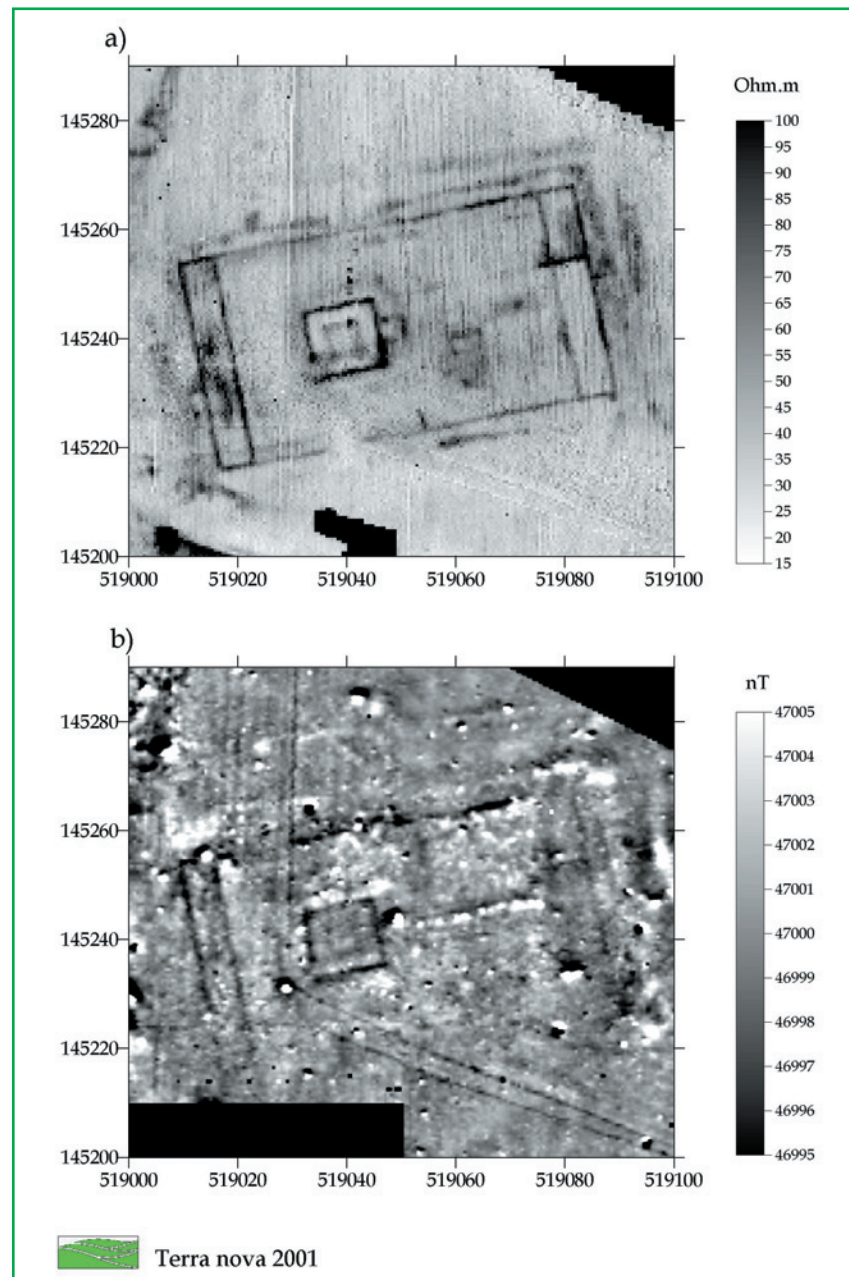
- **Au nord du fanum, la voie est parfaitement décrite par les prospections géophysiques** : le système de fossés est repéré par la méthode magnétique et le pavement par la méthode électrique.

Conclusion - perspectives

La coopération scientifique entre le Conseil Général de l'Eure, Terra NovA et l'Université Paris VI concrétisée par le travail à long terme (thèse de 3 cycle) apporte une dimension globale, à l'échelle de l'agglomération antique (250 ha), à l'approche scientifique.

Cette étude se poursuit selon les différents axes de recherche évoqués dans cet article, notamment dans l'étude du cadastre napoléonien, i.e., l'analyse spatiale du parcellaire du XIX^e siècle permettra certainement la mise en évidence d'axes antiques ou anciens jusqu'à présent inconnus ou peu documentés. D'autres résultats viendront de l'analyse couplée des divers documents entre eux, telles que les photographies aériennes, les cartographies géophysiques, les données de fouilles existantes ainsi que de la relecture de ces documents à la lumière des données nouvelles.

Fig. 3. Cartographies géophysiques du fanum étudié. a) méthode électrique, b) méthode magnétique



Ouvrages généraux et Communications.

« Le site gallo-romain du Vieil-Evreux. 4 ans de prospections géophysiques. », Aubry L., XYZ N° 72, 1999.

« Le Vieil Evreux, un vaste site gallo-romain », D. Cliquet, P. Eudier, A. Etienne, P. Blaszkiewicz, V. Brunet, J. Moesgaard et E. Poirel. (1996). Edité sous la direction d'ARCHEO 27. Publication du Conseil général de l'Eure.

« Les Sciences à la Recherche du Passé », Collectif GMPCA, Presse Universitaire de Lyon, 1990, 287p.

« Prospections Géophysiques à faible Profondeur. Applications à l'archéologie », Albert Hesse, DUNOD, 1965, 149 p.

« Near Surface, High Resolution Geophysical Methods », D.H. Heimmer et S.L. de Vore, National Park Service, 1995, 170 p.

pour plus d'informations Contacts :

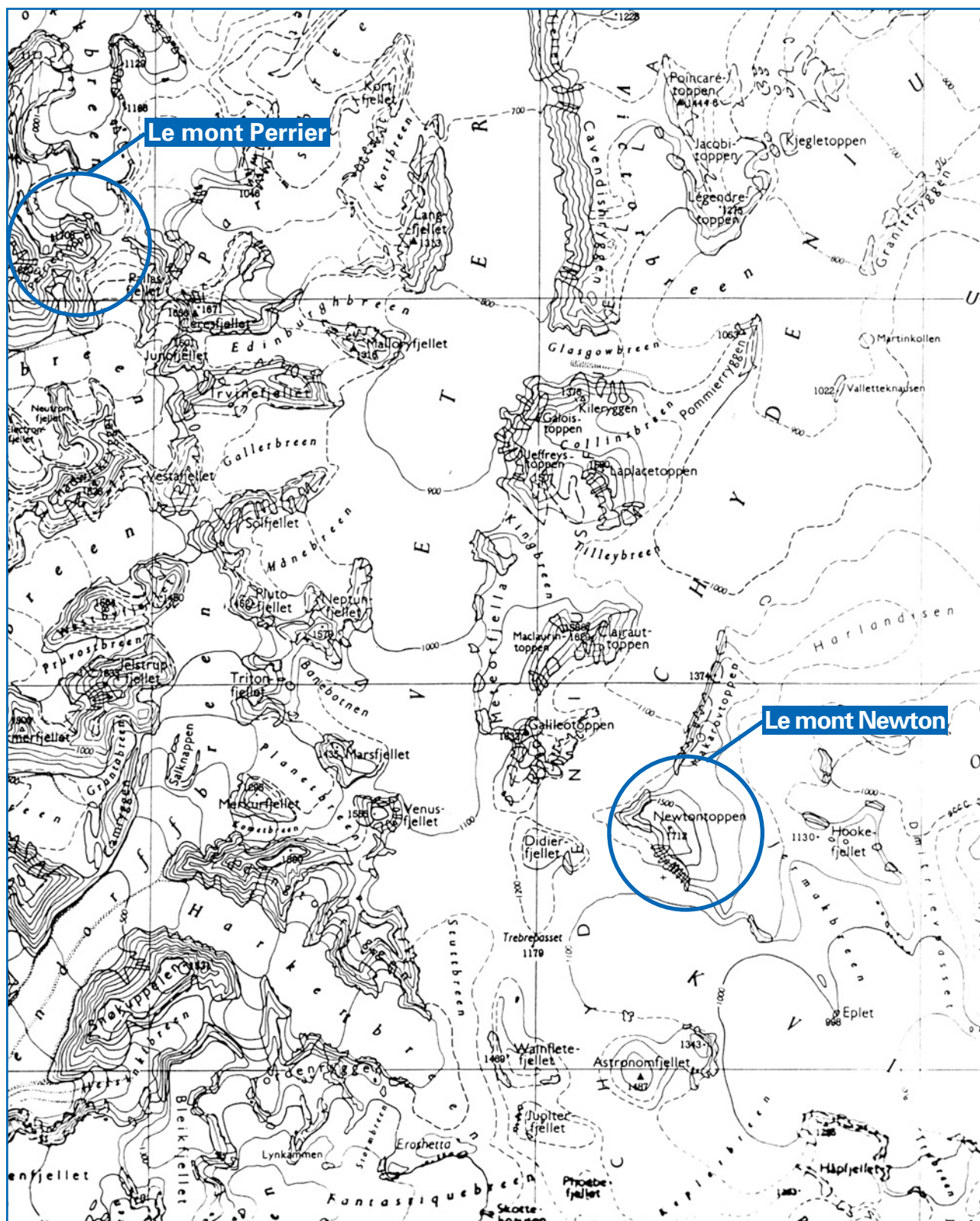
Conseil général de l'Eure.

Direction de l'Action Culturelle,
Hôtel du département,
Bvd G. Chauvin
27021 Evreux Cedex

Terra NovA. sarl

7 place de la Nation 75011 Paris
Tél : 01 44 74 77 56
Fax : 01 44 75 03 55
e-mail : terra-nova@wanadoo.fr

Le Sommet du Spitsberg



Newton ou Perrier ?

Yves Vallette



Préparation du lever à la Planchette 1946

Dans le numéro 67 de la revue XYZ 2^e trimestre 1996 a été publié l'article : SPITSBERG 1946 – Le mont Général Perrier – lever de reconnaissance à la planchette par Yves Vallette.

Il a été conté comment lors d'une expédition en 1946 trois jeunes Robert Pommier, J.A. Martin et Yves Vallette avaient fait l'ascension du Mont Newton, considéré avec ses 1 717 mètres comme le sommet du Spitsberg.

En faisant une station à la planchette pour un lever de reconnaissance, ils avaient trouvé à 22 kilomètres de distance une montagne de grande hauteur. La visée avec une alidade nivélatrice et sa bulle de niveau leur a fait affirmer, après corrections de réfraction, compte tenu de la pression atmosphérique et de la température les hauteurs comparées. Ils ont trouvé que le mont qu'ils avaient découvert était plus haut de 8 mètres que le mont Newton, avec une précision de plus ou moins 5 mètres.

Le général Perrier, Président de la Société de Géographie qui avait patronné leur mission est décédé en 1946. Les trois du Spitsberg ont donc trouvé normal de nommer cette montagne Mont Perrier.



Les cartes actuelles Norvégiennes reproduisent ce nom, en donnant toutefois aux monts Perrier et Newton une même altitude de 1 717 mètres. Ce même article raconte comment un français Claude Maillard en a fait en 1950 la première ascension.

En 1951, une expédition anglaise mesure le Mont Perrier sans le gravir et lui trouve 4 mètres de moins que le Newton.

En 1952 Michel Desorbay avait fait une visée au théodolite Wild T1, trouvant une hauteur du Perrier un peu supérieure à celle du Newton.

Ce même article se terminait par une note de l'Ingénieur Géographe J.J. Levallois sur Georges Perrier : L'attention des trois du Spitsberg a permis à Georges Perrier de rejoindre dans la toponymie les quelques géodésiens qui y ont laissé leur nom, comme Everest (Survey of India). Et pour finir : NDLR : L'auteur ne s'est pas renseigné auprès des services norvégiens afin de savoir si d'autres déterminations de l'altitude avaient été faites récemment. Il est certain qu'une campagne GPS par exemple permettrait d'avoir une certitude. La question est posée.

On en a la réponse par l'article ci après.

EXPEDITION 1717

Laurent Ricarrere est topographe du groupe TotalFinaElf . Basé à Pau, en France, il est envoyé en mission en Norvège pour le compte de sa compagnie pétrolière. Passionné par les recherches polaires, il a naturellement pris contact avec les services norvégiens, ayant la charge de la cartographie de l'archipel du SVALBARD. Il a ainsi appris par le NORSK POLARINSTITUTT que des mesures récentes avait été réalisées en 1996 par une équipe de spécialistes, utilisant le GPS. Laurent Ricarrere a rencontré cette équipe dynamique de 5, comprenant topographes, géodésien et glaciologue. Voici leur récit :

Expédition 1717

Membres de l'expédition

Bjorn Lytskjold coordinateur de l'expédition, topographe à NP/Longyearbyen.

Trond Eiken chef de la section de géodésie et cartographie à NP/Oslo. Spécialiste du GPS.

Siig Onarheim technicien des levés à NP/Longyearbyen, grand spécialiste de l'arctique.

Ellen Marie Ingulfvann Technicienne topographe à NP/Longyearbyen.

Rune Odegard glaciologue à UNIS/Longyearbyen.

Sur le terrain

Lundi 6 mai 1996

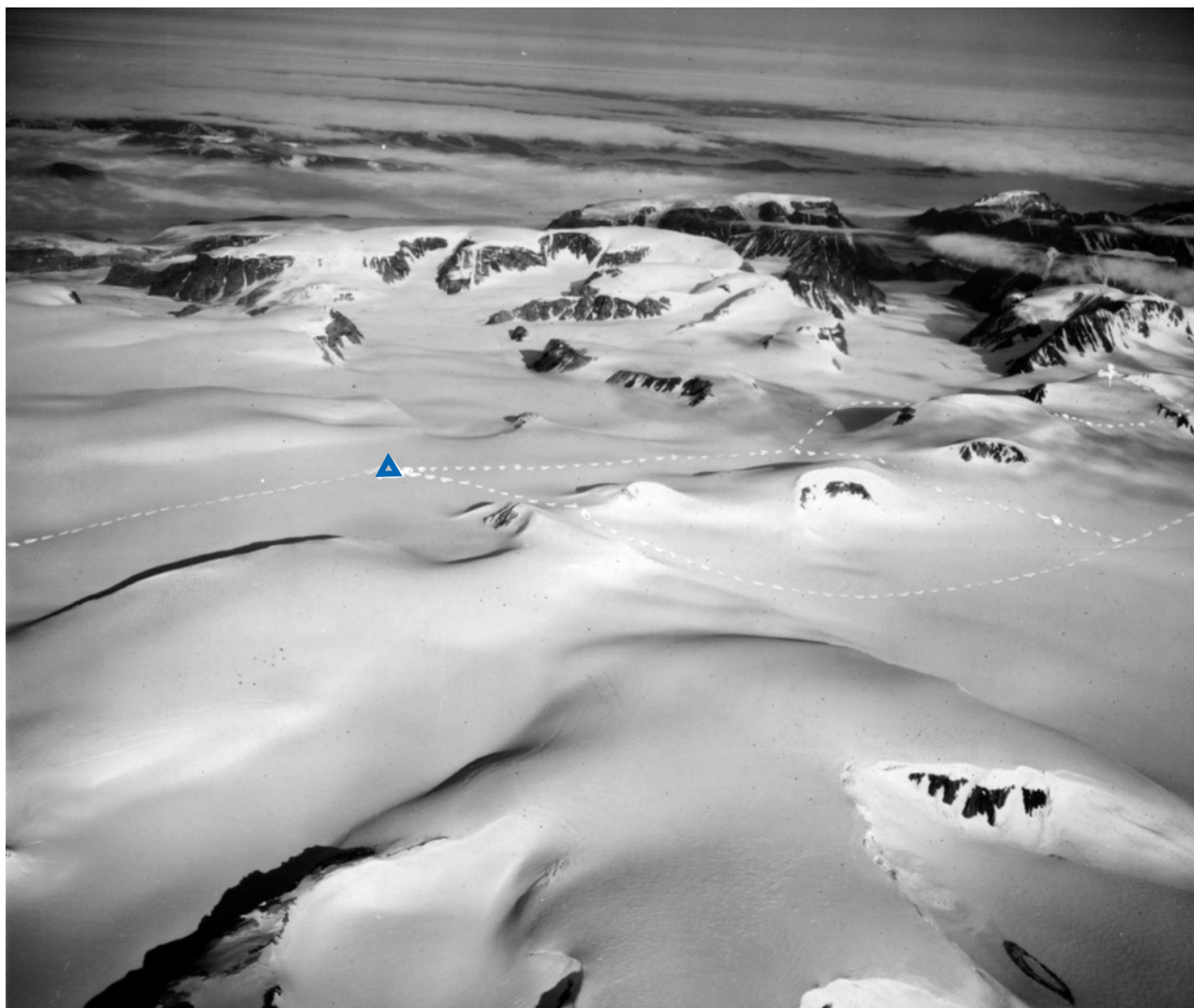
Le repas à la cafétéria n'est pas très exotique mais il nous charge pour affronter le grand Nord. Dehors nos cinq scooters des neiges n'attirent pas l'attention. Il y en a des centaines, des rapides et des gros.

Pour nous l'équipement est particulièrement précieux. Si nous avons de la chance, il nous aidera à résoudre une énigme de longue date. Quel est le sommet du Svalbard ?, si le temps, les conditions de neige et la « machinery » le permettent.

Soigneusement sanglés sur les traîneaux, les quatre joyaux pour les relevés - les récepteurs GPS de haute technologie (Global Positioning Systems), avec le carburant pour les hommes et les machines, vêtements de rechange et des fusils car il ne faut pas oublier que c'est le royaume de l'ourse polaire !...

Après avoir échappé au trafic très dense de la ville (Longyearbeen abrite environ 1 200 âmes), nous stoppons pour vérifier que les sangles de sécurités sont bien tendues. Moins dix degrés et calme complet. Ciel bleu dégagé. Conditions de rêve pour notre quintette. Le refuge Overgangshytta à Austfjorden à 150 kilomètres au Nord, sera notre base principale.

Aujourd'hui, il faudra probablement quatre à cinq heures pour l'atteindre, dirigé vite et bien par Stig. Il sait où souffle



le blizzard et où se forment des corniches sur les crêtes, où le fjord peu profond rend la glace de mer peu épaisse. Il guide notre étrange convoi comme s'il suivait des rails invisibles.

Après trois heures et demi, Tarantellen se montre à l'Ouest. Le rocher caractéristique posé sur la crête est bien séduisant aujourd'hui. Trois jambes forment deux arcs géants, de 20 à 25 mètres. Cela ressemble à un énorme insecte pétrifié ou bien à une molaire perdue par un Troll Arctique. Les scooters parkés au pied de la falaise, nous montons doucement dans la neige profonde jusque sur la crête.

Loin dans le nord-est, nos deux sommets cherchent à rester mystérieux. Le Mont Newton est presque invisible, caché dans des nuages. Le Mont Perrier s'est évanoui, soigneusement emmitoufflé dans une couverture épaisse.

C'est le soleil de minuit. Le bois échoué, découpé, brûle fort dans le poêle. Etrange, la petite hutte Overgangs, entièrement revêtue de papier bitumé. Bientôt la petite cabine est chaude comme un sauna. Seul l'air froid de l'arctique empêche la paroi extérieure de fondre. Le soleil est haut dans le ciel, droit au Nord, très brillant, ... mieux vaut se coucher...

Mardi 7 mai 1996

Aujourd'hui, il y a bon espoir d'atteindre le Mont Newton. Le temps est calme, froid et ensoleillé. Ce beau matin interdit la mollesse. Müslie et lait en poudre sont à l'ordre du jour, consommés dehors. Après une tasse de café vient le temps de l'action. Le refuge est soigneusement fermé et bloqué par des volets protégeant la douce odeur de l'intérieur de la venue des ours.



Soigneusement sanglés sur les traîneaux, les quatre joyaux pour les relevés - les récepteurs GPS de haute technologie (Global Positioning Systems), avec le carburant pour les hommes et les machines, bâches de protections et des fusils car il ne faut pas oublier que c'est le royaume de l'ours polaire !...

Avec les traîneaux plus légers, nous filons sur la glace de l'Austfjord recouverte d'une fine couche de neige. Bientôt le refuge de couleur noire disparaît derrière nous, se confondant avec la moraine qui le supporte. Le fjord immense que nous parcourons fait une nette cassure dans le paysage. Droit au Nord pendant quelques heures permettrait d'atteindre l'océan polaire. Mais nous pointons pour une station trigonométrique sur un petit cap sur la rive Est, Einsteinodden. Ici Trond installe un récepteur GPS comme station de référence. Maintenant nous sommes prêts pour le Smutsbreen ! Ce glacier doit nous mener facilement à l'Est pour monter sur le Mont Newton, si toutefois nous franchissons le front rocheux de la moraine. Quel problème ! D'en bas cela semble totalement impossible.

Le seul passage possible est couvert de glace polie comme de l'acier. Ce phénomène, appelé verglas est créé par l'eau de fonte qui coule continuellement sous le glacier pour venir geler sur la toundra. Ce n'est pas un pays de rêve pour les scooters. Pas de prise pour la chenille de caoutchouc. Pas de direction pour les skis avant.

Par chance c'est le rêve pour Stig, c'est le genre de challenges qu'il adore. Et par un étrange processus, il s'arrange pour transférer une partie de son talent sur nous autres. Doucement, doucement, en partie sur la glace dure, le reste sur les rochers et les gros blocs, nous trouvons un passage, vers la surface neigeuse et douce du Smutsbreen. Alors nous éprouvons cette sensation enfantine de bonheur et de contrôle des difficultés. C'est pour cela que nos machines bruyantes sont faites. Bientôt nous sommes 1 100 mètres plus haut.

Dans un col de neige, un peu plus au Nord, dans le coin NW du Gallerbreen, nous enfonçons un poteau de bambou qui servira de point de référence temporaire pour nos mesures. Un récepteur GPS est installé sur un tripode, centré au-dessus du poteau et mis en marche. Maintenant nous avons deux références. Nous continuons à monter vers notre séduisant sommet, suivant les glaciers. D'abord un long parcours Sud sur le glacier Veteranen, puis tournant SE sur le Kvitbreen avant de gagner au Nord le Jermakbreen. Facile parcours mais nous ne sommes vraiment pas sur une route classique. Nos traces laissent derrière nous une imposante et sombre coupure du glacier.

Le Newton

Finalement nous remontons l'étroite crête de glace du majestueux Mont Newton, droit sur le sommet arrondi, couvert de glace. Nous inspectons soigneusement le sommet neigeux sous tous ses anges et marquons le point le plus haut par un petit poteau.

Une antenne GPS sur tripode est centrée sur le piquet, prête à recevoir le signal crucial venant de l'espace, depuis les satellites, 20 000 km au-dessus de nous. Les deux heures de réception passent vite. Le panorama ici mériterait plus de temps. C'est si impressionnant ! Le ciel est si bleu. Au NE, environ à 20 km de distance- nous voyons le profil fier du rival : le Mont Perrier. Il est vrai qu'il fait très haut vu d'ici. Regardant à l'Est, nous voyons l'Hinlopenstretet, que nous avons traversé avec RV Lance en expéditions d'été. On voit aussi la vague silhouette de la Terre du Nord Est. A 100 km à l'Ouest, disparaissant presque dans la brume légère, caractéristique sommet du Tre Kroner dans la direction de Ny-Alesund.

Une mesure additionnelle de GPS est faite avant de quitter la région, sur le Didierfjellet, (1 455), fier sommet 2,5 km à l'Ouest du Mont Newton. De cette façon, nous connectons nos nouvelles mesures avec celle existant déjà, établi par station trigonométrique.

Le trajet de retour à Overgangshytta nous donne une leçon de plus de ce que peut faire un scooter. Pour éviter la moraine de pierres au Smuth, Stig nous guide sur la descente très raide allant du Gallerbreen au Tryggverbreen. « Ne pas bloquer les chenilles, tendue à casser », c'est l'instruction utile pour arriver jusqu'en bas. C'est un plaisant parcours sur le Tryggverbreen, descendant jusqu'au fjord. On fait une courte escale à la Villa Autness, un refuge sommaire en bois, pour bavarder avec les trappeurs Trond Lokke et Astrid Gjetsen. On se met d'accord pour venir dîner demain, maintenant il est temps de retourner à notre refuge. La nuit est tellement ensoleillée. La nuit est si plaisante. Juste au sud de Overgangshytta, le vaste front de glacier du Mittag-Lefflerbreen coupe ce paysage blanc, intensément bleu-vert. La falaise verticale de glace est de 4 km de long. Nous sommes évidemment inspirés par ce décor magique. Autour de la table du dîner, l'atmosphère est profonde, fumante de bonheur. « Skål pour un vrai beau jour ».

Mercredi 8 mai 1996

Cinq polaires satisfaits. Un simple refuge. Un paysage de montagnes couvertes de neige et le vrai beau temps. Aujourd'hui nous allons nous occuper du Mont Perrier. Pain, fromage brun et café bouillant. Et il est temps d'y aller. L'équipe est divisée en deux, une partie doit faire l'ascension du sommet, l'autre fera les mesures aux points de référence. Trond, Ellen Marie et Rune sont chargés des références : Les récepteurs GPS sont placés aux mêmes deux stations trigonométriques utilisées pour le Mont Newton. (Einsteinodden et Col de Gallerbreen). En plus un troisième instrument est placé sur une petite île, Bjornesholmen à l'Ouest de villa Austnes, pour une station trigonométrique à cet endroit.

Une mesure additionnelle de GPS est faite avant de quitter la région, sur le Didierfjellet, (1 455), fier sommet 2,5 km à l'Ouest du Mont Newton. De cette façon, nous connectons nos nouvelles mesures avec celle existant déjà, établi par station trigonométrique.



En 1946, le scooter des neiges n'était pas inventé

Stig et moi-même, Bjorn, doivent faire le sommet. Comme hier, allons au Nord sur la glace recouvrant l'Austfjorden, et après 20 km, nous tournons à l'Est et montons la surface facile du glacier du Tryggvebreen. Les conditions de neige sont parfaites. Après une heure de scooter nous arrivons au « col » juste à l'Est du Mont Perrier. (environ 1 250 m. a.s.l.)

Où nous stationnons les scooters. De là c'est très raide pour ce que nous avons à monter à pied. Stig-le champion du Snow-scooter ne peut pas vraiment spéculer sur la façon dont il ferait la montée avec la machine, mais il le fait quand même : « j'aurai pu conduire ici à la montée ... mais non... car ç'a aurait été trop raide à la descente... »

Le Perrier

Piolets, crampons, sacs à dos. Bien respirer. Maintenant, on se sent vraiment dans une vraie expédition arctique. Plutôt être prudent ici. Ce n'est pas un endroit à raccourci.

C'est raide et le vent rend la neige dure comme du roc. Lentement, très lentement, nous atteignons le sommet neigeux. Comme au Mont Newton, c'est un glacier qui constitue le sommet et nous sommes dessus. Soudainement, un brouillard glacé nous place dans un monde sans dimensions visuelles. Horizon et panorama ont disparu, ainsi que le ciel.

Nous déposons nos sacs et cherchons le sommet avec suspicion. « C'est ici le plus haut ! »

L'antenne du récepteur GPS est installée directement sur la glace et la modeste hauteur de quelques millimètres au dessus de la surface est soigneusement noté sur un carnet. Maintenant, il y a juste à attendre, pendant deux heures. C'est si blanc ici, et très froid. Les deux grimpeurs en nage comprennent pourquoi refroidir est une forte expression. On ne se sent pas dynamique ici. Avaler une bouteille thermos de thé bouillant correspond plus à nos désirs.



Avec les doigts gelés, l'équipement est rangé dans les sacs et les piolets sont sanglés autour des poignets. Il est temps de descendre. A vitesse lente, nous descendons en zigzag vers les scooters des neiges. Avec notre précieuse charges de données. Les marches en saccades causent une sensation de brûlure aux cuisses. Descendre est plus dur que monter.

L'équipe complète se retrouve à Tryggvebreen. Les autres ont simplement descendu leurs instruments de Gallerbreen. Les deux instruments toujours en action à Einsteinodden et Bjornnesholmen seront récupérés plus tard, mais d'abord : Villa Autness ! Astrid nous accueille avec un large et chaud sourire. Elle est seule ce soir et a préparé une table accueillante pour six. Nous apportons crevettes, pain blanc et vin.- un changement au menu des trappeurs-elle nous sert du café fort et de bons gâteaux. Les heures passent vite. Un blizzard froid vers la côte, en suivant les traces récentes d'un ours.

Jeudi 9 mai 1996

Nous faisons le ménage à Overgangshytta après un dernier déjeuner du matin, ensuite Rune et Stig nous disent au revoir. Ils vont se diriger au Nord Ouest pour faire des mesures avec le radar du glacier. Les trois restants ferment le refuge et brûlent l'équipement sur les traîneaux. Ensuite, départ le long de la rive, retour à Longyearbyen. C'est le temps de revenir au bureau et de commencer les calculs de GPS. Actuellement nous ne savons toujours pas quel mont est le plus haut!

La seule chose que je sais est que je suis monté dessus...

Caculs

Normalement les mémoires sont personnels, mais pas pour les enregistrements GPS. Tous les quatre, sont téléchargés au bureau de Longyearbyen. Mon espoir d'avoir le résultat après quelques demandes à l'ordinateur s'évanouit vite quand Trond, le géodesien, disparaît dans le clavier du PC. Sa silhouette annonce une concentration maximum, pour de nombreuses heures !

Géoïde, ellipsoïde, signal de disturbance de l'ionosphère, incertitude sur les points de références, c'est ce qui rend les mesures de GPS si compliquées. Alors que les altitudes vraies se réfèrent au niveau de la mer, c'est à dire le géoïde, le GPS calcule les hauteurs sur un modèle mathématique de la terre basé sur un ellipsoïde. Au Svalbard la différence de hauteur entre les deux « oïdes » peut facilement atteindre 30-40m, avec des anomalies locales dramatiques.

Pour avoir les valeurs correctes des altitudes avec des enregistrements GPS, cette différence doit être déterminée avec précision. Pour cela, un relevé précis du géoïde est crucial, basé sur des mesures des marées, une détermination précise du coefficient de la gravité et un nivellement précis. Pour ces latitudes nordiques, ces mesures sont peu nombreuses. Cependant, un réseau valable, quoique sommaire a été établi depuis 1980. En utilisant un niveau fictif oblique pour représenter le géoïde, utilisant tous les points fixes valables dans la région, avec des hauteurs orthométriques et ellipsoïdiques connues, Trod a poussé l'ordinateur à donner une réponse.

Résultat

Finalement, tous les modèles de combinaisons ont été essayés et évalués. Le résultat est prêt pour être présenté. Les deux rivaux de glace savent nous maintenir en haleine, c'est une course très disputée ! Mais un sommet est le plus haut. Les étranges abréviations apparaissent claires sur l'écran de l'ordinateur. Elles représentent les deux nouvelles altitudes officielles des deux fiers sommets : NEWT : 1 712,60 - PERR : 1 711,97. Soudainement c'est décidé : Le mont Newton est le plus haut, modestement supérieur de 63 cm au Mont Perrier. La précision des mesures des altitudes GPS est estimée à environ plus ou moins 3 cm.

Sur les cartes topographiques de la série principale du Svalbard, les points répertoriés sont arrondis au mètre le plus proche. A partir de maintenant, les nouvelles éditions vont mentionner : Mont Newton 1 713 m, Mont Perrier 1 712.

Epilogue

En janvier 2001, Trond a fait des calculs complémentaires aux mesures de 1996 avec un nouveau logiciel. Le résultat de cet exercice final est : Mont Newton 1 713,05 m, Mont Perrier 1 712,49. La différence relative est de 56cm. 1 713 et 1 712 restent les bons nombres.

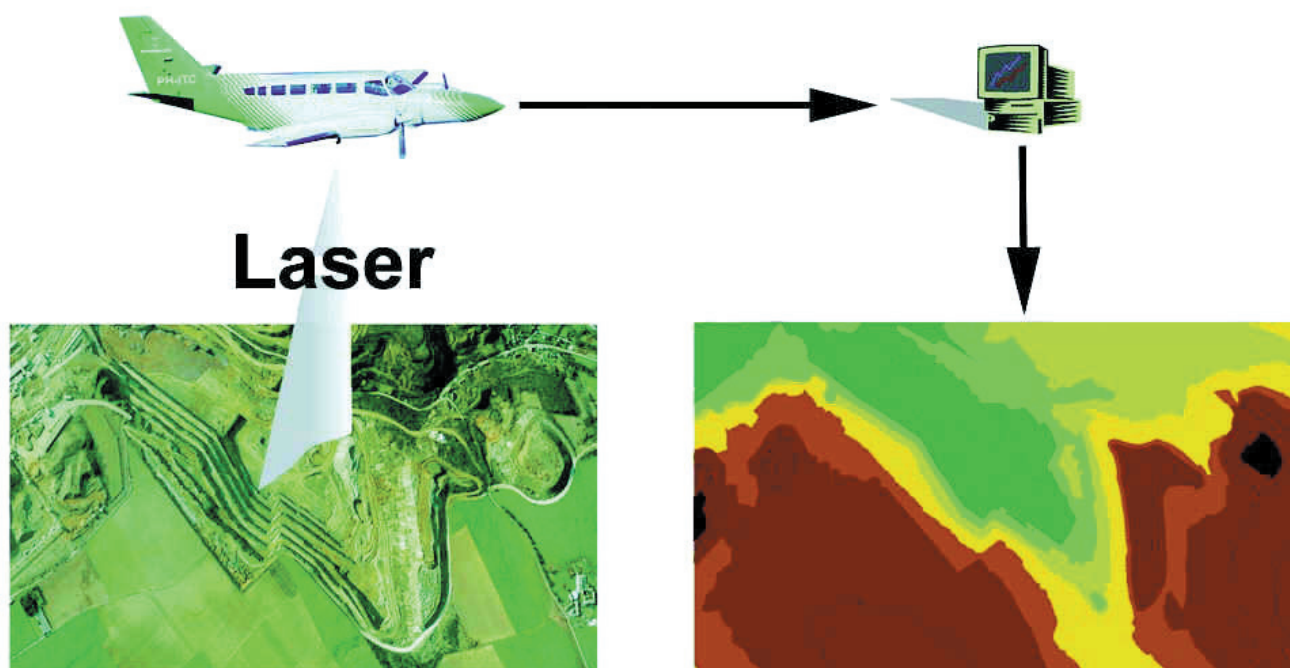
Depuis que les mesures ont été faites en mai 1996, les deux monts ont maintenant une couverture de neige différente sur leur sommet. Quel mont est au moment de la lecture de cet article le plus haut ? Personne ne sait vraiment...●

Finalement, tous les modèles de combinaisons ont été essayés et évalués. Le résultat est prêt pour être présenté. Les deux rivaux de glace savent nous maintenir en haleine, c'est une course très disputée ! Mais un sommet est le plus haut. Les étranges abréviations apparaissent claires sur l'écran de l'ordinateur. Elles représentent les deux nouvelles altitudes officielles des deux fiers sommets : NEWT : 1 712,60 - PERR : 1 711,97. Soudainement c'est décidé : Le mont Newton est le plus haut, modestement supérieur de 63 cm au Mont Perrier. La précision des mesures des altitudes GPS est estimée à environ plus ou moins 3 cm.

L'altimétrie laser, nouvelle technologie en plein essor

—EUROSENSE

L'altimétrie laser permet d'obtenir des modèles numériques de précision décimétrique. Après avoir été limitée par de nombreux problèmes techniques, cette technologie connaît depuis quelques années un essor important, grâce aux nombreux avantages qu'elle apporte par rapport aux techniques plus classiques, notamment en terme d'automatisation du processus de production. Néanmoins, la qualité du résultat final dépend fortement de la maîtrise de l'ensemble de la chaîne de production. Quelques applications majeures de l'altimétrie laser réalisées par la société EUROSENSE seront présentées.



De la simplicité du principe

Un télémètre laser ou LRF (Laser Range Finder) est embarqué sur un porteur (avion, hélicoptère ou satellite). Le principe est de mesurer précisément le temps entre l'émission du faisceau laser et son retour au porteur après réflexion sur le sol. Le laser étant une onde lumineuse, la multiplication de ce temps par la vitesse de la lumière donne directement le double de la distance entre le porteur et le sol.

La connaissance de l'altitude du sol en un point suppose donc de connaître la position précise du porteur, donnée par le système GPS (Global Positioning System), et de la direction du faisceau fournie par la centrale inertielle ou

INS (Inertial Navigation System). Ces deux outils sont complémentaires l'un de l'autre. Le GPS (utilisé en différentiel pour augmenter la précision) fonctionne en général à 2 Hz, les données sont très précises mais relativement espacées par rapport à la fréquence de mesure des points laser. L'INS, dont la précision dérive au cours du temps, est corrigée par celle du GPS. L'INS fonctionnant souvent à une fréquence beaucoup plus élevée (en général 200 Hz), fournit des indications entre les données GPS. L'intégration de ces deux données permet ainsi d'avoir une connaissance précise de la trajectoire du porteur. Les outils nécessaires lors d'un vol laser sont schématisés (Fig. 1).



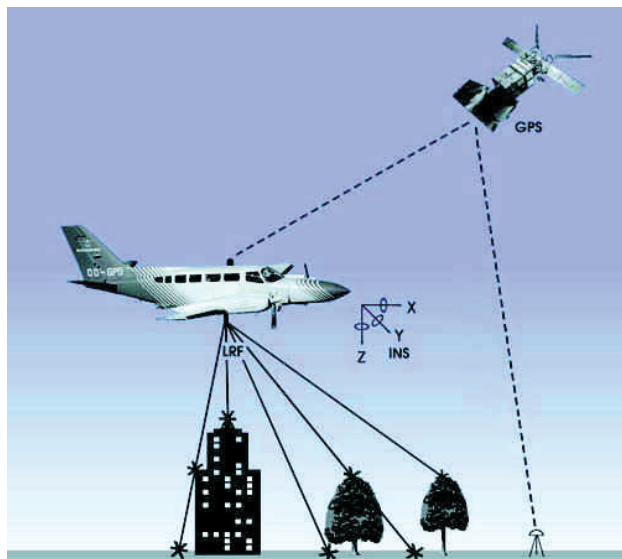


Fig. 1 : éléments constitutifs de l'altimétrie laser, exemple d'un avion

Un processus fortement automatisé nécessitant cependant une grande expérience

La complexité vient en premier lieu lors de la préparation du vol. Outre la planification du plan de vol, semblable à la photogrammétrie, il est nécessaire d'ajuster différents paramètres liés :

- au porteur (hauteur de vol, vitesse de vol, ...),
 - au système (angle et fréquence de balayage, ...),
- paramètres qui vont fortement influencer la qualité des résultats obtenus. Une connaissance précise de la relation qui lie le choix des paramètres et la qualité des résultats est fondamentale.

Les données sortent du porteur dans des unités de stockage extractibles. Elles sont directement sous forme numérique : des fichiers souvent de plusieurs gigas, contenant les colonnes des coordonnées (x, y, z). Elles sont ainsi directement exploitables par des logiciels.

Une des premières difficultés tient à l'intégration des données GPS, INS et laser afin d'obtenir les points de mesure dans un système local et de corriger certaines imprécisions liées à l'utilisation d'un système laser. Les précisions obtenues vont de 10 à 40 cm en planimétrie et de 5 à 15 cm en altimétrie. Elles dépendent des précisions :

- du GPS différentiel (de l'ordre du décimètre en altimétrie et en planimétrie),
- de l'INS (environ 0,01 °, l'imprécision va donc augmenter avec la hauteur de vol),
- de la mesure de la distance au sol (de l'ordre du décimètre),
- mais aussi de la qualité des modèles utilisés et du calibrage du système.

L'étape de filtrage des données, réalisé ou non selon le produit recherché : données brutes, MNS (Modèle Numérique de Surface), MNT (Modèle Numérique de Terrain), ..., consiste à classer les points de mesure laser en différentes classes : sol/sursol, puis éventuellement le sursol en bâtiments/végétation. La seule intervention consiste à régler les paramètres du filtre en fonction du

MNT (Modèle Numérique de Terrain) :
modélisation de l'altitude du sol nu.

MNS (Modèle Numérique de Surface) : altitude de la surface du terrain, c'est-à-dire soit du sol, soit de tout objet naturel ou artificiel qui le recouvre.

type de produit recherché. Selon les paramètres choisis, une digue, par exemple, pourra être classée en sol ou en sursol. Des expérimentations menées depuis plus de 3 ans ont permis à EUROSENSE de connaître l'impact du choix des paramètres sur les résultats.

Un contrôle manuel de la qualité des résultats obtenus peut s'avérer nécessaire selon la qualité recherchée, mais il est beaucoup plus rapide que si des opérateurs ou opératrices devaient entièrement réaliser le travail de filtrage des données.

Quelques applications réalisées par la société EUROSENSE

La génération rapide et économique de MNS et MNT (exemple de la Hollande).

Les données laser fournissant directement une information en z, une des applications de l'altimétrie laser concerne la réalisation de modèles numériques. Ce procédé a l'avantage d'être rapide, peu soumis aux conditions climatiques, précis et économique.

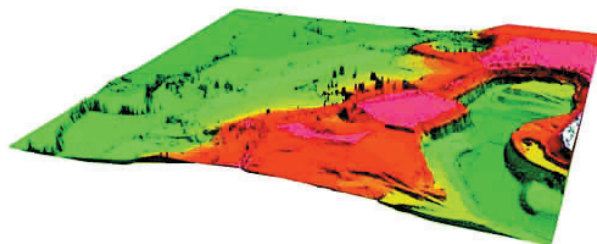


Fig. 2 : modèle numérique de surface en Hollande

Ainsi, la Hollande a décidé de couvrir l'ensemble de son territoire par des vols laser avec une densité de 1 point pour 16 m². La réactualisation des données, anciennes de 20 à 50 ans, pourra désormais, grâce à cette technologie, être réalisée tous les 5 ou 10 ans. Ces données, sous forme de MNS (Fig. 2) et MNT serviront notamment à la modélisation de l'écoulement des eaux en cas de rupture de digue.

Une des caractéristiques de l'altimétrie laser est qu'en cas de couvert végétal par exemple, il peut y avoir aussi bien une réflexion sur les feuilles des arbres, que sur le tronc et même sur le sol. Il est possible d'obtenir une information sur le sol en présence de végétation. Ce phénomène, ainsi que la grande densité de mesures, font du laser un outil idéal pour l'évaluation des risques liés aux inondations.

La cartographie et la surveillance des lignes haute-tension



Fig. 3 : points d'un pylône obtenus par altimétrie laser

L'altimétrie laser permet de modéliser à la fois et de manière très précise, le terrain, les pylônes (de forme très reconnaissable, cf. Fig. 3), les câbles électriques ainsi que la végétation, même dans des zones souvent difficiles d'accès. Une cartographie 3D fine des lignes haute-tension, qui fait souvent défaut peut alors être réalisée.

Il est aussi possible de déterminer une distance de sécurité autour des câbles pour obtenir une représentation des zones d'intervention nécessaires, pour lesquelles la végétation est trop proche des câbles (en bleu foncé sur la Fig. 4).

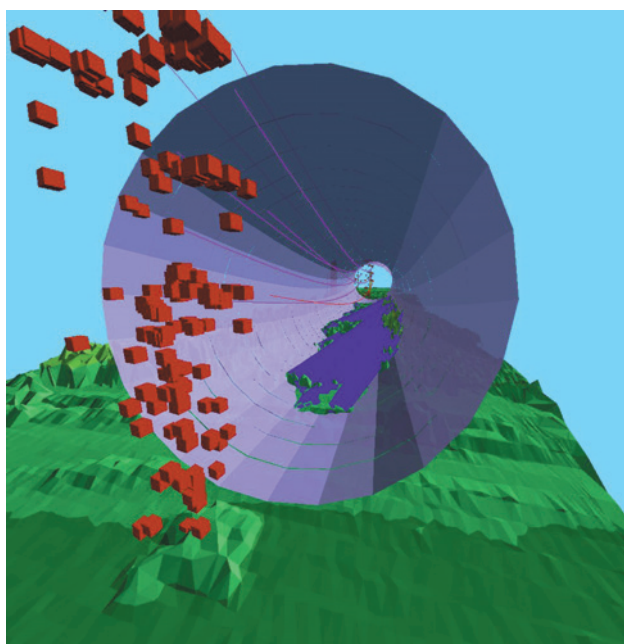


Fig. 4 : modélisation des pylônes (points rouges), des lignes électriques (lignes roses), du cylindre de sécurité et des zones d'intervention (en bleu foncé)

L'ajout de la troisième dimension

Les données laser sont très précises, mais contrairement aux données photogrammétriques, elles ne donnent que rarement des informations sur les discontinuités (bords de bâtiments par exemple), ce qui peut donner une impression de drapé lors de la visualisation des données laser. Pour produire des MNS précis en milieu urbain, il est intéressant d'utiliser la complémentarité des informations fournies par ces deux techniques (cf. Fig. 5), le laser ajou-

tant la troisième dimension à des données très précises en deux dimensions. Cette solution est plus économique que de refaire entièrement un lever photogrammétrique 3D.



Fig. 5 : orthophotographie (à gauche) et MNS issu de données laser (à droite) avec superposition de données vectorielles

Ces plans 3D constituent aujourd'hui un besoin majeur pour la gestion de l'environnement et des risques dans les milieux urbanisés (répartition des polluants ou des bruits en milieu urbain, propagation des ondes pour les télécommunications, risques environnementaux, planification de l'aménagement urbain...) ainsi que pour des applications militaires.

Conclusion

Le laser est un système actif, il est donc peu dépendant des conditions météorologiques et peut même être utilisé de nuit et en hiver, période creuse pour les vols photographiques. Il permet d'obtenir directement, presque en temps réel, la troisième dimension sous forme de nuage de points avec une grande densité. Ce système est économique et facilite les études en zones difficiles d'accès. Il donne de bons résultats à condition que tous les maillons de la chaîne de production (vol, traitements GPS/INS, opérations de filtrage, ...) soient traités de façon cohérente par un acteur expérimenté. Par contre, cette technologie ne donne pas accès aux discontinuités. Pour certaines applications, elle est donc complémentaire de la photogrammétrie, à laquelle elle est souvent opposée. Cette complémentarité devrait se renforcer avec l'essor des caméras numériques. ●

Pour plus de renseignements :



EUROSENSE S.A.

Caroline Coquerel (info.fr@eurosense.com)

28-44 rue des Arts 59800 Lille

Tél. : +33 (0)3 20 06 00 82 – Fax : +33 (0)3 20 74 40 17

<http://www.eurosense.com>

Les Systèmes d'Informati au service de l'explorat chez TotalFinaElf

J.M. Amouroux (DESS de sciences géographiques) travaille dans l'équipe Assistance et Support Informatique (GSR/ASI) de la Direction Geosciences et Réservoir du groupe TOTAL FINA ELF. Il est en charge en particulier de l'implémentation des SIG pour les geosciences. Son papier montre la puissance des outils SIG pour l'accès simultané à l'information provenant de différentes bases de données (vivantes ou mortes, publiques ou patrimoniales). L'outil est particulièrement efficace pour l'évaluation des biens et des avoirs pétroliers en exploration production mais la méthode utilisée peut s'appliquer à d'autres types d'information.



TotalFinaElf (TFE) est le 5^e groupe pétrolier dans le monde ; ses activités sont réparties en trois branches :

- Exploration-Production (activités amont)
- Transport-Raffinage-Distribution (activités aval)
- Chimie

Pour l'Exploration Production, l'utilisation des techniques SIG est primordial au sein de la Direction Géosciences et Réservoirs (GSR), qui regroupe l'ensemble des études géologiques, géophysiques, géochimiques et la modélisation des réservoirs du groupe. Le département «Assistance et Systèmes d'Information» (ASI), assurant la gestion de l'ensemble des données de GSR, est également chargé du support informatique, les SIG font partie de ces supports.

Les principaux utilisateurs de SIG sont les géoscientistes (géologues, géophysiciens et ingénieurs réservoir), principalement ceux qui sont chargés d'étudier les zones nouvelles : recommandations de prospection, projets d'investissement, prises de participation, etc... Au sein de GSR, le domaine pétrolier a été réparti en six zones géographiques :

- Afrique
- Amériques
- Asie
- Europe - Mer du Nord
- Europe continentale - CEI
- Moyen-Orient

Pour chacune de ces régions, il est essentiel d'être en mesure d'identifier, le plus rapidement possible, les zones d'intérêt pétroliers.

Systèmes Géographiques (SIG) Application pétrolière

Jean-Michel Amouroux

Ces zones nouvelles peuvent être reconnues en collectant et en analysant le maximum de données les concernant. Elles sont ensuite comparées à des zones déjà connues et présentant des caractéristiques similaires. Les géoscientistes utilisent donc les SIG comme outil de visualisation et d'accès aux informations géo-référencées.

L'outil SIG doit être facile d'utilisation :

- Il permet de se connecter, en direct, à des bases de données mondiales.
- Utilisation possible par plusieurs personnes simultanément.
- Production de cartes de bonne qualité rapidement.
- Il dispose d'outils d'analyse, de sélection, et de recherche, afin d'aller au delà de la simple visualisation de données.

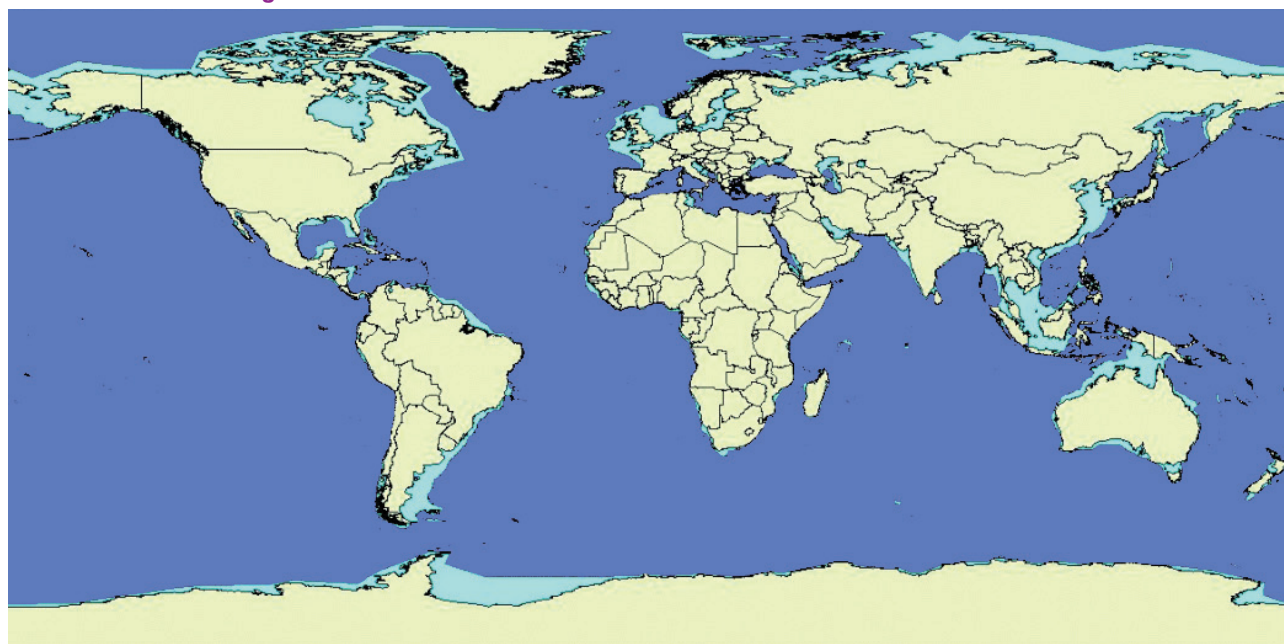
Une architecture de type client/serveur a été mise en place, avec un logiciel simple d'utilisation, personnalisable, et qui sert d'interface cartographique aux utilisateurs (la partie client). C'est le SIG (desktop GIS) ArcView d'Esri qui a été plébiscité par les géologues.

Enfin, cet outil permet d'intégrer facilement de nouvelles données externes. Une architecture de type client/serveur a été mise en place, avec un logiciel simple d'utilisation, personnalisable, et qui sert d'interface cartographique aux utilisateurs (la partie client). C'est le SIG (desktop GIS) ArcView d'Esri qui a été plébiscité par les géologues.

Plus précisément, c'est Edge, un développement réalisé par IHS Energy, autour de ArcView, qui a été choisi et qui constitue le socle de notre solution SIG. Edge permet, à travers une connexion SDE (logiciel ESRI), de publier les données de la base Oracle IRIS21, à travers l'interface graphique ArcView. (Voir le schéma de l'architecture technique)



Vue mondiale dans Edge



Types de données disponibles :

- + de 330 000 puits.
- + de 21 000 permis et 45 000 blocs.
- 19 000 champs.
- Bassins.
- Compagnies.
- Installations (plates-formes, rigs, pipelines).
- Réseaux routiers, ferrés, hydrographiques.
- Etudes sismiques.

- Stratigraphie (âge, formation, lithologie).
- Réservoirs et production.

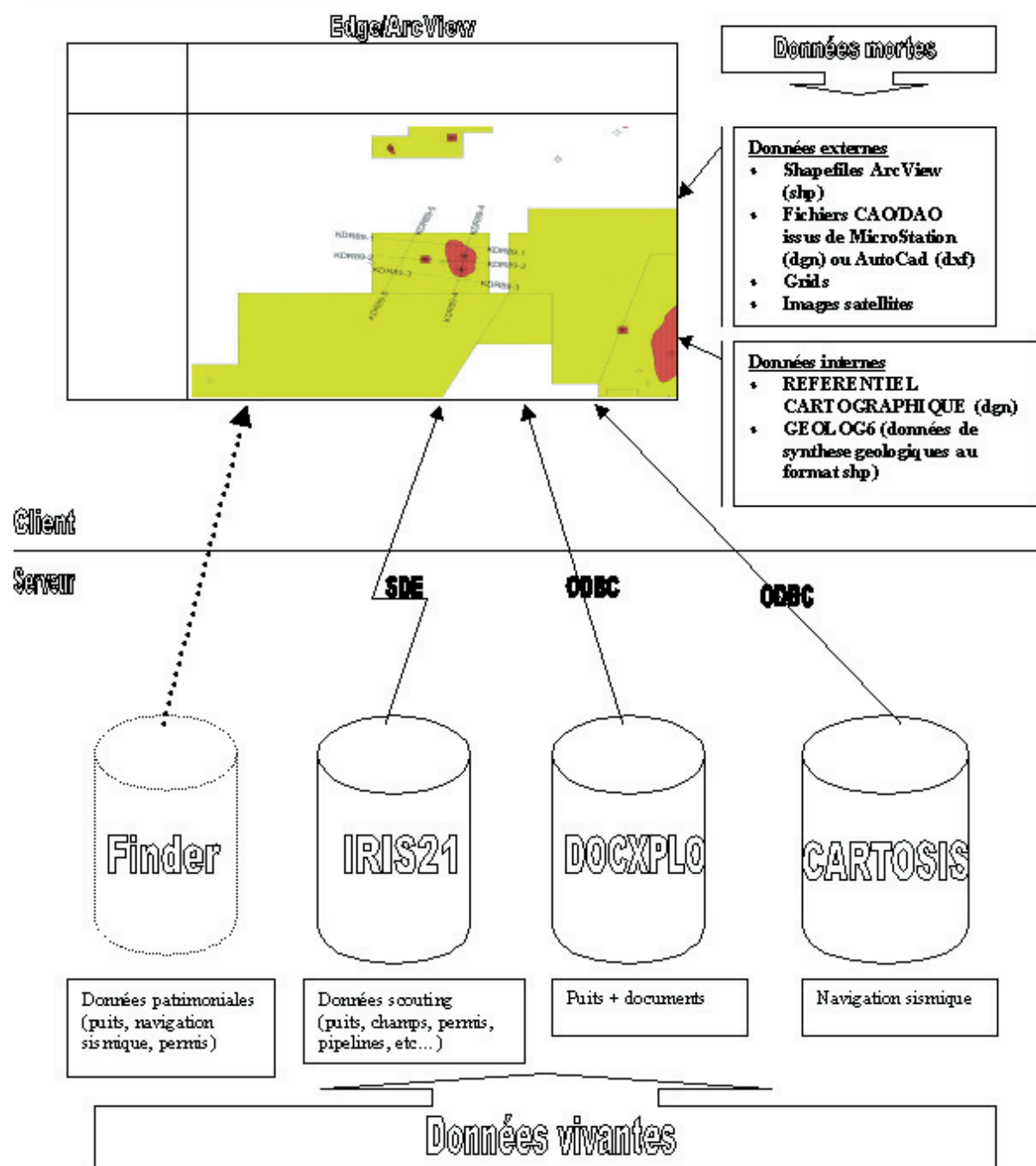
+ Images TIFF associées aux champs et aux bassins géologiques.

+ Rapports IHS Energy au format PDF.

- **IHS Energy** : anciennement PetroConsultants, commercialise à la fois la base de données scouting IRIS21, et l'application client/ser-

veur Edge permettant d'accéder à ces données à travers le SIG ArcView.

- **FINDER** : c'est la base de données patrimoniales pour les données géoréférencées de TFE ; c'est à dire les puits, les permis, et la navigation sismique. Finder est un projet en cours de développement avec Geoquest qui est la compagnie qui a créée cette base de données et les

Architecture technique :

applications qui y sont connectées.

Utilisation de la technologie SIG au sein de l'Exploration chez TotalFinaElf

• **Situation du département ASI (Assistance Systèmes d'Information) :** L'activité SIG fait partie de ASI qui regroupe les activités de support concernant tous les logiciels métiers de l'exploration pétrolière. ASI est rattaché à GSR qui est chargé de rechercher les nouvelles zones d'intérêt pour le groupe. La fonction principale de l'activité SIG est d'assurer un support à tous les utilisateurs de GSR dans le domaine des logiciels de SIG, et, particulièrement, dans l'utilisation de la solution Edge/ArcView, préconisée par le groupe.

• **Mise en place de Edge/ArcView :** Edge est un système client/serveur, développé par IHS Energy, basé sur la technologie ESRI, qui permet, à travers une interface de type SIG, d'accéder à la base de données IRIS21 dédiée à l'exploration pétrolière. Edge est fourni sous la forme d'un projet ArcView permettant un accès direct aux données, sous forme de thèmes, avec une personnalisation de l'interface ArcView et un ajout de fonctionnalités pour faciliter la manipulation des données IRIS21. Le projet Edge est constitué d'une vue mondiale contenant un jeu de thèmes, connectés à la base de données, couvrant l'ensemble du domaine de l'exploration pétrolière. Ces thèmes sont stockés sous forme de couches SDE dans une base Oracle. L'accès à la base de données est contrôlé par une identification demandée au lancement de l'application. Un «login», avec mot de passe associé, est nécessaire pour identifier l'utilisateur, et ouvrir l'accès à la base via le projet Edge.

• **Compléments à Edge :** À partir de là,

notre travail a consisté à enrichir, progressivement, cette solution de base. Cela voulait dire connecter de nouvelles données et ajouter de nouvelles fonctionnalités. C'est ce que nous avons fait en établissant des passerelles entre le système et d'autres sources de données. ArcView est relié à plusieurs bases de données (voir schéma de l'architecture technique), directement, ou par l'intermédiaire de fichiers remis à jour périodiquement. Les mises à jour effectuées dans les bases de données sont automatiquement reportées dans ArcView, sans que l'utilisateur n'ait à se préoccuper de quoi que ce soit. Les seules données que l'utilisateur doit penser à, éventuellement, réactualiser sont celles qu'il a créées, ou qu'il a intégrées dans ses projets, à partir d'une nouvelle source.

• **Evolutions futures :** La mise en place d'un lien Finder - ArcView est en cours de réalisation. Cela consistera à publier, dans ArcView, des objets géoréférencés stockés dans notre future base de données patrimoniales FINDER. Ce projet est réalisé avec l'assistance de la société GeoQuest. L'objectif visé est que ce seront les puits, permis, et la navigation sismique, provenant de FINDER, qui doivent servir de référence pour la comparaison avec les autres données. La technologie web : la création d'un site intranet d'accès aux données géopétrolières est également un projet qui sera prochainement lancé. Ce développement sera probablement réalisé sur ArcIMS (logiciel ESRI).

Sur le schéma de l'architecture technique, on distinguera deux types de données :

1. Les données mortes : désignent les données qui ne sont pas mises à jour régulièrement. Il faut séparer les données provenant de Geolog6, celles-ci sont recrées, quotidiennement, à partir de fichiers textes produits par l'ap-

plication Geolog6. Ces fichiers textes contiennent des coordonnées qui servent ensuite à la génération des fichiers shapefiles ArcView.

- Les données externes ont été obtenues auprès de compagnies privées ou d'organismes d'état, très majoritairement anglo-saxons.
- Les données internes représentent la connaissance et l'expérience, géologique et cartographique du groupe, pour une zone géographique donnée.

2. Les données vivantes : désignent les données qui sont stockées dans des bases Oracle et qui sont régulièrement mises à jour. Sont concernées des données à la fois externes (données scouting d'IRIS21), et internes (DOXPLO, CARTOSIS, et bientôt FINDER).

Conclusions

L'utilisation et la connaissance des techniques SIG pour l'exploration pétrolière a beaucoup progressé, dans le monde pétrolier et chez TFE, ces deux ou trois dernières années. Mais, il reste encore beaucoup à faire pour amener les géoscientistes à utiliser toutes les potentialités d'un tel outil. Le plus souvent, les utilisateurs s'arrêtent au premier stade qui consiste à intégrer et visualiser les données sur une carte. Ils ne vont pas au delà par manque de pratique des outils d'analyse fournis par le système. Un effort important de présentation, d'assistance, et de compagnonnage, en France et dans les filiales du groupe, nous attend, afin de pouvoir pleinement profiter des avantages de cette technologie. ●

Abstract

J.M. Amouroux (DESS de sciences géographiques) works for TOTALFINAEF. He is part of the team in charge of the information technology support (GSR/ASI) for Geosciences and Reservoir at the head office. He is in charge of GIS's implementation for the Geosciences and Reservoir. His paper shows the efficiency of the GIS tools for a simultaneous access to different data bases (data of heritage, internal data, public data, scouted data). The tool gives an efficient help for the evaluation of the oil and gas exploration and production assets but such method can be applied to any other information.

L'utilisation et la connaissance des techniques SIG pour l'exploration pétrolière a beaucoup progressé, dans le monde pétrolier et chez TFE, ces deux ou trois dernières années. Mais, il reste encore beaucoup à faire pour amener les géoscientistes à utiliser toutes les potentialités d'un tel outil.

Le SIG au service d'une étude nationale sur l'impact des mines antipersonnel

Frédéric Cussigh avec la participation de Sylvain Ogier et Lionel Schutz



Bombe non explosée

Handicap International est une organisation de solidarité internationale fondée en 1982 par des médecins travaillant depuis deux ans en Thaïlande en faveur de la population cambodgienne réfugiée. Face aux milliers d'amputés par mines présents dans les camps, l'aide humanitaire internationale ne proposait pas de réponses adaptées. Les fondateurs de Handicap International ont choisi de développer une aide à long terme, reposant sur des solutions locales, efficaces et de qualité, en privilégiant la formation des employés locaux et le recours aux matières premières disponibles sur place.

Au bout de près de vingt ans d'engagement, la mission de Handicap International s'est élargie. L'organisation intervient à travers quelque cinquante programmes dans quarante-cinq pays, auprès des populations particulièrement vulnérables et des personnes en situation de handicap. Il s'agit de développer, sur le long terme, les conditions qui permettent à ces populations de reprendre le cours de leur vie, de « vivre à nouveau debout ». Il s'agit également de développer les capacités des communautés locales à prendre en charge les plus vulnérables.

En dépit de la diversification de ses actions, Handicap International reste très lié au combat contre les mines antipersonnel. L'association a été cofondatrice en 1992 de la Campagne Internationale pour Interdire les Mines, lauréate du Prix Nobel de la Paix en 1997. Sur les terrains, elle poursuit ses activités de déminage, de sensibilisation des populations aux dangers des mines. Elle fait aussi partie, avec d'autres organisations non gouvernementales, du Survey Action Center qui coordonne les enquêtes d'impact socioéconomique des mines, dont il

est question dans cet article, à travers l'exemple du Tchad.

Une étude globale sur les mines

Ce type d'étude illustre la nouvelle approche (depuis 1999) de la communauté internationale dans sa lutte contre les mines et leurs effets.

Ces dernières années, les organisations impliquées dans la lutte contre les mines ont mis au point de manière conjointe une méthode pour optimiser les performances des programmes de



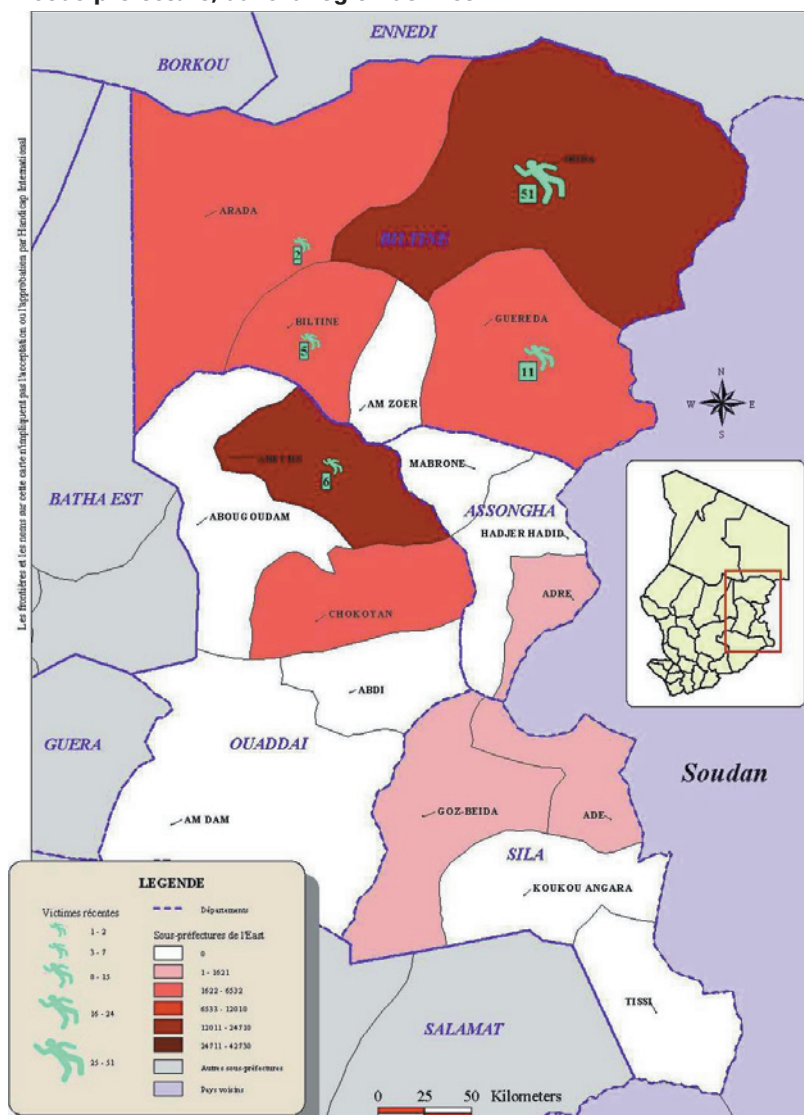
déminage. Cette méthode a pour principe de coordonner les actions de chacun et d'assurer un traitement égal de chaque territoire ou pays (même méthodologie et mêmes outils). En fait, le problème du déminage est appréhendé dans sa globalité, c'est-à-dire que tous les aspects du déminage sont pris en considération à toutes les échelles : du local au national, voire à l'international ; qu'il s'agisse de l'aide aux victimes, des contraintes techniques, de la délimitation des zones dangereuses, de la sensibilisation aux mines ou encore de la priorisation des zones à déminer.

L'objectif est de lancer une grande enquête, en trois volets, dans tous les pays affectés. La première étape, ou premier niveau, s'attache à faire le bilan de la situation dans un pays : nombre de victimes, nombre de communautés affectées, estimation des surfaces polluées, types d'engins présents... Et surtout, évaluation des impacts/contraintes pour les communautés affectées. A partir des blocages, il est alors possible de déterminer de manière objective l'urgence de la situation, c'est-à-dire l'ordre de priorité pour le déminage ; c'est l'étude d'impact.

Le deuxième volet est celui du déminage technique. C'est à ce niveau que les champs sont marqués et dépollués en fonction des priorités établies lors de l'étude d'impact.

Enfin, le troisième volet : un contrôleur des Nations Unies certifie que les standards internationaux du déminage ont été respectés et ainsi atteste que les habitants peuvent à nouveau disposer de leurs terres en toute sécurité, c'est la certification.

Carte A : Populations affectées et nombre de victimes récentes, par sous-préfecture, dans la région de l'Est



La standardisation des informations est rendue possible grâce à une batterie de techniques de la recherche action et d'outils spécialement conçus :

• **L'approche participative :** la population est mise en situation d'acteur, pour coller à la réalité. Le cœur de la collecte d'information est une réunion de groupe avec les villageois.

Ces dernières années, les organisations impliquées dans la lutte contre les mines ont mis au point de manière conjointe une méthode pour optimiser les performances des programmes de déminage. Cette méthode a pour principe de coordonner les actions de chacun et d'assurer un traitement égal de chaque territoire ou pays (même méthodologie et mêmes outils). En fait, le problème du déminage est appréhendé dans sa globalité, c'est-à-dire que tous les aspects du déminage sont pris en considération à toutes les échelles : du local au national, voire à l'international ; qu'il s'agisse de l'aide aux victimes, des contraintes techniques, de la délimitation des zones dangereuses, de la sensibilisation aux mines ou encore de la priorisation des zones à déminer.

• **L'approche statistique** : la reconnaissance systématique du terrain est complétée par le tirage d'un échantillon aléatoire et représentatif de localités à vérifier. Au Tchad, Handicap International a couvert les localités affectées avec une précision estimée à 93,8%.

• **Constitution d'une base de données aussi bien alphanumérique que graphique** : le progiciel IMSMA, spécialement développé par le GICHD, permet de créer une base de données ayant des composantes sociale, économique, démographique, mais aussi photographique. De nombreuses photos des sites et communautés affectées par les mines font partie intégrante de la base de données.

• **Utilisation du SIG** : un module spécial a été conçu pour interfacer IMSMA au logiciel ARCVIEW (SIG de la gamme de ESRI) et rendre possible l'utilisation de toutes les fonctionnalités d'un SIG avec la base de données : analyses géographiques, analyses thématiques, analyses multicritères. Exemple : localisation des villages affectés, date de la pose des engins et type d'engins, activités des victimes par régions, type d'engins et nombre de victimes... (cf. carte A).

• **Recours aux NTC pour diffuser l'information** : les données seront disponibles sur le web et le rapport inclura un CD-ROM interactif.

Enfin, pour assurer une utilisation et une interprétation analogues des outils et procédures, un organisme a été mis en place pour apporter un soutien méthodologique à tous les partenaires impliqués dans de telles études : le Survey Action Center (SAC). En quelque sorte, cet organisme est chargé d'aider à la globalisation de chaque étude pour les rendre comparables et autoriser un bilan mondial précis.

La pollution par les mines et les UXO au Tchad

Le Tchad a une histoire contemporaine récente chargée de conflits. Il a été le théâtre de violents affrontements entre 1965 et 1990.

Il y a eu tout d'abord les révoltes populaires, celle d'Ibrahim Abatcha en 1965, puis l'entrée en rébellion de Goukouni en 1968, avec la Prise d'Aouzou. En 1975, le général Malloum a renversé le président Tombalbaye. En 1980, c'est Goukouni qui, soutenu par la Libye, a pris l'ascendant sur Hissen Habré. Ce dernier a eu sa revanche en 1982 et l'a chassé à son tour. Mais les affrontements ont continué, Hissen Habré recevant le soutien de la France et Goukouni celui de la Libye. Finalement, en 1990, Idriss Déby, ancien général de Habré, l'a emporté sur tous les autres et s'est imposé comme chef de l'Etat. Il a été récemment réélu.

Le pays jouissant depuis d'une apparente stabilité, la communauté internationale a dépêché une équipe d'experts pour évaluer le nombre d'objets dangereux abandonnés polluant le territoire tchadien. Les experts ont estimé à un million le nombre de mines présentes dans le sol du Tchad et à plusieurs millions le nombre de munitions non explosées (UXO, « unexploded ordnances »). Ces chiffres placent le Tchad parmi les dix pays les plus pollués au monde.

De plus, dans ce pays, l'information n'était pas ou peu disponible et ne permettait pas d'évaluer l'impact causé par les mines et les munitions non-explosées (nombre de victimes par an, catégories d'individus les plus touchés, cartes de localisation des champs de mines, effets de ces engins sur le processus de développement des communautés...).

Le Tchad, signataire du Traité d'Ottawa (sur l'interdiction des mines antipersonnel) a demandé à Handicap International de combler ces lacunes. Travailler au Tchad, quels que soient les objectifs poursuivis, soulève de nombreux problèmes.

Le travail de Handicap International au Tchad

Handicap avait pour objectif d'établir le diagnostic de la situation des mines et de leurs conséquences au Tchad. Ce travail consistait à dresser l'inventaire exhaustif de toutes les localités affectées et à envoyer une équipe chargée d'administrer un questionnaire.

Le premier problème était de savoir où chercher des localités potentiellement affectées. Handicap International a procédé par étapes en effectuant une sorte de zoom d'un palier à l'autre. Tout au long de la collecte d'information, l'équipe s'est appuyée sur les SIG pour prendre les meilleures décisions possibles.

Dans un premier temps Handicap International s'est attaché à réaliser une carte de l'historique des conflits, en partant du postulat que là où il y a eu des batailles, des bombardements ou des mouvements de troupes, il était probable de trouver des mines et/ou des UXO. Cette carte



Victime de mine

A partir des données générales du pays et de celles collectées sur le terrain, un SIG a été réalisé.

Les caractéristiques du SIG

Le SIG est composé de six couches de localisation : Les limites administratives, départements, sous-préfectures, cantons, et les routes et rivières, ainsi que plusieurs fichiers de villages.

Au cours de la saisie dans IMSMA et grâce à l'interface avec Arcview, trois couches d'informations sont créées automatiquement.

- **D'abord la couche des villages :** pour chaque village visité, que ce soit pour administrer un questionnaire, au cours d'un échantillonnage ou d'une simple reconnaissance, des

coordonnées GPS ont été enregistrées. En saisissant ces dernières, un point est automatiquement créé avec quelques données attributaires (Nom, X, Y, ...).

- **La deuxième couche, automatiquement générée dans le SIG,** est la couche des localités étudiées (le module localité). De plus, selon la pondération donnée aux critères de priorité, le système affiche une analyse thématique des localités affectées par niveau d'impact (faible, moyen, fort).

- **Enfin, la couche des mines (module zones minées) :** le centre de chaque périmètre pollué par des mines est identifié par un point. Les animateurs n'ayant pas été autorisés, pour des raisons de sécurité, à enregistrer le centre du champ de mines au GPS, c'est un petit algorithme qui le calcule,

Le défi tchadien

Le Tchad est l'un des dix pays les plus pauvres au monde et les conditions de travail sont particulièrement difficiles

- **Les conditions climatiques sont extrêmement contraignantes, le pays étant divisé en trois zones climatiques distinctes :** les équipes ont dû affronter les rigueurs du Sahara au Nord, comme les difficultés posées par les pluies tropicales pour circuler dans le Centre et le Sud. L'étude a dû être conduite du nord vers le sud, à mesure que les pluies se retiraient. Le paludisme est endémique sur la moitié du territoire.

- **La population, d'environ sept millions d'habitants, est répartie sur un territoire grand comme deux fois et demie la France :** toute erreur de planification se serait traduite par une augmentation exponentielle des distances à parcourir par nos équipes.

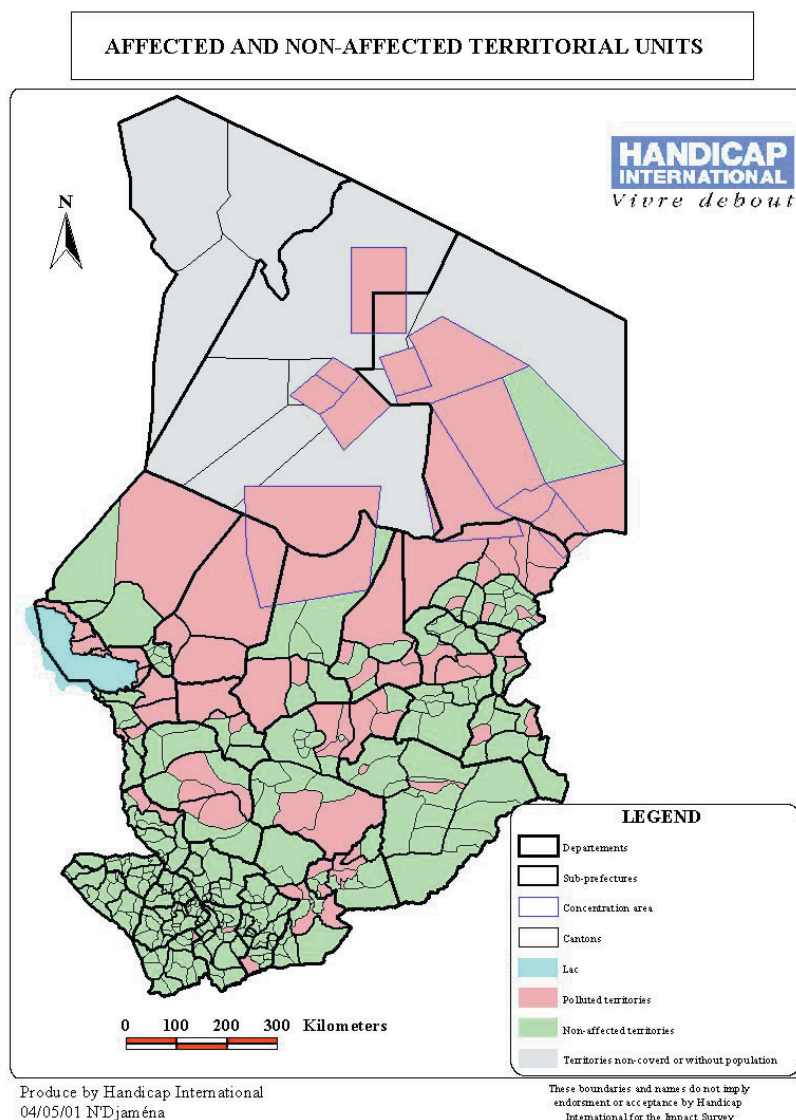
- **Une mosaïque de langues et de cultures :** Le français étant la langue de l'administration, la méthodologie a été construite dans cette langue. Cependant, sur le terrain, les habitants utilisent une grande diversité de langues locales. Les animateurs ont été contraints d'administrer les questionnaires en arabe, gorane, kanembou, sara, n'gambaye et plusieurs autres langues vernaculaires rares comme le kim.

- **Les infrastructures sont quasi inexistantes, 274 kilomètres de route asphaltée soit 0,8% du réseau total, 7500 abonnés au téléphone, 10560 véhicules particuliers immatriculés et une production d'électricité nettement insuffisante pour alimenter l'ensemble du pays ou même la capitale. La contrainte logistique est exceptionnelle.**

- **La situation politique est instable et des problèmes de sécurité sérieux existent :** Une rébellion armée s'est formée dans le Nord-Est du pays. Les phénomènes des « coupeurs de routes » (pirates de la route) sont récurrents. Dans la plupart des régions polluées, les champs de mines ne sont pas signalés. Toutes ces difficultés rendent la circulation difficile et souvent dangereuse.

Malgré l'ampleur de la tâche et les nombreuses difficultés, l'équipe de Handicap International a relevé le défi.

Carte C



à partir des coordonnées du centre du village, de la distance entre la bordure du champ de mines et le centre du village, et la surface estimée du champ pollué. De plus, un tampon circulaire proportionnel à la surface du champ de mines apparaît dans le SIG.

Le SIG constitué, il ne restait plus qu'à analyser les données saisies.

Les résultats

Handicap International a produit un rapport et fourni un SIG comportant des milliers d'objets (plus de 2000 villages), une couche de 249 localités étudiées et une couche de plus de 400 champs de mines.

Aujourd'hui, Handicap est en mesure de fournir un grand nombre de renseignements sur les mines et leurs conséquences au Tchad. Toutes ces informations vont permettre de rationaliser les décisions du déminage (la priorité est clairement établie). La base de données va autoriser une optimisation des futures campagnes de sensibilisation aux mines, dans la mesure où nous savons quel type de population (âge, profession...) connaît le plus d'accidents de mines/UXO dans chaque région. Nous pouvons ainsi déterminer où la sensibilisation est prioritaire (villages les plus proches des champs pollués et connaissant le plus d'accidents). Les champs de mines sont désormais répertoriés et le travail de marquage des périmètres dangereux sera à l'avenir nettement plus facile. En résumé, la capacité et la portée de l'outil mis en place sont considérables et vont incontestablement renforcer l'efficacité de la lutte contre les mines au Tchad.

L'enjeu pour Handicap International était de fédérer des informations de sources, de sujets et d'échelles très différentes en une base de données

cohérente utilisable par tous. La problématique de l'étude s'attache certes essentiellement aux problèmes des mines et des UXO au Tchad, mais pas exclusivement, car c'est aussi une étude sociale et économique. Il y a donc des données qui intéresseront les organisations chargées de mener des études dans d'autres domaines. Il en va de même pour le travail de localisation des villages. Il est clair qu'au cours du recensement de la population de 1993, la localisation des villages a été incomplète et approximative (évaluation des directions à l'aide d'une boussole, calcul des distances avec des compteurs kilométriques de mobilettes...).

Dans le cadre de cette étude, Handicap International a localisé par GPS, c'est-à-dire à dix mètres près, plus de 10% des communautés du Tchad et la quasi-totalité des villages de la moitié nord du pays, la plus difficile d'accès et la moins familière des ONG. Dès que l'étude sera certifiée par les Nations Unies, ces données seront mises à la disposition de tous.

Un transfert de compétence

Handicap a recruté et formé quatre opérateurs de saisie au logiciel de la base de données et surtout à Arcview. Deux d'entre eux sont issus d'institutions publiques et ont réintégré leur service à la fin de l'étude. Ils ont mis leurs nouvelles compétences au service de l'Etat tchadien.

Conclusion

Au terme de son travail au Tchad, Handicap International dresse le bilan de son expérience. L'intérêt du SIG s'est imposé de lui-même, aussi bien

Les moyens mis en œuvre :

Télécommunications :

1 base radio HF + 8 stations mobiles montées sur véhicules

Transport :

14 véhicules tout terrain

Logistique : les équipes étaient équipées de kits permettant de vivre plusieurs semaines en brousse lors des opérations de collecte d'information

Iconographie : 18 appareils de photo numériques

GPS : 19 Unités

Informatique :

5 stations en réseau pour les opérations base de données et SIG, toutes équipées d'une licence ARCVIEW

3 stations pour les besoins de la coordination, administration, secrétariat.

2 portables pour la supervision sur terrain.

comme outil de planification et d'aide à la décision que comme outil de valorisation des données. En effet, à toutes les phases de l'étude tchadienne, le SIG a été intégré au processus décisionnel, confirmant une utilité déjà constatée au Cambodge pour un programme de gestion de l'eau ainsi qu'au Sénégal, déjà dans le cadre d'une action contre les mines.

D'un point de vue international, les SIG, qui ont fait leurs preuves comme outil d'aide à la décision dans le domaine de l'action contre les mines, sont appelés à être utilisés dans d'autres domaines de l'aide au développement. ●

Aujourd'hui, Handicap est en mesure de fournir un grand nombre de renseignements sur les mines et leurs conséquences au Tchad. Toutes ces informations vont permettre de rationaliser les décisions du déminage (la priorité est clairement établie). La base de données va autoriser une optimisation des futures campagnes de sensibilisation aux mines, dans la mesure où nous savons quel type de population (âge, profession...) connaît le plus d'accidents de mines/UXO dans chaque région. Nous pouvons ainsi déterminer où la sensibilisation est prioritaire (villages les plus proches des champs pollués et connaissant le plus d'accidents).

Apport de l'Orientation-Objet dans le développement d'applications informatiques

F. Becker

Le développement d'applications informatiques plus ou moins importantes fait partie des activités de nombreux professionnels de la topographie.

Parmi les méthodologies possibles pour ces développements, l'orientation-objet tient une place de choix comme en témoigne le succès de langages comme C++ ou Java qui permettent sa mise en œuvre. Cet article vise à illustrer les bénéfices d'une telle approche.

Nous nous fonderons sur l'expérience que nous avons acquise lors du développement de la nouvelle version du logiciel de compensation employé pour les calculs de métrologie des accélérateurs du CERN, aussi nous illustrerons notre propos avec des exemples issus de ce programme.

Contexte

Des projets de métrologie de l'ampleur de ceux qui sont conduits au Laboratoire Européen pour la Physique des Particules (CERN) nécessitent un outil performant de calcul de compensation par les moindres carrés dans un référentiel 3D local.

Le logiciel LGC (Logiciel Général de Compensation), initialement développé par Michel Mayoud et utilisé depuis près de vingt ans dans le groupe de métrologie du CERN, répond à ce genre de besoins. Son code source représente environ 10 000 lignes de Fortran. Il présente l'inconvénient majeur d'avoir subi de nombreuses mises à jour si bien que sa maintenance est devenue très



hasardeuse. De plus des améliorations devaient être apportées, et c'est ce qui fut entrepris par le groupe sous la conduite de Mark Jones. Enfin, l'incorporation nécessaire de nouveaux types d'observations dans le cadre du projet CLIC (Compact Linear Collider) [2] conduisit à développer rapidement une version spéciale du logiciel.

Celui-ci doit désormais présenter une grande souplesse de mise à jour afin qu'il puisse rapidement être adapté aux besoins nouveaux qui apparaissent régulièrement dans les projets de recherche. De plus, il est inévitable et même souhaitable pour un logiciel de cette envergure qu'il puisse être conçu en équipe. La modélisation adoptée devait donc également être modulaire, de manière à permettre aux membres de l'équipe de travailler séparément sur des parties spécifiques du programme et de combiner ensuite aisément ces modules.

Ces raisons font que notre choix s'est porté sur C++. Ce langage de programmation est Orienté-Objet [1 ; 3] et permet comme nous allons le voir de répondre aux attentes que nous venons d'exprimer. Il est de surcroît très puissant et dispose de nombreuses bibliothèques mathématiques.

Éléments essentiels de la programmation OO

On parle souvent de la programmation par objets comme d'un paradigme, un ensemble de théories, standards et méthodes qui représentent une façon d'organiser les connais-

En programmation OO, l'action est déclenchée par la transmission d'un message à un agent (un objet) responsable de l'action. Le code du message indique l'action demandée ; on l'accompagne d'informations complémentaires (les arguments) nécessaires à son exécution.

sances, c'est-à-dire une façon de voir le monde. Nous allons donc présenter les aspects essentiels de ce paradigme et nous verrons qu'il permet d'aborder un problème avec des méthodes très similaires à celles que nous employons dans la vie quotidienne.

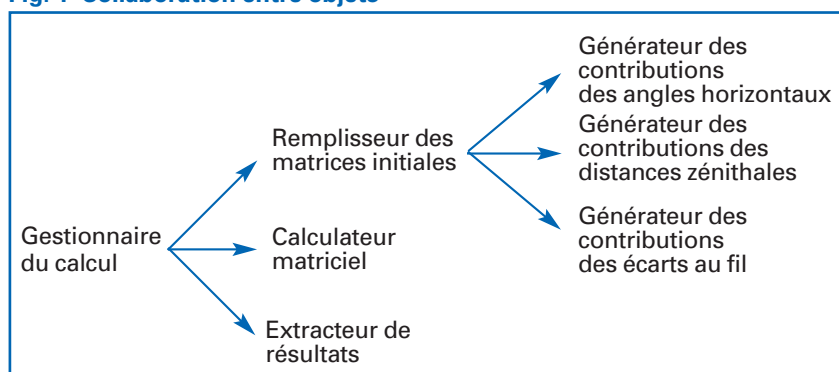
Objets, messages et méthodes, attributs

En programmation OO, l'action est déclenchée par la transmission d'un message à un agent (un objet) responsable de l'action. Le code du message indique l'action demandée ; on l'accompagne d'informations complémentaires (les arguments) nécessaires à son exécution. Si l'agent accepte le message, il s'engage à répondre à la demande, et va pour ce

faire appliquer une méthode. On peut faire l'analogie avec la démarche que nous employons souvent et qui nous amène à nous adresser à la personne dont les responsabilités la rendent susceptible de répondre à une certaine requête.

Notre logiciel de compensation fait par exemple intervenir un objet responsable de la gestion des étapes du calcul allant du dimensionnement des matrices initiales jusqu'à l'extraction des résultats finaux. Cet objet va lui-même à un certain moment faire appel à un autre objet responsable uniquement du remplissage des matrices initiales, lequel va à son tour collaborer avec des objets responsables chacun du calcul des contributions d'un type d'observation particu-

Fig. 1 Collaboration entre objets



lier à ces matrices. Un programme orienté-objet est donc structuré en termes de responsabilités.

A travers cet exemple apparaissent également les notions importantes de collaboration entre objets (fig. 1) et de masquage de l'information. En effet, selon le principe de délégation qui lui aussi nous est familier, un objet va très souvent s'adresser à d'autres objets qui vont effectuer des tâches, lui permettant ainsi de répondre au message qu'on lui a adressé. On parle de masquage de l'information parce que l'expéditeur du message n'a pas besoin de savoir par quels moyens sa demande sera réalisée.

Les objets n'ont pas seulement des méthodes, mais ils ont aussi des attributs qui les caractérisent. Ainsi on retrouve dans notre programme des objets représentant des longueurs auxquels on peut envoyer des messages leur demandant de renvoyer leur valeur dans différentes unités. Ces objets doivent bien sûr renfermer un attribut numérique dans lequel est stocké la longueur représentée. Les objets sont donc définis par leur comportement (leur réponse aux messages qu'on leur adresse) ainsi que par leur état décrit dans leurs attributs.

2.2 Polymorphisme

On pourrait croire à ce stade qu'il y a peu de différences avec la programmation impérative en C ou Pascal

dans lesquels on retrouve le masquage de l'information. En effet l'action y est déclenchée par un appel de procédure, qui pour répondre à la demande va elle-même faire appel à d'autres procédures. En fait l'envoi de message se distingue de l'appel de procédure parce qu'il a un receveur désigné. Plusieurs objets de nature différente sont susceptibles de répondre à une même demande (c'est la notion importante de polymorphisme) et l'interprétation, c'est-à-dire la sélection d'une méthode à exécuter en réponse à un message, peut varier selon le receveur. Comme le receveur désigné n'est généralement pas connu avant l'envoi du message, il n'est pas possible de déterminer à l'avance la méthode applicable. C'est pourquoi on dit qu'il y a une liaison différée entre le message et le code utilisé pour y répondre.

Dans notre logiciel on retrouve par exemple le polymorphisme au moment où une observation est transmise à l'objet qui va placer dans les matrices des dérivées partielles et des poids les contributions de cette observation. Par exemple le calcul des contributions d'un angle horizontal sera différent si la compensation se fait dans un référentiel cartésien local ou si elle tient compte de l'ellipsoïde terrestre. Il y a donc un objet qui génère les contributions des angles horizontaux dans le cas du référentiel cartésien, et un autre auquel on fait appel dans le cas du

référentiel ellipsoïdique. L'objet adéquat est mis en place au moment où dans les options de calcul le type de référentiel est sélectionné. Cependant cette distinction est inutile pour l'objet qui transmet les angles horizontaux à l'agent chargé du calcul des contributions. Cet objet sait uniquement qu'il collabore avec un agent responsable des angles horizontaux, apte à répondre aux demandes de calcul des contributions (fig. 2). Le code pour l'envoi du message est unique et donc simplifié, alors que les portions de code invoquées en réponse à ce message au moment de l'exécution du programme peuvent être distinctes.

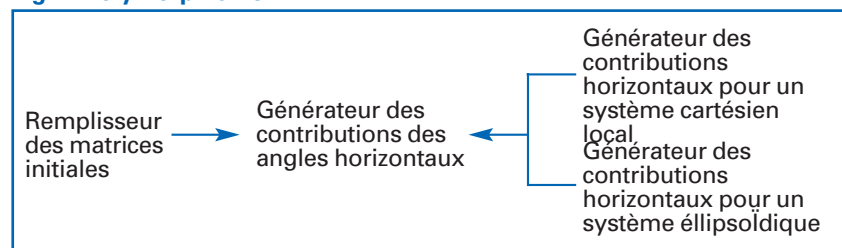
2.3 Classes et instances, héritage

Notre logiciel fait bien sûr intervenir des objets qui représentent les points en 3D nécessaires au calcul. Il serait très fastidieux d'écrire un code spécifique à chacun de ces objets, d'autant plus qu'on attend d'eux qu'ils aient le même comportement.

Cela nous amène à une autre notion essentielle de la programmation OO, celle de classes et instances. Tous les objets sont les instances d'une classe; la méthode invoquée par un objet en réponse à un message est déterminée par sa classe. Tous les objets d'une classe donnée utilisent la même méthode en réponse au même message et ont la même structure d'attributs.

De plus, des classes peuvent partager certaines de leurs caractéristiques. On peut considérer par exemple qu'une observation de distance horizontale et une observation de distance zénithale ont toutes les deux un point visé qu'on peut leur demander d'indiquer. Ces propriétés communes peuvent être décrites une seule fois dans le code grâce à la notion d'héritage. Les classes peuvent être organisées en une structure

Fig. 2 Polymorphisme



Plusieurs objets de nature différente sont susceptibles de répondre à une même demande (c'est la notion importante de polymorphisme) et l'interprétation, c'est-à-dire la sélection d'une méthode à exécuter en réponse à un message, peut varier selon le receveur. Comme le receveur désigné n'est généralement pas connu avant l'envoi du message, il n'est pas possible de déterminer à l'avance la méthode applicable. C'est pourquoi on dit qu'il y a une liaison différée entre le message et le code utilisé pour y répondre.

hiérarchique. Une sous-classe hérite des propriétés d'une superclasse plus élevée dans l'arbre d'héritage. Ainsi, dans notre modèle, les classes représentant les distances horizontales et zénithales vont-elles toutes deux hériter d'une superclasse renfermant les propriétés communes à toutes les observations visant un point (fig. 3), et le code décrivant ces propriétés peut n'être écrit qu'une seule fois.

3. Synthèse

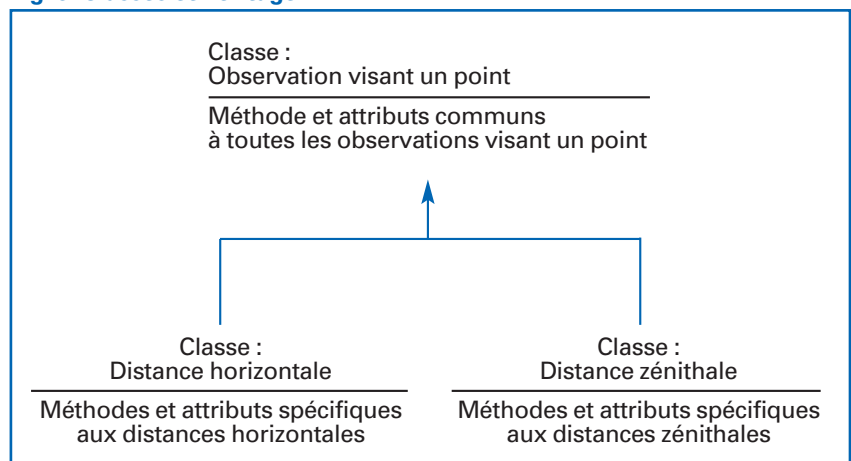
On dit souvent que la programmation par objets est une inversion de ce qui se faisait auparavant. Ce ne sont plus les procédures (les groupes d'instructions) qui ont la responsabilité d'arriver au résultat demandé en s'invoquant les unes les autres tout en transmettant les données nécessaires.

Dans l'orientation-objet ce sont les données elles-mêmes (les objets) qui sont actives et qui communiquent les unes avec les autres en s'adressant des messages.

On peut ainsi voir cette méthodologie comme une sorte de processus qui vise à créer une communauté d'aides qui assiste le programmeur dans la résolution d'un problème. Il suffit donc de décrire les différentes entités en jeu, de définir leur mode de communication, et de les exécuter. La programmation devient en fait une simulation.

Notre expérience avec ce logiciel de calcul nous permet d'attester que l'accent mis sur l'indépendance des composants individuels permet un développement incrémental et faci-

Fig. 3 Classes et héritage



te le travail en équipe. Les unités individuelles sont définies, programmées et testées avant d'être regroupées en un système plus conséquent. Cet aspect modulaire facilite aussi spectaculairement la maintenance et la mise à jour du logiciel.

Très souvent les personnes qui ont goûté à la programmation OO n'aiment pas revenir à une programmation procédurielle. En effet, quand les programmeurs pensent en termes de comportement et de responsabilités des objets, ils apportent à leur travail toute la richesse de leur intuition, de leurs idées et de leur compréhension

de la vie de tous les jours. C'est un processus mental beaucoup plus agréable. Nous espérons que l'aperçu que nous en avons donné dans cet article pourra inciter le lecteur à en faire l'expérience. ●

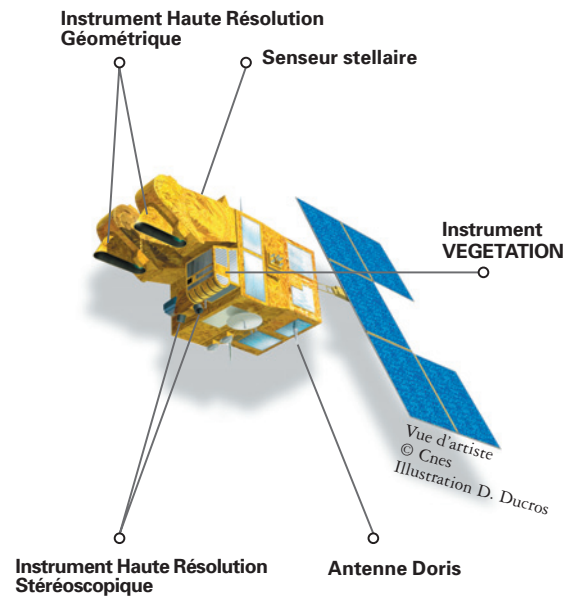
Références

- [1] T. Budd. Introduction à la programmation par objets. Addison-Wesley, 1992.
- [2] J.P. Delahaye, I. Wilson, et al. CLIC, a multi-TeV e^+e^- collider. CERN-PS/99-062, 1999.
- [3] www.cetus-links.org 18522 links on objects and components.

Quand les programmeurs pensent en termes de comportement et de responsabilités des objets, ils apportent à leur travail toute la richesse de leur intuition, de leurs idées et de leur compréhension de la vie de tous les jours. C'est un processus mental beaucoup plus agréable.

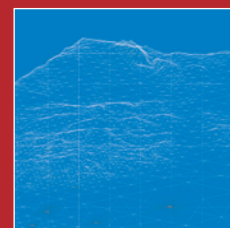
HRS sur Spot 5 : le relief en plus !

De toutes les innovations technologiques de Spot 5, l'instrument HRS (Haute résolution stéréoscopique) est l'une de celles qui devrait le plus séduire les clients de Spot Image. Il permettra en effet d'acquérir simultanément deux images (vers l'avant et vers l'arrière du satellite) qui formeront un couple stéréoscopique servant à fabriquer des modèles numériques de terrain ; une innovation majeure dont Spot Image compte tirer profit pour proposer à ses clients dans les meilleurs délais, des produits orthorectifiés d'une qualité unique sur le marché !

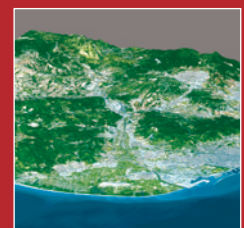


■ les MNT, une vision en relief

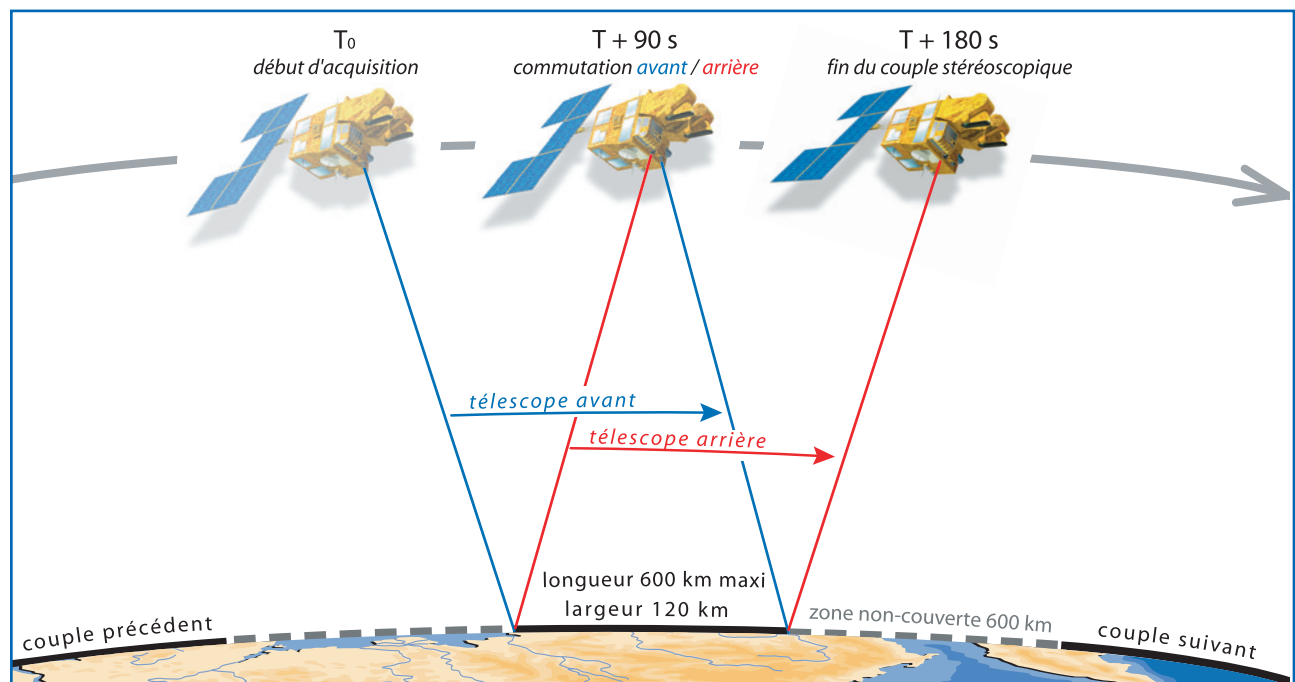
Le modèle numérique de terrain est le fichier maillé des altitudes d'une région. Il est présenté sous la forme d'une grille régulière, une altitude tous les 20 m par exemple. Il peut être obtenu par corrélation entre les deux images d'un couple stéréoscopique et est utilisé dans la fabrication des orthoimages ; on peut également en dériver des fichiers de courbes de niveau. Les MNT, éventuellement croisés avec d'autres informations, permettent la réalisation de cartes de pentes, d'ensoleillement ou de ruissellement, utilisées dans le cadre de l'aménagement de sites : parcs de loisirs, prévention des risques naturels. Particulièrement appréciés par les forces aériennes durant les conflits, ils servent également à visualiser précisément le relief afin de bien préparer les interventions.



MNT maillé de Barcelone.



Vue 3D de Barcelone.



Principe d'acquisition de couples stéréoscopiques par l'instrument HRS

■ Intégrer des détails de 1 m dans les orthoimages à 2,5 m, c'est possible !

Avec HRS, Spot Image va pouvoir fournir des orthoimages échantillonnées à 2,5 m ou à 5 m avec une localisation inégalée. En outre, pour certaines utilisations nécessitant des détails de précision métrique, un zoom pourra être fait sur une zone urbaine, par exemple. Dans ce cas, l'utilisateur aura un produit orthorectifié intégrant des inclusions métriques. Spot Image a en effet signé avec la société Orbimage, un accord de distribution des données OrbView, satellite de très haute résolution qui fournira des données à 1 m et dont le lancement est prévu au mois de juillet 2001.

Le lancement du satellite Spot 5, prévu au premier semestre 2002, est très attendu. Non seulement parce que le nouveau satellite optique de la gamme Spot proposera une meilleure résolution (2,5 m à 5 m en noir et blanc et 10 m en couleur) tout en conservant son large champ de 60 km, mais aussi parce qu'il sera équipé de HRS, un double instrument de prise de vue très prometteur qui fonctionne en mode panchromatique (noir et blanc). Installé sous Spot 5, HRS pointe à la fois vers l'avant et vers l'arrière du satellite (voir schéma ci-contre). Lors du même passage du satellite, le télescope avant (angle de visée de 20° par rapport à la verticale) capture les images du sol, suivi une minute trente secondes plus tard par le télescope arrière (angle de visée de 20° également) qui couvre la même bande de terrain. L'emprise couverte en un seul passage est particulièrement importante : 600 km x 120 km, ce qui permet à HRS d'acquérir 126 000 km² de données par jour, soit un flux considérable d'informations.

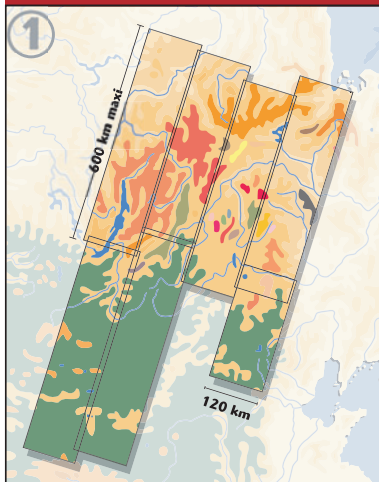
Acquérir des couples stéréoscopiques de manière simultanée, un gage de qualité

Acquérir des couples stéréoscopiques de manière simultanée apporte un réel progrès pour restituer le relief et fabriquer des modèles numériques de terrain (MNT).

L'acquisition de couples stéréoscopiques Spot est réalisée par la programmation de deux images de la même zone au sol, prises sous deux angles différents. Actuellement, ces deux images sont forcément issues de différents passages du (ou des) satellite(s), ceci induit des écarts de date parfois importants. Or, la principale difficulté rencontrée dans la fabrication de MNT provient de la différence entre ces dates, car la restitution du relief s'effectue par corrélation des deux images entre elles : il s'agit de mesurer des différences provenant uniquement des écarts entre les angles de prise de vue, ce qui est facilité par des conditions radiométriques identiques. Or, en

Grâce à HRS, la ressemblance sera maximale entre les deux images puisqu'elles seront prises à une minute et demie d'intervalle ; la corrélation sera ainsi la meilleure possible et surtout la plus exhaustive. Acquérir des images simultanément lors d'un même passage constitue donc un avantage considérable pour la qualité du produit MNT !

PRINCIPE DE GEOBASE 10



Constitution d'une base de données à partir de couples stéréoscopiques acquis par l'instrument HRS.

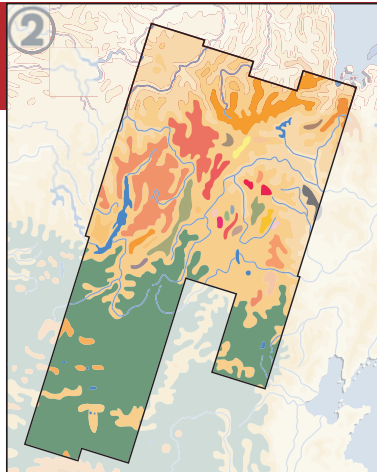
l'espace de quelques jours, les arbres mettent ou perdent des feuilles, les champs sont labourés, les terrains se dessèchent ou s'humidifient, les chantiers progressent, la neige arrive... Et le paysage est modifié !

Grâce à HRS, la ressemblance sera maximale entre les deux images puisqu'elles seront prises à une minute et demie d'intervalle ; la corrélation sera ainsi la meilleure possible et surtout la plus exhaustive. Acquérir des images simultanément lors d'un même passage constitue donc un avantage considérable pour la qualité du produit MNT !

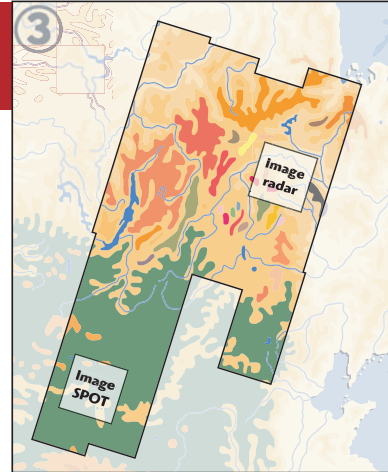
Pouvoir s'affranchir des points d'appui au sol

Spot 5 sera équipé d'un senseur stellaire. Pointé vers les étoiles, cet instrument sophistiqué reconnaît les constellations et repère la position du satellite autour de son centre de gravité par rapport à la voûte céleste. Il fournit ainsi une information très précise sur l'attitude (orientation) du satellite et par là, sur les coordonnées des points visés au sol.

Mais pour connaître l'attitude du satellite, le senseur stellaire, tout en visant les étoiles, a besoin de savoir où il est, une information qui est fournie par Doris. Cet instrument de localisation qui se trouvait déjà sur Spot 2, 3 et 4 indique, quant à lui, la posi-



Réalisation d'un MNT global et d'une orthoimage sur toute la zone avec une précision de localisation de 10 à 20 m, grâce à la modélisation des couples HRS par spatiotriangulation.



Recalage de données issues de différents capteurs facilité par l'excellente précision de localisation de l'orthoimage HRS.

Source Spot Image / L.P.

■ HRS vient pallier les lacunes des systèmes actuels

La couverture mondiale en MNT est aujourd'hui très faible (seulement 24 % pour l'Amérique du nord, 2 % pour l'Amérique du sud et 0 % pour l'Afrique). Elle couvre un peu plus les régions à fort développement alors que le besoin est crucial dans les nombreuses contrées dites économiquement faibles. Or s'il existe plusieurs systèmes permettant l'obtention de données stéréoscopiques, aucun n'est aujourd'hui optimisé pour réaliser des MNT. Ainsi, la photographie aérienne est trop coûteuse pour couvrir de grandes superficies. Grâce à l'interférométrie, l'imagerie radar, quant à elle, mesure bien les déformations d'un terrain, mais cette technique ne fonctionne de manière pleinement satisfaisante que sur des reliefs doucement vallonnés et, de plus, elle est parfois perturbée par des phénomènes atmosphériques non détectables qui engendrent des erreurs importantes. Il est vrai que la numérisation de cartes existantes permet d'obtenir des MNT à faible coût mais ces cartes, lorsqu'elles sont effectivement accessibles ou disponibles se révèlent souvent de qualité insuffisante. Enfin, la stéréoscopie actuelle des satellites Spot est très intéressante mais elle est obtenue par visées latérales non simultanées, ce qui induit des délais d'acquisition parfois importants, des coûts de production élevés et permet mal de répondre, dans un délai raisonnable, à des demandes très volumineuses. HRS est donc un système performant en terme de rapport qualité-prix qui viendra combler un manque. Prévu pour une durée minimum de cinq ans, HRS couvrira chaque année de 6 à 10 millions de km², soit une couverture mondiale de 30 à 50 millions de km² en 5 ans, ce qui correspond à un tiers des terres émergées !

tion du satellite sur son orbite à quelques centimètres près.

« Le senseur stellaire qui équipe Spot 5, couplé à Doris, va nous permettre probablement de produire des MNT avec une précision absolue de localisation meilleure que 30 à 50 m alors que les performances de

localisation actuelles sur les satellites Spot 1, 2, 3, 4 sont d'environ 350 m à 400 m », explique Philippe Delclaux, Directeur de la Production et des Services Techniques à Spot Image.

Aujourd'hui, pour pallier ce dernier inconvénient et fabriquer des MNT précis, on doit recalcr les images à



l'aide de points d'appui extraits de cartes topographiques. C'est une étape indispensable pour superposer d'autres données lorsque l'image est utilisée en fond de carte dans un SIG, notamment pour les études d'urbanisme, cadastrales etc.

Si les performances HRS attendues se confirment, ce besoin de recalage sera supprimé. Pouvoir se passer ainsi de points d'appui ouvre une nouvelle voie : celle de la production automatisée de MNT et d'orthoimages, une démarche sur laquelle travaillent actuellement Spot Image et ses partenaires.

Autre atout : « la précision altimétrique actuellement de 12 à 15 m sera sensiblement améliorée avec HRS. Nous aurons une estimation fiable de cette précision après le lancement du satellite » indique Marc Bernard, ingénieur à la Direction du développement.

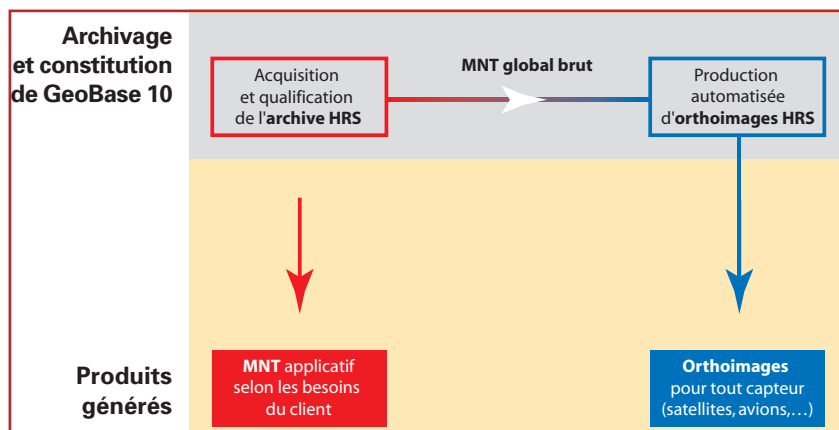
Des orthoimages plus précises et plus économiques

Les MNT HRS seront également utilisés pour fabriquer des orthoimages. Ces produits se présentent sous la forme de fonds cartographiques de haute qualité géométrique, d'une grande précision et facilement intégrables dans les SIG.

Grâce à la collecte systématique de couples stéréoscopiques HRS sur de grandes étendues, on va constituer une base de données mondiale de MNT et d'orthoimages constituant une excellente référence géométrique dénommée GeoBase10.

GeoBase10 servira aussi bien à recaler les images Spot (de Spot 1 à Spot 5) que celles issues d'autres capteurs. Ainsi, on s'affranchit de la nécessité de collecter des cartes et des points d'appuis et l'on économise des opérations manuelles de production, souvent longues et coûteuses.

Grâce à HRS, Spot Image sera donc en mesure de produire des MNT et des orthoimages de meilleure qualité et moins chères. Car ce qui fait le prix élevé des produits orthorectifiés, c'est entre autres, l'achat ou la fabrication des MNT (pour corriger les déformations dues au relief), et la recherche de cartes (pour les points d'appuis), d'autant plus que toutes les régions



filères de production des Données de l'instrument HRS

du globe ne sont pas aussi bien couvertes en MNT que la France.

Marc Bernard, nous commente : « Demain Spot Image disposera en interne de tous les éléments nécessaires pour orthorectifier de façon automatique n'importe quelle image optique (les études sont en cours). C'est toute la force de HRS et ce sera un avantage unique que nous comptons bien exploiter au mieux sur le marché ». Le besoin en MNT au niveau mondial est immense (cf. encadré page précédente). Pouvoir créer des MNT de façon systématique va sans nul doute développer de nouvelles applications et permettre de servir de nouveaux clients.

Des applications multiples

Tous les SIG utilisent aujourd'hui, à des degrés divers, des images aériennes ou satellitaires qui doivent être superposées avec précision aux autres sources de données manipulées par les utilisateurs (statistiques, documentaires, administratives, socio-économiques, géographiques). La correction des effets du relief est faite à l'aide d'un MNT dont la précision décimétrique est suffisante hors des zones urbaines denses.

Pour l'heure, les études d'implantation des réseaux de téléphonie cellulaire comptent parmi les plus gros demandeurs de données 3D, mais les MNT sont couramment utilisés aussi pour l'agriculture, les études d'impact en environnement ou pour la cartographie institutionnelle.

Ce sont les applications de la défense qui sont le plus gourmandes en

■ Un partenariat innovant avec Astrium

Si Le projet HRS est, techniquement innovant, il l'est également quant à son financement. Pour la première fois, un industriel, la société Astrium, maître d'œuvre de HRS pour le compte du CNES, a décidé de participer au pré-financement du projet pendant les trois années de réalisation de l'instrument.

Cette prise de risque partagée avec le CNES constitue un exemple de l'implication croissante du secteur privé dans l'investissement nécessaire à la réalisation de systèmes spatiaux d'observation et illustre la politique de partenariat que le CNES a établi avec les industriels européens.

orthoimages, celles-ci se révélant de précieuses alliées pour la préparation des missions aériennes et l'aide au commandement. Combinées aux MNT, les orthoimages apportent, en effet, une vision précise du relief des futurs théâtres d'opérations et sont devenues indispensables à la simulation aérienne en basse altitude.

HRS va ainsi combler des besoins non satisfaits aujourd'hui tout en apportant une qualité supérieure et en réduisant les délais. ●

Source : Spot Image

Le développement du de la géodésie

On remarque que le développement du vecteur GPS le long de l'ellipsoïde souffre toujours du manque de précision du calcul du rayon de courbure [1]. Pour bien faire il faudrait aller jusqu'à calculer ce rayon points par points.

C'est ce qu'on a tenté de faire pour apprécier la précision des différentes méthodes de calcul utilisées. On a alors remarqué qu'il existait aussi une méthode de calcul du «problème direct» qui utilisait la même méthode [2], d'où l'idée de l'utiliser conjointement avec le calcul précis du rayon de courbure en chaque point. L'idée de base de cette méthode est fort simple : il s'agit de se servir de l'ordinateur de bureau comme d'un intégrateur, ce que j'avais fait déjà pour calculer les points d'une clothoïde ou d'une spirade [3] en accumulant l'intégrale de Fresnel ou de la formule intégrale de la spirade point par point.

Le développement

a est le grand axe de l'ellipsoïde de référence et b son petit axe. Rappelons que, si on veut travailler plus près du géoïde, comme on le recommande aux géomètres et topographes soucieux de ne pas introduire une erreur d'échelle dans leurs levés, on doit faire

$$a' = a + h_g \cdot \frac{(1 - e^2 \sin^2(\varphi))}{1 - e^2}, \quad b' = b + h_g \cdot (1 - e^2 \sin^2(\varphi)),$$

dans le cas contraire $a' = a$, $b' = b$, $c' = c$. avec h_g hauteur du géoïde, φ latitude, $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$

La courbure du méridien, en un point, est $\rho = \frac{c'}{V^3}$ avec :

$$c' = \frac{a'^2}{b'}, \quad \text{Rayon au pôle, } V = \sqrt{1 + e'^2 \cdot \cos^2 \varphi}, \quad e'^2 = \frac{a'^2 - b'^2}{a'^2}$$

la grande normale est : $N = \frac{c'}{V}$

Le triangle géodésique montre les trois cotés du triangle rectangle : l'hypoténuse dS , les deux côtés de l'angle droit, en direction N-S : $\rho \cdot d\varphi$, sens des latitudes, dans les sens O-E : $N \cdot \cos(\varphi) \cdot d\lambda$ sens des longitudes. L'angle 3-1-2 entre le nord 1-3 et la direction 1-2 est l'azimut 1-2 $Az_{1 \rightarrow 2}$

Tout au long de la géodésique on a la relation de Clairaut : C , est constante tout au long de la géodésique, de cette propriété on tire:

$$\sin(Az) = \frac{C}{N \cdot \cos(\varphi)} = \frac{V \cdot C}{c \cdot \cos(\varphi)} = \frac{\sqrt{1 + e'^2 \cdot \cos^2(\varphi)} \cdot C}{c \cdot \cos(\varphi)}$$

Comme N n'est fonction que de la latitude φ on peut calculer Az de point en point, l'azimut de la direction de la géodésique en un point de la géodésique, on a les deux relations

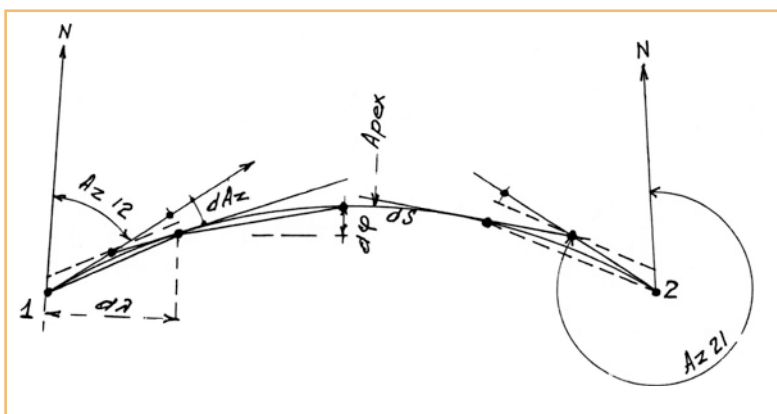
$$dS \cdot \cos(Az) = \rho \cdot d\varphi \quad d\varphi = \frac{dS \cdot \cos(Az)}{\rho}$$

$$dS \cdot \sin(Az) = N \cdot \cos(\varphi) \cdot d\lambda \quad d\lambda = \frac{dS \cdot \sin(Az)}{N \cdot \cos(\varphi)}$$

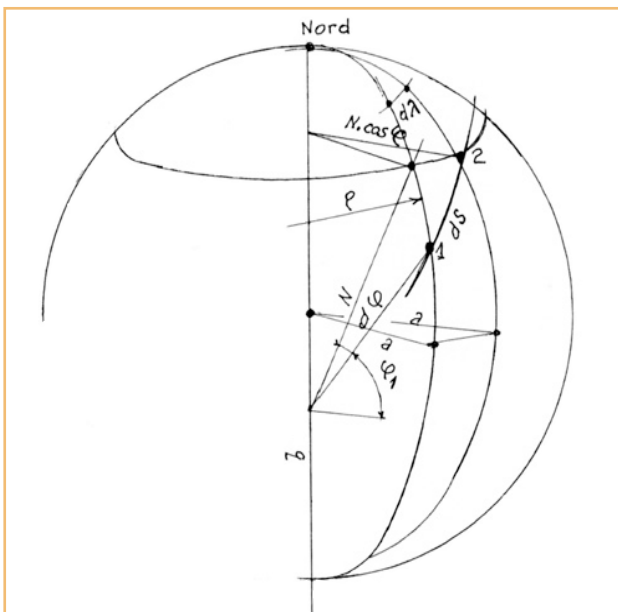
Il suffit d'accumuler $d\varphi$ et $d\lambda$: $\varphi_2 = \varphi_1 + \sum d\varphi$, $\lambda_2 = \lambda_1 + \sum d\lambda$

A l'origine de la géodésique on calcule la constante de Clairaut C , puis au premier point intermédiaire, on recalcule alors Az à l'aide de C , constante de Clairaut, puis à l'aide de φ_1 on calcule successivement : V_1 , N_1 , et ρ_1 . Dans ces relations, e' et c' sont des constantes de l'ellipsoïde et ne varient pas.

La distance rectiligne ΔL est d'abord divisée en tronçons égaux d'environ 100 mètres on pose :



Claude Million



$n = \text{entier} \left(\frac{\Delta L}{100} \right)$, puis $d\Delta L = \frac{\Delta L}{n}$, ensuite on calcule le côté

suivant noté Rph:

$$\begin{aligned} (R_{i+1} + h_{i+1})^2 &= (R_i + h_i)^2 + d\Delta L^2 + 2.(R_i + h_i).d\Delta L.\cos(Z_{i \rightarrow i+1}) \\ &= R_{ph}^2 \end{aligned}$$

L'arccos $_{j \rightarrow j+1}$ est calculé de la manière suivante

$$\alpha_{i \rightarrow i+1} = \text{Arc sin} \left(\frac{d\Delta L \cdot \sin(Z_{i \rightarrow i+1})}{R_{ph}} \right)$$

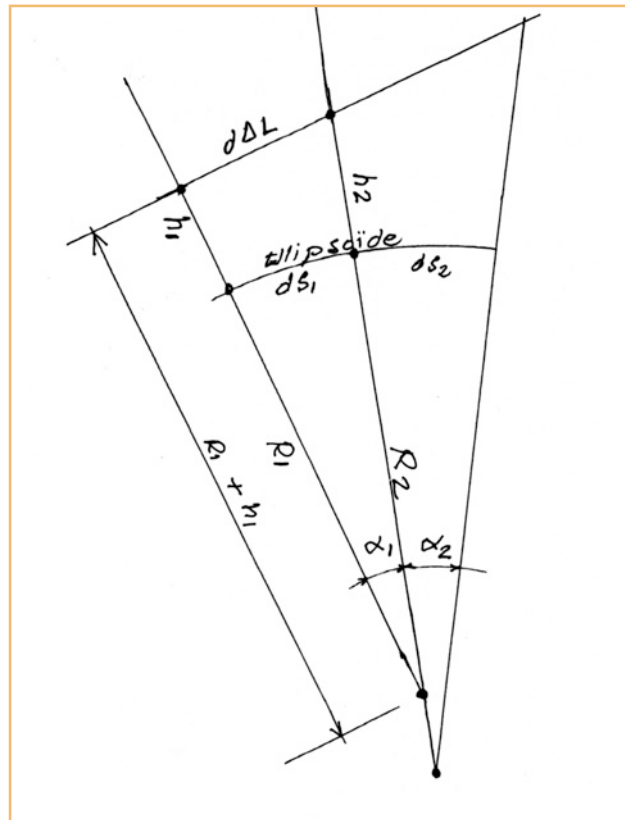
Rappelons que l'arc sinus est ambigu car $\sin(x) = \sin(\pi - x)$ et qu'il y aurait lieu de prendre des précautions sérieuses si l'angle était grand, or il est très petit.

$R_{i, i+1}$, valable dans l'intervalle $i, i+1$, sera calculé à l'aide de la formule d'Euler:

$$R_{i \rightarrow i+1} = \frac{N_i}{\overline{\rho_i} (N_i \cos^2(Az_{i \rightarrow i+1}) + \sin^2(Az_{i \rightarrow i+1}))}$$

La distance zénithale Z le long de la droite est calculée, point par point, de la manière suivante $Z_{i \rightarrow i+1} = Z_{i-1 \rightarrow i} - \alpha_i$

Malheureusement, cette manière de faire qui donne de bon résultats tombe en défaut quand l'azimut est un peu inférieur à $\frac{\pi}{2}$. En effet, dans la constante de Clairaut,



l'azimut intervient par son sinus $C = N \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(Az_{j \rightarrow j+1})$.

Quand on recalcule l'azimut à partir de la constante de Clairaut C on ne connaît, par conséquent, que le sinus de l'angle.

Or, $\sin(x) = \sin(\pi - x)$, on doit donc retenir les signes du sinus et du cosinus avant d'entrer dans les calculs pour lever cette indétermination. Mais, cette méthode tombe en défaut si au cours du calcul point par point on dépasse l'apex (le point le plus au Nord ou au Sud de la géodésique), en ce point $Az = \frac{\pi}{2}$, et les signes de $\sin(Az)$ et de $\cos(Az)$ changent.

D'où le risque de grossières erreurs indétectables, sauf à stopper le programme lorsque cela survient.

On a donc modifié la méthode de Kivioja [2] en remarquant que tout au long de la géodésique on a : $dA_z = d\lambda \cdot \sin(\varphi)$, On a donc abandonné la constante de Clairaut C, pour calculer l'azimut en formant les sommes successives :

Az ← Az + dAz. Ainsi on ne perd pas le quadrant de calcul.

Logiciel

On donne le logiciel Fokimi « *in extenso* », en pseudo-code.
Constantes a, b, e^2, e'^2, h_g
Données $\lambda_1, \varphi_1, h_{e+1}, \Delta X, \Delta Y, \Delta Z$

Début

$$a' = a + h_g \cdot \frac{(1 - e^2 \sin^2(\varphi))}{1 - e^2} \quad b' = b + h_g \cdot (1 - e^2 \sin^2(\varphi))$$

Passage à un ellipsoïde plus proche du géoïde. Ceci peut être éludé bien sûr.

$$c' = \frac{a'^2}{b'}$$

$$\Delta L_{12} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

$$Az_{1 \rightarrow 2} = \text{Arctg} \left(\frac{\Delta Y \cdot \cos(\lambda) - \Delta X \cdot \sin(\lambda)}{\Delta Z \cdot \cos(\varphi) - \Delta Y \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\lambda) - \Delta X \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\lambda)} \right) \quad [4]$$

$$Z_{1 \rightarrow 2} = \text{Arc cos} \left(\frac{\Delta X \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\lambda) + \Delta Y \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\lambda) + \Delta Z \cdot \sin(\varphi)}{\Delta L} \right)$$

Prendre des précautions, d'autant qu'on est au voisinage de $\frac{\pi}{2}$ pour cela on utilise la cotangente de l'arc qui est continue au voisinage de cette valeur, puis la fonction informatique $\arctan2(X, Y)$ en plaçant le numérateur en Y et le dénominateur en X. On obtient directement l'arc recherché.

$$N = \frac{c'}{V} \quad \rho = \frac{c'}{V^3}$$

$$R = \frac{N}{\frac{N}{\rho} \cdot \cos^2(Az) + \sin^2(Az)}$$

$$h_e \leftarrow h_e + h_g \quad R_{ph} = R + h_e$$

$$n = \text{entier} \left(\frac{\Delta L}{100} \right) \quad d\Delta L = \frac{\Delta L}{n} \quad i = 1 \quad \Delta S = 0$$

Faire

$$V_i = \sqrt{1 + e'^2 \cdot \cos^2 \varphi_i}$$

$$\rho_i = \frac{c'}{V_i^3} \quad \text{Rayon du méridien en ce point}$$

$$N_i = \frac{c'}{V_i} \quad \text{Grande normale}$$

$$R_{ph_{i+1}}^2 = (R_i + h_i)^2 + d\Delta L^2 + 2 \cdot (R_i + h_i) \cdot d\Delta L \cdot \cos(Z_{i \rightarrow i+1})$$

Côté du triangle

$$R_{i+1} = \frac{N_{i+1}}{\frac{N_{i+1}}{\rho_{i+1}} \cos^2(Az_i) + \sin^2(Az_i)}$$

Formule d'Euler du rayon de courbure en un point

$$h_{e, i+1} = R_{ph_{i+1}} - R_i \quad \text{voir la figure} \quad R_{ph_{i+1}} \leftarrow h_{e, i+1} + R_{i+1}$$

$$\alpha_{i \rightarrow i+1} = \text{Arc sin} \left(\frac{d\Delta L \cdot \sin(Z_{i \rightarrow i+1})}{R_{ph_{i+1}}} \right)$$

Pas ambigu si l'angle est petit, ce qui est le cas.

$$dS_{i \rightarrow i+1} = R_i \cdot \alpha_{i \rightarrow i+1}, \quad \Delta S = \sum dS$$

$$d\varphi_{i \rightarrow i+1} = \frac{dS_{i \rightarrow i+1} \cdot \cos(Az_{i \rightarrow i+1})}{\rho_i}$$

Solution du problème géodésique inverse

Longitude	-1.201176082	Fermeture	7.91517332729303E-5
POINT 1			
Latitude	43.452354537	Distance	25704.58032268
Longitude	-1.300176547	Azimut direct	234.4545631807
POINT 2			
Latitude	43.332927771	Azimut inverse	34.3290723333
Pas en mètres	100.00		

Calculer

Entre les données

Données par défaut

Imprime

Solution du problème géodésique direct

POINT 1	POINT 2		
Longitude 1	-1.201176082	Longitude 2	-1.300176559
Latitude 1	43.452354537	Latitude 2	43.332927779
Azimut 1-2 grades	234.454131919	Azimut 2-1	34.328663231
Distance m	25704.58		
Pas en mètres	100.00		

Valeurs par défaut

Enter les données et calcul

Calcul des coordonnées géographiques à partir d'un vecteur G P S et contrôle des résultats:

Point 1	Point 2		
X	14931.370		
Y	13593.324		
Z	15943.980		
Longitude	-1.201176082	-1.300176547	-1.300176541
Latitude	43.452354537	43.332927771	43.332927801
Altitude ou h _e	52.57	59.392	59.395
	0.00		
		234.454131919	Azimut grades
		100.111504771	Distance Zénithale grades
		25704.570	Longueur développée mètres

Valeurs par défaut

Enter les données

Imprime

Barre de progression du calcul

Sur les cases des données effacez les indications en lettres avant de renseigner la case
Si vous travaillez sur le géoïde mettez les altitudes et renseignez la hauteur du géoïde
N'utiliser que la virgule décimale et surtout pas le point ; mettre la virgule après les degrés puis les chiffres en suivant selon D.M.S

Transformation traditionnelle d'un vecteur G P S en coordonnées géographiques

Vecteur G P S	Latitude de A	Latitude de B
Delta X	43.452354537	43.353905741128
Delta Y	18275.962	Longitude de A
Delta Z	-12966.863	-1.201176082
	Altitude de A	Longitude de B
	52.57	-1.06237837794875
Hauteur du géoïde	49.30	Altitude de B
		168.8505038945
Delta Omega grd	0.258698085432853	
epsilon	0.00045006918783123	
Distance Zénithale inverse	100.415245623274	

Calculs préliminaires

Calculs définitifs

Cheminement

Arc en grades

Imprime

$$d\lambda_{i \rightarrow i+1} = \frac{dS_{i \rightarrow i+1} \cdot \sin(Az_{i \rightarrow i+1})}{N_i \cdot \cos(\varphi_i)}$$

$$\lambda_{i+1} \leftarrow \lambda_i + \sum d\lambda_{i \rightarrow i+1}$$

$$\varphi_{i+1} \leftarrow \varphi_i + \sum d\varphi_{i \rightarrow i+1}$$

$$dAz = d\lambda \cdot \sin(\varphi)$$

$$Az \leftarrow Az + dAz$$

$$Z_{i \rightarrow i+1} = Z_{i \rightarrow i+1} - \alpha_i$$

$$i \leftarrow i + 1$$

Jusqu'à ce que ($i > n$)

$$\lambda_2 \leftarrow \lambda_{i+1}$$

$$\varphi_2 \leftarrow \varphi_{i+1}$$

$$h_{e,2} \leftarrow h_{e,i+1}$$

Détail du calcul

Le calcul des différents points de la géodésie se fait non pas par les tangentes externes à la courbe, mais par les sécantes internes. Voir la figure. Pour cela il faut calculer, en premier, un point approché situé au milieu de chaque segment, à l'aide de l'azimut au point précédent, et c'est seulement en ce dernier point que sera estimé l'azimut qui permettra de calculer le point suivant. Afin de permettre un contrôle, on a affiché sur le logiciel l'azimut 2-1 calculé par intégration des différentes valeurs de dAz et, au-dessous, directement par le vecteur DGPS (formules de [4]).

Conclusions

Dans un précédent article, consacré au même sujet, on avait employé des moyens classiques qui se sont révélés insuffisants à démontrer ce qu'on voulait prouver. On a donc cherché un moyen plus précis. Celui qu'on vient de présenter assure une correspondance telle qu'on est assuré d'avoir mieux que le centimètre, voire même le millimètre. Un logiciel a été établi à cet effet, il est nommé «Kivioja» lequel est inspiré l'article du géodésien du même nom [2], le second logiciel, qui évite les incertitudes de signe au passage de l'apex de la géodésie, a été nommé «fokimi». Il sont tous deux disponibles sur notre site Internet ou sur celui de la Revue. A des fins de contrôle, et pour les curieux, on a donné deux logiciels dont les noms sont «direct» et «inverse» qui indiquent bien leur utilité et leur fonction. C'est la résolution des anciens problèmes dits direct et inverse du calcul de la géodésie.

Toutefois, la correspondance exacte entre le calcul consacré par l'usage, de la projection du point G PS sur l'ellipsoïde de référence, et le développement de la géodésie sur l'ellipsoïde ne tend pas à démontrer que le premier pourrait suffire. Pour travailler en deux dimensions, au plus près du géoïde, il faut adopter un point de base (ou de départ) sur la surface et progresser sur celle-ci. C'est un des deux moyens de «mélanger» des

mesures traditionnelles et des mesures spatiales, l'autre étant d'introduire les mesures traditionnelles dans le système cartésien géocentrique des mesures spatiales avec les problèmes que cela pose.

Enfin, la projection orthogonale du point sur l'ellipsoïde, quel qu'il soit, laisse subsister une insatisfaction, car la verticale, à laquelle nous rapportons toutes nos activités, n'est pas rectiligne, pour plus de détails voir [5]. On commet une erreur de position relative entre les points d'altitudes très différentes qui ne touche que la différence de latitude. Cette erreur de 0'',17 / 1 000m, apparemment très petite, est incompatible avec les précisions atteintes par la topométrie, elle représente, au sol, 5,25 m/1 000m de dénivelée, la position relative de deux points à des altitudes différentes de 100m est faussée de 0,525 m.

Il reste que l'introduction de la géodésie dans la profession du géomètre pose, pour utiliser à la fois les anciennes méthodes de mesure et les nouvelles, et marier les résultats dans un référentiel commun, des problèmes qui ne seront résolus que si on veut bien les examiner soigneusement. ●

Références

- [1] Françoise. Duquenne : *G P S - Nouveau Système de Référence Géodésique Français, nouveaux processus de calculs*, in Bulletin des Sciences Géographiques n°6 Sept 2000 INCT Alger
- [2] L.A Kivioja : *Computation of Geodetic Direct and Indirect Problems by Computers Accumulating Increments from Geodetic Line Elements*, Bulletin Géodésique n°99 mars 1971 pp55-63
- [3] Claude Million : *Mieux que la Clothoïde : la spirale adoucie* in X Y Z n°
- [4] André Fontaine *Comment faire un traitement géodésique des mesures GPS* in X Y Z n° 86 Février 1^{er} trimestre 2001.
- [5] Robert Vincent : *Eppur si muove ou à propos de Galilée* in X Y Z n°61 1994-4

Il reste que l'introduction de la géodésie dans la profession du géomètre pose, pour utiliser à la fois les anciennes méthodes de mesure et les nouvelles, et marier les résultats dans un référentiel commun, des problèmes qui ne seront résolus que si on veut bien les examiner soigneusement.

L'esprit de GSF... ?

François Bodin



Depuis une heure déjà la ville s'est réveillée en ce dimanche d'avant saison des pluies.

La circulation un peu moins dense qu'en un jour de semaine donne toujours ce fond sonore de vrombissements de moteur et de coups de klaxon permanents parfois remplacés par les chants du passage d'une procession de l'église du christianisme céleste¹ ou couvert par l'appel du muezzin de la mosquée voisine.

Le souffle d'air marin agite doucement la moustiquaire accentuant

encore un peu la sensation de fraîcheur matinale... Encore une heure de répit avant que la touffeur tropicale ne le chasse de son lit, une heure à laisser vagabonder ses pensées.

Il est ici depuis quelques semaines à partager son jeune savoir avec ses élèves africains, à l'appliquer en brousse en leur compagnie à l'occasion de travaux pratiques.

Les questions de ses élèves le dérangent souvent, d'une part professionnellement en le poussant dans ses derniers retranchements, d'autre part culturellement en comparant ce qu'il vit en Europe avec ce qu'il côtoie en Afrique.

Au fond il ne peut s'empêcher de se demander s'il a bien sa place ici, si son pouvoir d'achat n'est pas disproportionné par rapport à celui de ses hôtes qui pourtant l'hébergent, le nourrissent et font tout leur possible

pour qu'il ne manque de rien...

Son café soluble avalé il rejoint Charles-Edouard, enseignant volontaire comme lui, qui était allé participer à la messe dominicale toujours autant ému devant la gentillesse des fidèles qui vivent les offices avec tout leur corps. Tous deux partent à la recherche d'un zem² qui les emmènera pour l'équivalent de 2 francs jusqu'à la plage bordée de cocotiers où ils loueront pour la journée un abri de palmes tressées.

Immanquablement certains de leurs élèves les retrouveront vers l'heure du déjeuner qu'ils iront partager ensemble dans un maquis³ proche avant de taper dans le ballon entre deux bains de mer ou de passer des heures à parler de tout et de rien : de ce que tu vis dans ta famille et moi dans la mienne, de la façon dont on me parle du SIDA en Europe et de l'attitude que tu as devant ce véritable





Les zems

fléau local, de notre histoire commune qui se solde par l'appartenance au monde francophone et aux valeurs qu'il véhicule, de la façon dont tu appréhendes le temps qui passe face à cette vie de stress qui m'attend à mon retour...

Il ne sait pas pourquoi mais il sent bien que son séjour ne se limitera pas à la petite salle de cours qu'il a arpentée de nombreuses heures. Il ne réalise pas encore que ces heures passées ensemble ont fait tomber beaucoup de barrières inconscientes, que l'ami africain lui sait gré de s'être intéressé à lui et à sa vie en venant enseigner une matière trop pointue pour qu'elle puisse justifier d'un corps professoral local.

Et ils mettront certainement, l'Africain et l'Européen, quelques mois à découvrir au fond de leur cœur que ce voyage et ces moments passés ensemble sous le même toit les ont rendu un peu frères et constituent un des meilleurs chemins vers la paix...●

(1) Eglise du Christianisme Céleste : église ou secte locale au Bénin dont les fidèles sont vêtus tout de blanc.

(2) zem : abréviation de zemidjian, mobylette-taxi reconnaissable à la couleur jaune de la chemise du conducteur ; fonctionne en général avec un mélange d'essence frelatée aux dégagements particulièrement fumeux qui font de Cotonou une ville presque aussi polluée que Mexico...

(3) maquis : petit « restaurant » provisoire de plein air fonctionnant à toute heure du jour, particulièrement économique.

Il ne sait pas pourquoi mais il sent bien que son séjour ne se limitera pas à la petite salle de cours qu'il a arpentée de nombreuses heures. Il ne réalise pas encore que ces heures passées ensemble ont fait tomber beaucoup de barrières inconscientes, que l'ami africain lui sait gré de s'être intéressé à lui et à sa vie en venant enseigner une matière trop pointue pour qu'elle puisse justifier d'un corps professoral local.

Adhésions 2001

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

Rappel :

Membre adhérent : 300 francs

Etudiant : 100 francs

Bienfaiteur : 500 francs

GSF -M. Bodin

15 rue Joyeuse 18000 BOURGES

Tél : 02 48 65 30 09 - Fax : 02 48 65 05 19

e-mail : fr.bodin@wanadoo.fr

Merkado : Ode à

Longue d'un kilomètre la rue de l'Université dessert le quartier du Pavé neuf à Noisy-le-Grand. Sur son parcours, on cherche en vain l'équipement public annoncé sachant qu'il ne peut pas être une trace du passé dans une urbanisation des années 1980. Alors il faut savoir que les aléas de la programmation ont reporté le campus de Marne-la-Vallée plus à l'Est, mais le nom est resté.



Photo : Yvette Velay

A défaut pour le conseil municipal d'avoir eu à honorer une illustre personnalité locale, nationale ou internationale, cette voie pourrait s'appeler aujourd'hui « rue du Nouveau cimetière », « rue de la Passerelle », « rue de la Cité automobile » qui sont des réalisations tangibles ou, mieux encore, être dénommée « rue de l'Ode », titre de cette sculpture monumentale en demi-cercle qui, implantée à mi-chemin, rend la voie moins anonyme. On peut y voir un stylo-bille qui dessine un trait droit avec une encre de marbre noir sur un marque-page de pierre blanche. Son caractère surréaliste est marqué par l'opposition entre un stylo courbe planté comme un compas et la marque rectiligne tracée sur le sol qu'on attend circulaire.

Les géomètres penseront à un fil à plomb anodisé et inattendu érigé au rang d'arc de triomphe et à une composition de figures élémentaires : anneau, cône, rectangle et segment enchâssée dans un écrin engazonné. Ils s'interrogeront aussi sur la définition de la droite selon laquelle elle est un cercle de rayon infini pour expliquer le défaut d'aplomb de l'outil de base de la profession.

D'autres, comme Geneviève Breerette journaliste au Monde, y reconnaîtront « une articulation dans l'espace de formes simples qui délimitent entre elles des zones de tension et d'action, de rencontres et d'événements possibles ».

Cette arche épurée souligne l'architecture arrondie des Arènes de Picasso, un ensemble de logements construits par l'architecte Nuñez, fami-

l'art construit

Jean-Pierre Maillard

lièrement appelé « les Camembert » bien mieux connu sous ce nom et dont le décor plait tant aux publicitaires.

Avec la courbe des deux « immeubles-roue » de Nuñez, l'Ode se présente comme un arceau de douceur dans la raideur des horizontales et des verticales des autres bâtiments de Pavé neuf. Elle guide aussi les résidents vers la passerelle franchissant l'autoroute A4 jusqu'au stade Alain Mimoun. Là encore, tout est géométriquement ordonné, l'axe de la Passerelle, celui de l'écrin de l'Ode et la place Pablo Picasso, place octogonale et d'architecture délirante autour de laquelle s'ordonnent les Camembert.

Merkado, créateur de l'œuvre, est né en 1935 à Sofia. A treize ans, il quitte la Bulgarie et s'installe en Israël. Sa formation le conduit à embrasser de nombreux domaines qui vont de la mécanique à la littérature, de l'économie politique aux beaux-arts, d'abord étudiés à Tel Aviv puis à Paris.

C'est pourquoi il revendique une interdisciplinarité qui lui permet, dit-il, d'échapper à toute étiquette, à toute « appartenance qui n'arrange pas du tout (la) perception, (et) paralyse au lieu de libérer ». Il ne cache pas son ambition de faire le portrait du temps et de l'espace en s'exprimant avec de multiples matériaux sans oublier les mots, les lettres et la musique.

Ainsi, depuis 1962, il vit de ses arts

dans un atelier parisien et met son travail au crédit de la nationalité française acquise en 1969. Il ne peut cependant pas nier qu'il est sculpteur, « *d'une espèce particulière et dont il serait, à ce jour, l'unique représentant* » comme le définit Marcelin Pleynet dans la publication « l'Art et la Ville », dès lors qu'il peut s'enorgueillir notamment des prix Auguste Rodin et Bourdelle. Merkado est exposé dans le monde entier et ses réalisations monumentales sont présentes dans une vingtaine de villes françaises, portugaise, coréenne et japonaise.

De nombreux titres des œuvres de Merkado explicitent la dimension mathématique de sa recherche : Déchet de la verticale, Centre biceutre, 360° à l'ombre, Projection, Repère etc... Son travail permet d'approcher la limite entre art et géométrie. Pour lui, deux carrés parfaitement identiques peuvent être différents « *si l'un d'eux redevient l'exemple réalisé grâce au concours du concept tandis que le second va continuer à exercer la fonction de figure géométrique* ». Ainsi, le discours va distinguer chacun des carrés, le premier étant l'objet d'un « *repère codé qui, ... métaphoriquement se situe comme un champ magnétique sans polarité* ».

Ainsi, Merkado nous emmène aux confins de l'esprit et de la physique.

Le nom de l'œuvre contribue aussi à renforcer son identité. A cet égard on peut voir dans l'Ode de Noisy-le-Grand un « o », un « e » à demi-enterrés et un

« d » couché, donnant ainsi à la sculpture une dimension d'écriture naissante. Plus conceptuellement et selon le système d'anagrammes structurés mis au point par l'artiste, définissant le mot nouveau comme celui résultant de l'ordre alphabétique des lettres du mot premier, l'œuvre se retrouve baptisée « Deo », tout comme Rouge donne « Egoru », une peinture qui a fait date dans l'œuvre du créateur. Alors, rien n'empêche de jouer avec les lettres comme « Merkado/Adekmo

N.B. : Au printemps 2001 le Centre Pompidou à Paris a consacré une exposition à « Denise René, l'intrépide, une galerie dans l'art abstrait, 1944-1978 » que je ne devais pas manquer. Cette marchande d'art passionnée de renom international a mobilisé son énergie au service de l'abstraction et à la défense des plus grands artistes de l'art géométrique et cinétique d'après guerre. Elle a notamment fait découvrir Vasarely, Morellet et Tomasello après avoir fait connaître Mondrian. C'est donc avec un grand plaisir que j'ai élargi mes connaissances et constaté que le sujet « Art et Géométrie » est bien dans l'actualité.

Les Editions du Centre Pompidou ont publié un catalogue de l'exposition - 200 pages, format 22 cm x 28 cm. Nombreuses illustrations. Prix 180 F.

Galerie Denise René :
22, rue Charlot 75003 Paris
196, boulevard Saint-Germain
75007 Paris

Avec la courbe des deux « immeubles-roue » de Nunez, l'Ode se présente comme un arceau de douceur dans la raideur des horizontales et des verticales des autres bâtiments de Pavé neuf. Elle guide aussi les résidents vers la passerelle franchissant l'autoroute A4 jusqu'au stade Alain Mimoun. Là encore, tout est géométriquement ordonné, l'axe de la Passerelle, celui de l'écrin de l'Ode et la place Pablo Picasso, place octogonale et d'architecture délirante autour de laquelle s'ordonnent les Camembert.

Tunnel de La Major Marseille

L'association Région PACA a organisé une visite le mardi 29 mai 2001 sur le site du tunnel de La Major à Marseille.

Ce tunnel permettra la liaison du tunnel du Vieux Port au tunnel de La Joliette (A55). Il comprend une partie cintrée de 60 m de longueur, 6,40 m de largeur et 5,30 m de hauteur et une partie cadre de 607 m de longueur avec même largeur et hauteur que précédemment.



Vue du chantier



Vue du chantier à l'amont du projet

Déroulement de la journée :

Rendez-vous fixé à 10 heures sur le chantier, 2, place de La Major, accueil chaleureux par M. Richier géomètre du groupement (café, croissants, etc), exposés de

M. Decotte de la ville de Marseille et M. Sagnal géomètre expert sur la topographie réalisée, visite du chantier commentée par M. Monin conducteur de travaux du groupement, repas vers 13 heures chez « Le Père Louis », 26, rue Mazenod à proximité du chantier (à ne pas

manquer).

Un grand merci à M. Atanian directeur du chantier et à toutes les personnes qui ont permis cette visite. Une présence féminine Mme Beaunenay du lycée Caillé à Marseille.

A noter : Fin octobre une sortie détente Digne-Nice : le train des Pignes, à bientôt.



Le Président de la Région PACA
P. Cecchinel

Le Trésorier : F. Renault

Le combat des chefs

Robert Chevalier

La société qui m'a employé durant 34 ans, bien que spécialisée dans l'étude et la construction de lignes de transport d'énergie électrique à très haute tension, se diversifiait dans ses activités en s'intéressant à divers marchés mettant en œuvre de la charpente métallique, par analogie avec les techniques d'assemblage de pylônes. C'est dans cette logique qu'en 1965, nous avons remporté un appel d'offres, à la suite d'une consultation internationale, qui entraînait dans le cadre de la construction du complexe sidérurgique de ZELZATE en Belgique.

Ce marché comportait la mise en place de boulons de fondations pour le futur train de laminage. Quel rapport avec les charpentes métalliques ? En fait, ces boulons qui étaient des objets assez conséquents, puisque les plus gros pesaient une tonne, avec une longueur de 3 à 4 mètres et une section de 10 cm, devaient être positionnés dans l'espace à l'aide de châssis métalliques, en attendant le coulage du béton qui ne laissait apparaître au final que leur tête avec sa partie filetée. La configuration et la conception de ces châssis s'apparentaient donc assez à celle d'une structure de pylône.

Quel rapport avec la topographie ? Eh ! Bien, ces boulons devaient être réglés avec une précision intrinsèque de ± 2 m/m en XY et de ± 1 m/m en altitude, ce qui impliquait des méthodes topographiques très rigoureuses, d'autant plus qu'on se proposa d'être en dessous de ces tolérances par sécurité.

Ces boulons au nombre de 700 devaient se répartir sur une étendue considérable - le chantier total couvrait une surface de 600 ha - et se positionnaient à différentes hauteurs liées à la configuration du train de laminage qui représentait une masse de dizaines de tonnes, et qui lors de

son installation devait s'emboîter parfaitement sur les têtes de boulons, sans possibilité d'erreur.

C'était une première pour nous, peu habitués au monde de l'industrie. Renseignements pris sur les méthodes employées précédemment, on découvrit avec étonnement que les gens qui avaient déjà fait ce travail, apparemment, peu avertis de la topographie, mettaient en place un carroyage constitué par des cordes à piano, tendues à bloc, positionnées au plus près des boulons, le réglage se faisant ensuite avec des réglets de mécanicien par rapport à ces axes.

Je décidai que cette méthode un peu archaïque et bien lourde à mettre en place, devait être remplacée avantageusement par un positionnement en coordonnées tridimensionnelles, effectué à l'aide de théodolites de précision et de niveaux. Je décidai aussi, vu le côté inédit de ce type de travaux, de passer les 2 premières semaines sur place avec les géomètres pour bien roder la méthode. Lors de cette mise en place des brigades, on découvrit avec horreur que ce chantier était truffé d'excavations dignes du trou des Halles et que c'est dans ces trous qu'il fallait mettre en place nos châssis. Pour tout arranger, le site était une véritable fourmilière, dans laquelle œuvraient des milliers de personnes, appartenant à des sociétés d'une vingtaine de nations différentes.

Comme il fallait loger tout ce monde, plus une chambre d'hôtel dans un rayon de 20 km ! Il fallut donc franchir la frontière toute proche et aller



s'installer en Hollande dans différents points de chute. L'Europe n'étant pas encore tout à fait née, il fallait matin et soir passer du temps au poste frontière, dans d'énormes embouteillages. Nous travaillions bien sûr en collaboration avec des équipes de monteurs chargés d'assembler et installer les châssis qui comportaient des cadres mobiles dans les trois dimensions afin de faciliter le réglage. Pour tout simplifier, certains boulons étaient non pas verticaux mais inclinés suivant des pentes variables.

Avant l'intervention sur le terrain, le bureau d'études s'était attelé aux calculs et à la confection des plans de réalisation des châssis, qui devaient être soumis à des pressions considérables lors de la coulée du béton. Vint ensuite la phase de leur fabrication et de leur approvisionnement. Pour plus de sécurité, on installa sur le site un atelier, afin d'adapter ou modifier sur le tas ces ouvrages en cas de nécessité, ce qui s'avéra malheureusement assez fréquent et bien utile. En plus de toutes les contraintes

techniques, la première et principale difficulté résulta de la présence d'une multitude de corps de métiers, qui ne se souciaient évidemment pas de nos problèmes. Pendant que nous essayions de chasser les millimètres, des pieux étaient battus à quelques mètres de nous, des bulldozers et autres engins passaient dans tous les sens, d'autres sociétés installaient des ferrailages et des coffrages, qui tombaient souvent et au dernier moment dans nos axes de visées...

Dès que l'on plaçait un piquet, il était écrasé par un engin... de quoi s'arracher les cheveux. Le problème des piquets fut à peu près résolu en utilisant des bornes à vis avec têtes plastiques, qui permettaient un tracé fin à la craie industrielle sur celles-ci et qui s'avérèrent relativement stables. La circulation de ces engins et un vent souvent incroyablement violent - la mer du Nord était à quelques kilomètres - entraînèrent aussi des accidents sur plusieurs appareils, ce qui amena aussitôt, chose assez rare dans nos métiers, à souscrire à prix d'or une assurance contre ce genre de risques. Le risque était important aussi pour les hommes - 60 morts sur l'ensemble du site en fin de chantier - port de casque obligatoire, ce qui ne couvrait qu'une partie des nombreux dangers.

Il fallait aussi apprendre à déchiffrer les plans d'installation remis par le maître d'œuvre, plans qui n'avaient rien de topographique, et qui étaient parfois un vrai casse tête chinois, quand il fallait en extraire des coordonnées. Pour les mesures d'angles on utilisa du matériel KERN DKM2, pour le nivellement du WILD N2. Le plus gros problème s'avéra être celui de l'application des distances dans cet univers tourmenté.

Il faut se remettre dans les conditions de l'époque où il n'y avait évidemment pas de distancemètres ni de lasers permettant de visualiser les axes. On utilisa donc des décamètres

de précision, avec dynamomètres, réglette millimétrique pour lire les appoints et corrections dues à la température, ce qui permettait de mettre en place le canevas de base. Mais la plupart des points étant au fond des fouilles avec plusieurs mètres de dénivelée, on se vit obligé dans ces cas d'utiliser une stadia en invar, qui avait en outre l'avantage de fournir des distances ramenées à l'horizontale et de s'affranchir des obstacles physiques.

Une autre difficulté tenait au contexte relationnel. Dans cette tour de Babel, difficile de communiquer. Chaque société travaillait dans son domaine, sans se préoccuper de celui des autres et sans s'adresser la parole.

Le planning était draconien et le coulage du béton, la seule chose qui préoccupait le maître d'œuvre, d'où des réunions de chantier incessantes ayant pour but de coordonner au mieux les différentes activités avec un client pas très facile qui voulait bien parler français quand il en avait envie... Evidemment comme toujours les préoccupations des géomètres passaient en dernier. Il n'était pas rare que des tonnes de béton soient coulées à l'aide d'énormes goulottes alors que les derniers réglages étaient en train de se peaufiner. On vit même les géomètres achever leurs mesures avec le béton tout frais qui leur montait le long des bottes, car il ne fallait pas retarder le sacro-saint planning.

Le chantier dura près d'un an et demi, dont 2 hivers extrêmement rudes, parfois - 17 °C, avec un vent très fréquent. Faire de la précision et manipuler de la ferraille dans ces conditions n'était pas une sinécure. Les innombrables problèmes m'amènèrent à me rendre sur place au moins une fois par mois, ne serait ce que pour remonter le moral des géomètres, qui semblaient être des fourmis au cœur de ce chantier titanesque. Il fallait aussi sans cesse et jusqu'au dernier moment revoir et vérifier les points de repères et les réglages, dans la crainte qu'ils ne soient déplacés ou modifiés, se contrôler encore, se contrôler toujours.

Quand on réglait une tête de boulon, il fallait aussi assurer sa verticalité rigoureusement, mais quand on déplaçait le pied, c'était la tête qui



Le chantier dura près d'un an et demi, dont 2 hivers extrêmement rudes, parfois - 17 °C, avec un vent très fréquent. Faire de la précision et manipuler de la ferraille dans ces conditions n'était pas une sinécure.

bougeait et ainsi de suite, véritable quadrature du cercle, aggravée par l'opération de soudage des boulons sur les châssis, au cours de laquelle les ouvriers, bien malgré eux, imprimaient des mouvements à l'ensemble. En outre, certains châssis avaient été sous dimensionnés lors des calculs, ce qui entraînait une perte de stabilité et généra une bonne engeulade pour le bureau d'étude.

Pour que l'ensemble soit cohérent avec l'édification des autres installations, tout était évidemment rattaché à un canevas fondamental de haute précision, mis en place par un bureau topographique hollandais, qui était également chargé de nous contrôler. Evidemment quand on cherchait ces précisions, tout pouvait être remis en cause. C'était donc d'interminables palabres avec ces géomètres hollandais pour des questions de millimètres. Querelles d'experts parfois difficiles à trancher...

Vint un jour un gros dilemme sur la précision d'un point. : Les Hollandais contestaient l'utilisation de la stadia pourtant réalisée avec 12 réitérations dans différents secteurs du cercle.

Comme nous n'arrivions pas à nous mettre d'accord et pour en finir, il fut décidé solennellement de faire procéder à des mesures contradictoires par les géomètres des deux clans. A la faveur d'une de mes visites, on nous proposa que ces mesures soient réalisées par les responsables des deux sociétés. C'était donc le patron de ce bureau d'études, et moi-même qui devions opérer sous l'œil à la fois amusé et inquisiteur de tous les géomètres réunis et des représentants du maître d'œuvre.

Redoutable honneur, d'autant plus stressant pour moi qui ne touchais plus un appareil depuis bien longtemps, plus habitué au fil des ans à négocier des marchés et à gérer les affaires qu'à exécuter des manipulations de terrain.

Mais je ne pouvais me soustraire, il fallait donc bien se jeter à l'eau. Le jour J arrive, les équipes s'observent avec circonspection comme le font les supporters lors d'un grand événement sportif. Les deux « champions » font de même, tels des boxeurs sur un ring. Le gong ne retentit cependant pas, mais les mesures commencent dans un silence recueilli. Douze tours pour chacun avec le T2 des Hollandais. Chacun



Il fallait aussi sans cesse et jusqu'au dernier moment revoir et vérifier les points de repères et les réglages, dans la crainte qu'ils ne soient déplacés ou modifiés, se contrôler encore, se contrôler toujours.

retient son souffle et se concentre au maximum. Puis la minute de vérité arrive : examen comparatif des mesures notées simultanément, confiance oblige, par un membre de chacune des équipes « adverses », puis analyse des résultats. On constate que les mesures hollandaises sont très groupées, mais que les mesures françaises sont plutôt dispersées, ce qui me plonge dans la consternation. Mon manque de pratique en est assurément la cause. Mais alors que je ravale ma honte, surprise : quand on fait les moyennes tout est parfaitement cohérent, l'écart final est de 2" ce qui représente peu de chose en longueur.

La courbe de Gauss a bien fonctionné en faveur du clan français, ce qui ne surprend finalement personne, et peut être mes compétences passées sont elles revenues à la surface, ce qui tendrait à prouver que la topographie, c'est comme le vélo ou la natation : ça ne s'oublie pas...

A l'issue de ce match digne des jeux olympiques, on se congratule, on se serre les mains, l'incident est clos, tout à notre honneur, le client est rassuré. Petit incident parmi bien d'autres, qui montre bien que dans ce contexte et dans la recherche de la précision, la tension est très forte et les soins à apporter aux mesures extrêmement stricts.

On ne louera jamais assez la compé-

tence et la ténacité de nos géomètres qui ont su assurer avec brio, mais non sans angoisse, une tâche plutôt délicate, par rapport à nos études habituelles de lignes T.H.T, beaucoup moins pointues, ce qui ne veut pas dire pour autant moins faciles. Il faut préciser que tous étaient de vrais géomètres de formation et non de simples "lignards" comme on nous appelait parfois péjorativement.

Résultat : sur les 700 boulons, seuls 2 s'avérèrent légèrement hors tolérance, après coulage du béton. Heureusement tout était prévu : les derniers 50 cm des boulons étaient enrobés dans une gaine métallique laissant un vide de quelques centimètres autour d'eux. Il suffisait de chauffer le métal du boulon au chalumeau pour rattraper ces écarts minimes en faisant une baïonnette. Petit bémol un peu frustrant : j'eus droit à une remarque de la Direction, ignare en topographie, qui avait eu vent de l'incident et qui ne trouva rien de mieux à me dire : « un géomètre ça ne doit pas se tromper ! ». Ulcéré par cet outrage, eu égard aux difficultés rencontrées, moi qui suis d'un naturel plutôt calme et poli, je ne pus m'empêcher de rétorquer, rouge de colère et de vexation contenue : « Vous n'aviez qu'à venir nous montrer comment il fallait faire ! ».

On n'en parla jamais plus. ●