

xvz

Éditée par
l'Association
Française de
Topographie

n°89

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

Contrôle terrestre d'un levé par laser à balayage hélicoptéré aux Iles Marquises

Numérisation 3D



Directeur de la publication

André Bailly
Ingénieur Géomètre ETP

Rédaction et administration XYZ

secrétariat : tous les jours de 9 h à 17 h

Comité de Rédaction

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

Responsable du site internet

Tania Neusch

Conseil d'orientation scientifique

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

Publicité

Robert Chevalier

Conception et maquette

Dorothée Picard

Abonnements

Evelyne Mesnis

Autre publication

L'annuaire de l'AFT

IMPRIMERIE MODERNE USHA

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

Dépot légal

4^e trimestre 2002 ISSN 0290-9057

N° CPPAP : 093 g 80866

Tirage de ce numéro : 2 500 ex

Abonnement annuel

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

Le bulletin d'adhésion est en page 79

Membre du SPCS

Syndicat de la Presse Culturelle et Scientifique

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

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

Membre de la FIG (Fédération Internationale des Géomètres) 

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

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

Décembre 2001 • 4^e trimestre

Editorial 5

Info-Topo

Les informations de la profession 7

Vie des régions

Bouclage en souterrain
de l'autoroute A86 16

Congrès ESRI 17

Compte-rendu

24^e colloque de l'AFT
à St-Amand-Montrond 19

SIG : intérêt pour une commune
François Bellanger 23

La conduite des tunneliers par
ordinateur *G. Piquereau* 27

Technologies nouvelles

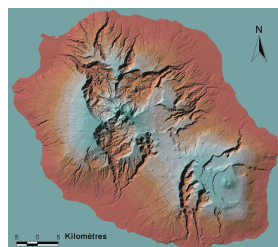
Numérisation 3D des 14 plaques
du Chemin de Croix de Lorgues
David Faverge 30

Contrôle terrestre d'un levé par laser à
balayage hélicoptère aux Iles Marquises
Quentin Gross 34



Concours AFT 42

SIG



Apport d'un
SIG nomade
pour
cartographier
la végétation
naturelle
de l'île de la
Réunion

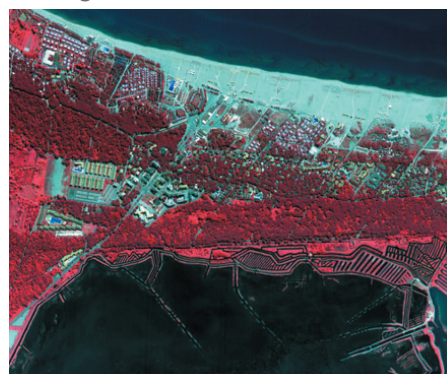
Hélène Durand 43

Application à la cartographie d'un réseau
Benoît Legeard, Richard Forest 47

Géodésie

Modernisation du "Survey of Bangladesh"
Un projet de IGN France International
David Desbuisson 51

Photogrammétrie



L'aérotriangulation : aussi pour l'ADS40 ?
François Gervais 56

Manifestation

Intergeo®, manifestation phare du
domaine topographique
Olivier Reis 62

Forum technique GPS 65

Art et Géométrie



Chillida : Hommage
à Kandinsky
Jean-Pierre Maillard
..... 66

GSF

Bilan à mi-parcours
Constantin Bab 68

Topo-vécue

La carte au 1/10 000e
Claude Million 69

Les livres 72

Courrier des lecteurs 76

Pour la recherche de nos annonceurs
consulter la page 75.

Le changement dans la continuité

La nouvelle équipe de rédaction a pris ses fonctions sur le précédent numéro avec un objectif simple : continuer le développement d'XYZ.

Nous avons hérité d'une revue de qualité, à nous de poursuivre son expansion.

Les membres du comité de rédaction appartiennent à des milieux professionnels variés ; cette diversité doit conforter XYZ dans son rôle de trait d'union du monde de la topographie. Toutes les disciplines topographiques méritent que l'on s'y intéresse. L'évolution des techniques est rapide, les constructeurs proposent du matériel de plus en plus performant. XYZ est le relais important qui vous permet de rester informé. Les articles favorisent la compréhension des nouveautés par l'exposé de cas concrets issus du travail de réflexion et de terrain des auteurs.

La revue XYZ est récemment devenue membre du syndicat de la presse culturelle et scientifique : le SPCS. Cette appartenance met en évidence la qualité du contenu des articles ; nous remercions les auteurs.

La rédaction est à l'écoute des professionnels. N'hésitez pas à nous soumettre des articles sur vos travaux. Ils intéressent les lecteurs.

Une innovation 2001, le prix de l'AFT pour les Jeunes Ingénieurs Diplômés en Topographie. Ce concours récompensera les meilleurs travaux de fin d'études des étudiants récemment diplômés dans nos écoles d'ingénieurs. L'avenir de nos métiers passe par la formation de ces jeunes ingénieurs sur les techniques de demain. L'AFT contribue à son niveau à les encourager dans leur travail.

L'AFT est présente sur Internet et met à votre disposition des informations complémentaires aux articles publiés. Nous travaillons régulièrement à la mise à jour du site....Connectez-vous !

L'AFT s'est tournée vers le troisième millénaire. Le colloque de Saint Amand Montrond a été organisé pour montrer les techniques de demain. Il a tenu ses promesses. XYZ commence dès aujourd'hui la publication des articles du colloque.

Emmanuel Natchitz

Responsable du comité de Rédaction.

Bouclage en souterrain de l'autoroute A86

Jean Fleury

La section régionale Ile de France de l'AFT a organisé, le mercredi 24 octobre 2001, une visite du bouclage en souterrain de l'autoroute A86, à l'ouest de Paris entre Rueil et Versailles. C'est le chantier de travaux publics le plus important en Europe actuellement.

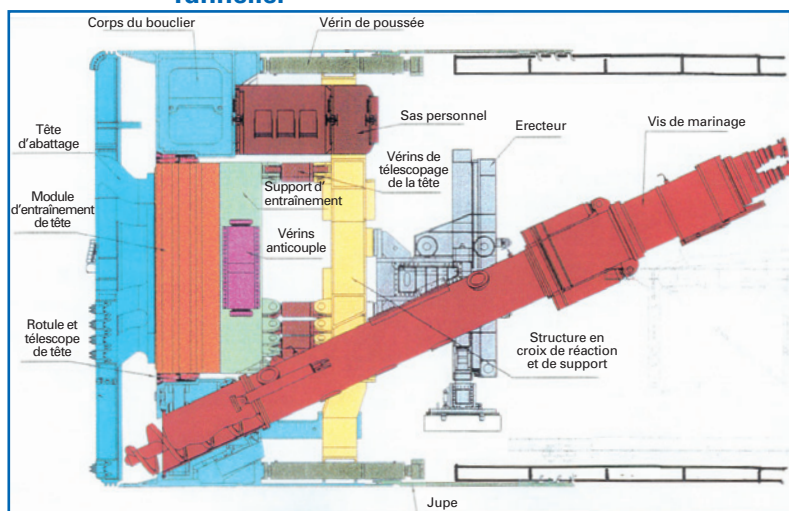
Il a fait l'objet d'un article de notre collègue J.J. Morlot dans le n°87 d'XYZ.

24 membres de la région Ile de France ont pu bénéficier de cette présentation, le matin pour la moitié d'entre eux et l'après-midi pour l'autre moitié. Un repas ouvert à tous le midi, au Bistrot du Boucher à Bougival, a réuni une dizaine de participants.

L'Etat a choisi COFIROUTE pour réaliser et exploiter cet ouvrage (coût 10,4 milliards de francs). COFIROUTE a confié à la société SOCATOP la conception et la construction de l'ouvrage.

Mademoiselle Alary, chargée de la communication, et J.J. Morlot, responsable de la maîtrise d'œuvre pour la topographie, au sien de la société SOCATOP, ont animé la présentation en trois parties.

Tunnelier



Caractéristiques générales du projet

- Historique
- Financement
- Entreprises associées
- Tracé. Deux tunnels prévus, l'un de 10,5 km à l'est entre Rueil et Versailles et l'autre de 7,5 km à l'ouest entre Rueil et le triangle de Roquencourt (jonction Autoroute A12)
- Concept original. Le tunnel Est, Ø 10,4m, est réservé aux voitures légères avec séparation de trafic sur deux niveaux (2 fois trois voies), le tunnel Ouest, Ø 10,9m, est tout trafic à deux voies sur un seul niveau.
- Caractéristiques géométriques
- Description des travaux

Les travaux topographiques

- **Nature** : Canevas, implantations et guidage du tunnelier, implantation des ouvrages de surface, contrôles des travaux, mesures de déformation, contrôles de stabilité en surface.
- **Contraintes** : Géométrie du projet, environnement des tra-

vaux (problèmes de réfraction), occupation du sol en surface, précisions d'exécution à respecter (20 mm de tolérance sur les points de canevas à l'intérieur du tunnel).

- **Assurance qualité**. Etablissement de documents guides et des tolérances, validation des procédures.

Une cellule topographique est chargée de l'exécution des travaux, de leur contrôle interne et du contrôle externe, le contrôle extérieur est assuré par la maîtrise d'œuvre (M. Morlot).

Un système de communication interne par réseau Intranet permet à tous les acteurs (Socatop et Cofiroute) d'avoir accès à tous les documents d'étude et de contrôle de manière quasi instantanée.

Visite des travaux

Le jour de la visite, le front de taille est à 1,3 km de l'entrée du tunnel (seul le tunnel Est est en cours de travaux).

Les participants ont pu assister aux différentes phases des travaux :

- acheminement des voussoirs (fabriqués à Lyon) depuis leur lieu de stockage en bord de Seine jusqu'à leur prise en charge par le tunnelier
- évacuation des matériaux de déblai
- guidage du tunnelier. Un théodolite automatique relève en continu des prismes solidaires du bouclier. Il calcule leurs coordonnées et transmet les informations par radio au poste de commande du tunnelier, lequel agit sur des vérins qui prennent appui sur le dernier anneau posé pour orienter le bouclier.
- Mise en place des voussoirs.

Un grand merci à la société SOCATOP qui nous a accueillis et particulièrement à mademoiselle Alary et à notre collègue J.J. Morlot qui n'ont pas ménagé leur peine pour rendre cette visite intéressante.



Theodolite automatique



Vérins et voussoir

Photos : A. Bailly



ESRI France

Compte-rendu

SIG 2001, grand succès pour le rendez-vous SIG de l'année

Près de 700 professionnels se sont réunis les 3 et 4 octobre derniers à la Maison de la Mutualité à Paris pour participer à la 5^e édition de la Conférence Française ESRI.

Le discours de Jack Dangermond, Président Fondateur d'ESRI, a été l'un des moments forts de SIG 2001. Il y a exposé sa vision des Systèmes d'Informations Géographiques, expliquant ainsi que même si le secteur existe depuis une trentaine d'années, les SIG n'en sont qu'à leur début. Les Systèmes d'Information Géographique sont un outil précieux de prévision, d'analyse, d'anticipation et donc d'aide à la décision. Selon lui, *"L'information géographique est un langage puissant et quasi universel. Les cartes sont intuitives, tout le monde les comprend. Et elles permettent de faire passer beaucoup d'informations. ESRI a, par exemple, envoyé une trentaine de personnes à New York à la suite des attentats du 11 septembre. Elles ont travaillé 24 heures sur 24 à produire des milliers de cartes intégrant les informations disponibles dans les différents services de la ville. Ce travail de synthèse, qui n'avait jamais été fait auparavant, a permis d'avoir une vision à la fois globale et précise de la ville, de ses ressources, de ses réseaux. Il a permis de savoir comment acheminer les secours, évacuer les décombres, quels itinéraires faire prendre aux convois, etc. Et ce sera un outil précieux pour la suite, pour reconstruire ou réaménager."*

Internet permet également à tous d'accéder à l'information géographique : le Web permet de consulter les données relatives au site sur lequel on souhaite construire une maison, permettant ainsi de savoir la zone inondable, si le terrain a été pollué, où sont les écoles les plus proches et quels sont leurs résultats, quels sont les projets d'urbanisation déposés ou acceptés...

Rony Gal, Président Directeur Général, a, quant à lui, mis en avant la notion de Communautés Créatives, expliquant qu'autrefois la communication était

limitée à de petits groupes de personnes proches géographiquement. L'accélération des technologies de la communication permet désormais de réunir les meilleurs spécialistes mondiaux d'un domaine, sans qu'ils aient pour cela à se déplacer. Une idée, une hypothèse, un début de réponse pourront ainsi être partagés, comparés, enrichis au contact de tous les interlocuteurs concernés. Selon lui, *"La dimension géographique étant partout présente, les Systèmes d'Information Géographique contribuent activement à la mise en place de communautés d'utilisateurs et ce à toutes les échelles : au sein d'une entreprise, d'un organisme, d'une région, d'un pays et même au niveau mondial."*

SIG 2001 a permis à François Salge, Secrétaire Général du CNIG, Laëtitia Mary et Sylvain Fayet d'Airmaraix (association agréée de surveillance de la qualité de l'air), Philippe Gourbesville et Bahareh Azimi de l'Université de Nice Sophia-Antipolis de donner leur vision sur l'avenir et l'utilisation des SIG, ainsi que sur l'importance des données dans la mise en œuvre de telles solutions.

SIG 2001 a fait connaître plusieurs initiatives concernant le partage et la diffusion de l'information géographique. Cette année, 26 communications utilisateurs ont été présentées dans des domaines aussi variés que les collectivités locales, l'enseignement, la santé, l'environnement, l'économie, les réseaux ou l'archéologie.

Sur le plan technique, de nombreuses innovations ont été présentées :

- **ArcReader**, le nouvel environnement d'échanges. ArcReader offre aux utilisateurs de SIG une méthode pour partager tous les documents cartographiques électroniques au travers de réseaux locaux, d'Intranet et d'Internet.



Jack Dangermond, Président Fondateur d'ESRI

- **G.net**, la convergence des technologies bureautiques et Internet.
- **ArcGIS 8.2**, le futur de la gamme ArcGis.
- **Geostatistical Analyst**, la nouvelles extensions ArcGIS.
- **ArcPad 6**, la nouvelle version du SIG nomade.

Le concours d'applications, composé d'un jury de 6 journalistes, a récompensé :

1^{er} prix : Institut Universitaire Européen de la Mer. Un SIG pour l'aide à la gestion intégrée de l'archipel de Bijagos (Guinée-Bissau)

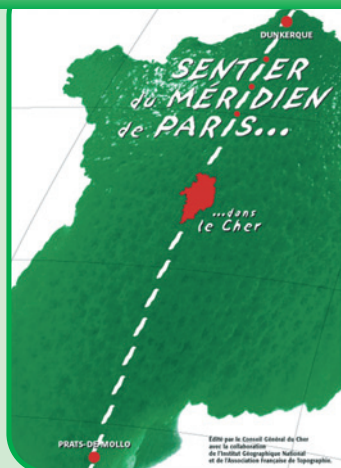
2^e prix Mairie de Gaillac : ArcPad Lux : SIG Mobile pour la gestion de l'éclairage public

3^e prix CODELA Navigation géographique en extranet économique

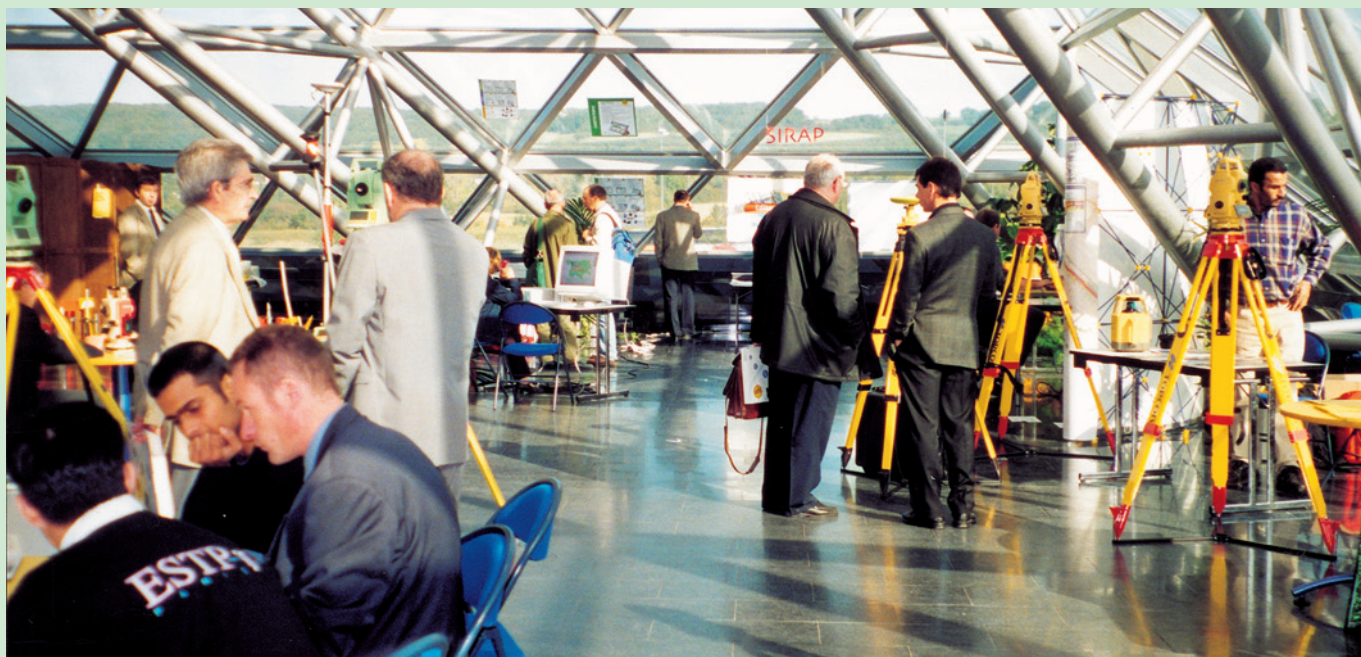
4^e prix Etat de Genève MODICITY : modèle d'information sur la mobilité en milieu urbain

5^e prix CETE Normandie. SIG littoral Mer du Nord Manche Atlantique Mise en place d'un site internet de diffusion de données

Le 3^e prix pour poster pédagogie et esthétique a été attribué à ADAUHA Mr Esnault
PNR LORRAINE Mme Dragone
prix : abonnement gratuit à XYZ pendant un an



Compte-rendu du 24^e colloque de l'AFT à St-Amand-Montrond



© Jacques Riffault

Vue partielle de l'exposition.

La ville de Saint Amand Montrond, sous préfecture du Cher à accueilli le 24^e colloque de l'Association Française de Topographie les 5, 6 et 7 octobre 2001 sur le prestigieux site culturel de Pôle d'Or. Le colloque a été co-organisé dans le prolongement des manifestations de la méridienne verte de l'an 2000 avec le précieux concours du Conseil Général du département du cher et les villes de Morlac, Saint Amand Montrond et Vesdun. Le programme a été conçu pour répondre à un triple objectif : technique, culturel et festif.

La partie technique :

Cette partie s'est essentiellement déroulée au Pôle d'Or. Dix conférences ont été présentées dans une salle équipée des matériels audio visuels les plus modernes et trois constructeurs nous ont fait part de leurs dernières innovations en matériels et logiciels. Les participants ont ainsi pu mesurer les progrès considérables des techniques topographiques mises au service des décideurs et des aménageurs du territoire.

Pas moins de 14 constructeurs ont exposé leurs derniers fleurons de matériels et de logiciels toujours plus performants. On a pu voir notamment des tachéomètres électroniques de plus en plus robotisés, des stations de positionnement par satellites GPS, des logiciels de CAO / DAO et de gestion de l'information géographique, une station de relevé d'objet en 3 dimension par images numériques.

Les quatre écoles supérieures d'ingénieurs topographes

françaises étaient également présentes : L'École Nationale des Sciences Géographiques de Marne la Vallée (ENSG), l'École Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS) ; l'École supérieure des Géomètres Topographes du Mans (ESGT) et l'École Spéciale des Travaux Publics de Paris et Cachan (ESTP). Chacune a développé ses spécialités, documentations à l'appui.

La partie culturelle :

Elle s'est manifestée à travers :

- Une exposition inédite de documents retraçant l'histoire de la géodésie française et des instruments topographiques anciens,
- Un discours de M. Vinçon, Sénateur, Maire de Saint Amand Montrond, qui a entre autre souligné l'esprit pour le moins

aventureux de M. Godin. Saint Amandois d'adoption, il a vécu le restant de ses jours à son retour d'expédition au Pérou sous la direction du célèbre académicien et géographe : M. la Condamine.

- Le triangle d'Or de la méridienne constituée par les communes de Morlac, Vesdun et Saint Amand Montrond. Le signal géodésique d'époque du lieu dit "le PAR" a été reconstitué sur la commune de Vesdun et une borne géodésique dite de Premier Ordre à été implanté sur la méridienne en forêt d'Herbert sur la commune de Morlac. L'inauguration de ces deux repères géodésiques fondamentaux a eu lieu en présence de nombreuses personnalités le dimanche 7 octobre.

- Les conférences de Mme Suzanne Debarbat de l'Observatoire de Paris et de M. Laurent Polidori. La première a retracé l'histoire des géographes dans la région Centre, la deuxième se plaçant dans le futur de la Topographie.

La partie festive :

Elle a commencé le vendredi soir par la projection de diaporama en 3 dimensions proposées par le Stéréo Club de France, pour continuer le samedi après-midi par un défilé de géographes et géodésiens en costumes d'époque. Le cortège s'est rendu en calèche du centre ville au Pôle d'Or au son et rythme des Vielles du Berry. Une soirée berri-chonne savoureuse tant sur le plan de la gastronomie que pour l'ambiance a clôturée cette journée. Le samedi une randonnée inaugurale du premier tronçon du sentier de la méridienne verte était organisée. Elle s'est ponctuée par un Pic-Nique champêtre bon enfant et convivial. Cette promenade conduisait à la Maison de Patrimoine de Morlac pour la visite du musée du mètre pour terminer sa course à Vesdun où M. le Maire a accueilli les randonneurs émérites dans une chaleureuse ambiance de fête locale. ●

Edmond Barbacanne

LA rédaction d'XYZ remercie tous les acteurs et participants qui ont contribué à la réussite de ces trois journées au centre géographique de la France.



De gauche à droite : les géographes sur l'"le Peu de Vesdun" positionnant le cercle répétiteur - Delambre visant le clocher de Morlac depuis "le Peu de Vesdun"

Impressions

par Raymond D'Hollander

Absorbé depuis plusieurs années par des études et recherches d'ordre historique : loxodromie, astrolabe, sciences géographiques dans l'antiquité, victime durant trois années d'accidents de maladies à répétition, le 24^e colloque de l'AFT à Saint-Amand-Montrond les 5, 6 et 7 octobre 2001 a été pour moi l'occasion de me plonger dans une sorte de bain de jouvence d'ordre culturel et technique.

Le colloque se tenait au Pôle de l'or, moderne pyramide érigée à l'est de la localité de Saint-Amand-Montrond ; il comportait plusieurs volets :

- le colloque professionnel proprement dit,
- en symbiose avec le colloque, une exposition professionnelle de constructeurs d'instruments,
- les stands des différentes écoles spécialisées dans l'enseignement des techniques de l'information géographique,
- des expositions historiques,
- une conférence à l'intention des maires de la région de St-Amand-Montrond,
- des manifestations festives axées sur la méridienne de France observée et calculée par Delambre et Méchain et ayant débouché sur l'élaboration du système métrique.

En ce qui concerne le colloque professionnel proprement dit, aussi bien les constructeurs d'instruments que les enseignants des écoles spécialisées, que d'autres ingénieurs, ont tous fait des exposés remarquables, ciblant les techniques les plus récentes et leur proche avenir. Ces exposés m'ont permis d'actualiser mes connaissances sur bien des points.

L'exposition professionnelle a fait l'objet d'une visite officielle par plusieurs personnalités dont des maires. Celui de Saint-Amand-Montrond parut très intéressé et posa des questions pertinentes aux constructeurs ; il fit de même lorsque le groupe de personnalités passa devant les stands des écoles.

Les quatre écoles présentes étaient : l'ENSAIS (Strasbourg), l'ENSG (Marne-la-Vallée), formant les personnels techniques de l'IGN, l'ESGT (Le Mans) et l'ESTP (Paris-Cachan). On apprenait au stand de cette dernière école que trois nouvelles écoles d'Ingénieurs de la construction ont été créées en France : à Caen, à Metz et à l'ESTP à Paris.

Les expositions historiques étaient au nombre de quatre :

- la première, intitulée "dessine-moi une carte", dans une bibliothèque,
- la deuxième, au Pôle de l'or, consacrée à l'histoire de la géodésie française, qui fut commentée par Schelstrate en costume de Delambre et Mlle Debarbat, astronome à l'Observatoire de Paris,
- la troisième à Morlac, sur le système métrique et la manière dont il était enseigné dans le cadre de ce que l'on appelait au 19^e siècle l'instruction publique,
- la quatrième se tenait à Vesdun, consacrée au signal de Ripolle.

La conférence organisée à l'intention des maires portait sur la loi SRU.

Les manifestations festives furent diverses.

À proximité de la pyramide, le passage de relais de l'équipe ancienne : Delambre, Méchain, Tranchot, à l'équipe du futur : "apprentis comédiennes" agitant des récepteurs GPS. Un intéressant dialogue s'engagea entre les deux équipes. Je fus très surpris de voir descendre de la voiture de Delambre, trois anciens élèves de l'ENSG, symbolisant en costume d'époque, l'équipe ancienne.

Après le passage du relais, mais à l'intérieur de la Pyramide, Schelstrate-Delambre fit des efforts louables pour faire comprendre le principe de répétition mis en œuvre par Delambre et Méchain avec le cercle répéteur de Borda. Mlle Debarbat évoqua le passage de Delambre dans la région de Saint-Amand-Montrond.

Le vendredi 5 octobre en soirée, eurent lieu des projections en relief, en lumière polarisée, organisées par le Stéréo Club de France. Certaines projections présentaient une impression de relief extraordinaire allant jusqu'à agresser le spectateur.

Le samedi 6 octobre en soirée, se déroula une soirée berichonne très réussie avec dîner-spectacle dans une salle polyvalente située à quelques kilomètres de Saint-Amand-Montrond. Un chœur entonna une chanson spécialement composée en l'honneur de la méridienne.

Le dimanche 7 octobre, eurent lieu deux inaugurations :

- celle du signal géodésique du "Peu de Vesdun" (Peu est une déformation de Puy, sommet), reconstitué à l'identique de celui de Delambre (voir XYZ 84, 3^e trimestre 2000). Mlle Debarbat fit l'historique des observations de Cassini et de Delambre en cette station.
- celle de la borne IGN érigée au milieu du segment sur le territoire français, du méridien de l'Observatoire de Paris. La borne est située en pleine forêt domaniale d'Habert, non loin du hameau de Souage, commune de Morlac. Plusieurs personnalités prirent la parole à l'occasion de cette inauguration par le maire de Morlac, en présence d'une foule nombreuse. Un sentier a été ouvert dans la forêt d'Habert, le long du tracé du méridien. C'est une première section du sentier dit "du Méridien de Paris". Il fut emprunté par un grand nombre de personnes ayant assisté à l'inauguration de la borne; on les amena à la chapelle écroulée du hameau de Souage, proche du sentier.

Un premier hasard fait qu'à proximité de la chapelle, donc près du méridien de Paris, se trouve une grande pierre de capacité, appelée dans la région "pierre à dîme", témoin des mesures de capacité de l'ancien régime.

Un deuxième hasard fait que j'ai eu l'occasion de connaître au cours d'un séminaire d'histoire des sciences, le grand spécialiste français qui a inventorié et étudié toutes les pierres de capacité en France. J'ai repris contact avec lui; il connaît bien cette pierre qu'il a visitée et décrite. C'est une mensa ponderaria, la mieux conservée en France et peut-être d'origine gallo-romaine. Il a pris contact avec les personnes qui sur place, cherchent à sauvegarder ce précieux vestige.

Il convient de féliciter les organisateurs de cet intéressant colloque ; il n'y a à formuler qu'un regret, celui de n'avoir pas rassemblé davantage de membres de l'AFT, en activité ou retraités. ●



De gauche à droite : borne matérialisant le centre du méridien de Paris en forêt d'Habert sur la commune de Morlac. Panneau explicatif situé sur l'aire de la borne.

© Jacques Riffault

Message de Rémy Pointereau

Le Président du Conseil général du Cher

Que notre département du centre de la France ait été choisi par l'Association Française de Topographie (AFT) pour accueillir le premier de la série des quatre congrès qui ouvriront le troisième millénaire, honore au plus haut point le Cher.

Les thèmes abordés durant ces trois journées d'échanges entre producteurs, spécialistes et de la topographie confortent l'intérêt que notre département porte pour les nouvelles technologies et les techniques du futur dans la vie de ses administrés.

Système d'Information Géographique (SIG pour le public averti), cartographie en troisième dimension, satellite de positionnement GPS... Les apports scientifiques de la cartographie au monde rural et aux agglomérations moyennes sont expliqués aux professionnels, aux scolaires mais aussi au grand public, convié pour la première fois cette année à la découverte de la fiction du troisième millénaire. Pour associer le plus grand nombre d'entre nous à la passionnante découverte de la mesure de la terre, l'AFT a eu l'idée de créer des manifestations populaires et festives alliant science et culture.

Ainsi les géographes nous proposent de revivre, par la création du "Sentier du Méridien de Paris", la formidable aventure de ce tracé mythique nord-sud de notre pays, long de plus de 960 km.

La section du sentier de randonnée pédestre qui traverse le Cher a été inaugurée le 7 octobre prochain, à l'occasion du congrès, de même que le monument érigé au centre du méridien pour commémorer le travail de tous les géographes.

Le Conseil général se réjouit de l'accueil du colloque 2001 de l'Association Française de Topographie au milieu de la Méridienne de France, à Saint Amand Montrond, Morlac et Vesdun ; souhaitant que son soutien logistique contribue au rayonnement de cette manifestation auprès de tous les utilisateurs de la topographie en France.

Venez nombreux fouler le chemin qui symboliquement reliera les hommes du XVIII^e siècle à ceux du troisième millénaire !



Résultats du questionnaire adressé aux élus

Jacques Riffault

Tout d'abord, permettez-moi de vous souhaiter la bienvenue dans cette pyramide qui va être un lieu de rencontre et d'échange, nous l'espérons, fructueux pour tous pendant ce XXIV^e Colloque de l'AFT.

Afin de favoriser ces rencontres, 300 questionnaires portant sur les différents aspects de la topographie, au sens large du terme, ont été envoyés à l'ensemble des communes du Cher et des principales villes limitrophes (Montluçon, Nevers).

Sur ces 300 questionnaires, 54 sont revenus, émanant des agglomérations les plus importantes, comme des plus petites communes, soit 18 % de taux de réponses ce qui, à la période où cette enquête a été lancée, (juin) est assez remarquable et démontre qu'il y a une véritable attente en ce domaine.

Cette démarche, initiée par les organisateurs du Colloque, avait pour but de permettre - aux conférenciers ainsi qu'aux exposants, d'apporter une réponse aux questions que se posent élus et responsables techniques d'aujourd'hui.

19 questions avaient été répertoriées dans les 4 rubriques suivantes :

- Les photographies
- La topographie
- La cartographie
- Les SIG

Après dépouillement, les principaux sujets d'intérêt, par ordre décroissant, sont :

- 1 - la carte IGN en 3 D de votre commune
- 2 - les photos terrestres et aériennes de votre commune
- 3 - l'utilisation des cartes sur PC (sentiers, rallyes)
SIG : intérêt pour une commune
- 4 - qu'est-ce qu'un SIG ? les cartes et le cadastre
- 5 - SIG : utilisations (réseaux eaux, éclairage) la transformation d'une photo en plan ou carte
- 6 - SIG : ses apports en 3 D : voirie, réseaux souterrains
- 7 - les cartes sur PC l'utilisation directe des photos
- 8 - contrôler la stabilité des édifices, la mise à jour des cartes sur PC les cartes imprimées
- 9 - le relief sur cartes imprimées et PC
- 10 - comment faire les plans, les techniques de positionnement/satellite
- 11 - comment utiliser les plans
- 12 - le guidage d'engins et de véhicules

Démonstrations demandées :

- positionnement par satellite
- transformation des levées/GPS en plan parcellaire

Si 1 et 2 sont sans surprise et répondent à une curiosité bien naturelle, il n'en va pas de même des suivantes et je dirais que pour les exposants ici présents il y a matière à réflexion et "du grain à moudre", selon l'expression d'un ancien dirigeant syndical.

En effet, de l'utilisation des cartes sur PC, aux levés par GPS, en passant par les SIG, il y a là une quête d'informations, sous-tendant des besoins non encore satisfaits, tant des communes rurales que des agglomérations moyennes.

C'est à cela que conférenciers et exposants devront répondre pendant ces 2 journées.

Les besoins existent et sans doute pas seulement en Berry. A vous d'y apporter les solutions. Merci de votre attention et bon Colloque. ●



Vue de l'auditorium pendant les conférences



SIG : intérêt pour une commune

François Bellanger

Présentation de l'auteur

François Bellanger, ingénieur géomètre ESTP IG77, exerce dans un cabinet de géomètre-expert de 8 personnes, spécialisé dans l'information géographique. Le cabinet développe des programmes orientés SIG pour des collectivités depuis plus de 10 ans maintenant. Les clients vont de la commune de la Vespière dans le Calvados (950 habitants) au service juridique et foncier de l'EPAD (Etablissement Public d'Aménagement de la Défense), en passant par des communes de 1000 à 50 000 habitants.

Le logiciel développé s'appelle Hbase. Il fonctionne sur la base d'un moteur SIG Ascodes de la société JSInfo. Il s'agit de l'un des très rares SIG 100 % français.

Le présent article est destiné à nos élus afin de leur donner une explication simple du SIG et de l'intérêt d'en doter leur collectivité, sans pour cela dépenser des sommes colossales.

Intérêt pour une commune ?

L'élue, Maire ou Président de communauté de communes, pas du tout "branché SIG" répondra : "L'intérêt, on ne sait pas. Mais les charges que cela engendre, on le devine :

- Achat de matériel informatique, logiciels, formation, maintenance et tout ce qui s'en suit ; en quand on met le doigt dans l'engrenage, on ne sait pas quand ça s'arrête.

Donc, une ligne de charges en plus dans le budget communal.

- *Un ordinateur de plus, encore plus compliqué que les autres à manipuler. Qui va l'utiliser ?*
- *De toute façon, c'est réservé aux grosses collectivités qui ont les moyens*"

Monsieur le Maire, ou Monsieur le Président, vous aviez entièrement raison... il y a dix ans. Nous allons gommer ce qui est souligné ci-dessus en montrant que :

- **Le SIG n'est pas forcément un monstre informatique.** Si l'on souhaite quelque chose de simple, le SIG pourra aujourd'hui être simple à créer et à manipuler.
- **Le SIG apporte désormais un confort et un service** rendu qui n'existaient pas jusqu'alors.
- **La charge peut être totalement compensée par des subventions**, dotations ou des économies en remplacement d'autres dépenses.

Catégories de SIG

Classons très simplement les SIG installés dans les collectivités en 3 niveaux :

Le SIG de niveau 1, simple outil d'information et de consultation :

on clique, on voit le plan s'afficher.

On clique à nouveau, on voit l'information s'éditer. A ce niveau, il n'y aura pas de possibilité de modification des données géographiques ; il y aura éventuellement la possibilité de modifier un nombre limité de données textes dites attributaires.

Exemples : dans un SIG comprenant un cimetière, changer le nom d'un locataire, les dates de début et fin de la concession... Dans un SIG urbanisme, affecter un numéro de permis à une parcelle cadastrale, etc...

L'Ordre des Géomètres-Experts a édité une plaquette intitulée les SDIG (systèmes documentaires d'information géographique) exposant ce qu'on peut attendre d'un tel système.

Ce SIG est livré clefs en main à la collectivité. Le niveau requis pour l'utilisation : secrétaire de mairie, ou tout public sachant manier un peu la souris. On pourrait aussi appeler cela le SIG "3 clics".

Le SIG de niveau 2 servant à la gestion de métiers complets

Il comporte des applicatifs permettant de gérer entièrement des domaines tels que un ou plusieurs réseaux, le patrimoine foncier ou le patrimoine bâti, les autorisations



Ce SIG est livré clefs en main à la collectivité. Le niveau requis pour l'utilisation : secrétaire de mairie, ou tout public sachant manier un peu la souris. On pourrait aussi appeler cela le SIG "3 clics".



Extrait des conférences du 24^e colloque de l'AFT à St-Amand-Montrond

des droits des sols. Les fonctions permettent de créer, modifier ou supprimer des entités en toute sécurité, que ce soit dans la définition géométrique, ou dans les données attributaires.

Exemple : supprimer un tronçon de réseau d'eaux usées ancien, et recréer un nouveau tronçon selon un parcours 3D légèrement différent, et avec un regard de visite intermédiaire ; donner en attribut la nature et le diamètre du tronçon, la date de pose et le nom de l'entreprise.

Le fonds de plan du SIG est en général mis en place par un bureau d'études spécialisé.

Puis, pour l'utilisation d'un applicatif métier, une formation complète d'un technicien (3 à 5 jours) est

nécessaire. Ce serait le SIG "5 clics". Bien sûr il aura les fonctionnalités du SIG de niveau 1.

Le SIG élaboré entièrement ou pour partie par la collectivité

En plus des applicatifs métiers éventuels, la collectivité dispose des services de spécialistes (en interne ou en externe) permettant de développer des applications nouvelles et originales selon les besoins. C'est le SIG à la carte, en quelque sorte.

Exemple : fournir un plan statistique pour l'urbanisme croisant deux données : taille de la parcelle et permis de construire pour une construction nouvelle, les couleurs étant différentes selon la taille de la parcelle. Cette fonction sera déve-

loppée de façon à pouvoir être relancé plusieurs années plus tard, après une révision du Plan Local d'Urbanisme, par exemple.

Le bureau d'études, en général interne à la collectivité, orchestre la mise à jour des données topographiques et cartographiques.

Il faudra un ingénieur responsable du SIG qui sait développer lui-même les applications dont il a besoin. Il faudra en plus de la souris, savoir taper des ordres au clavier, connaître les instructions de base du progiciel et les chaîner pour créer de véritables petits programmes. Nous ne nous étendrons pas plus sur cette catégorie.

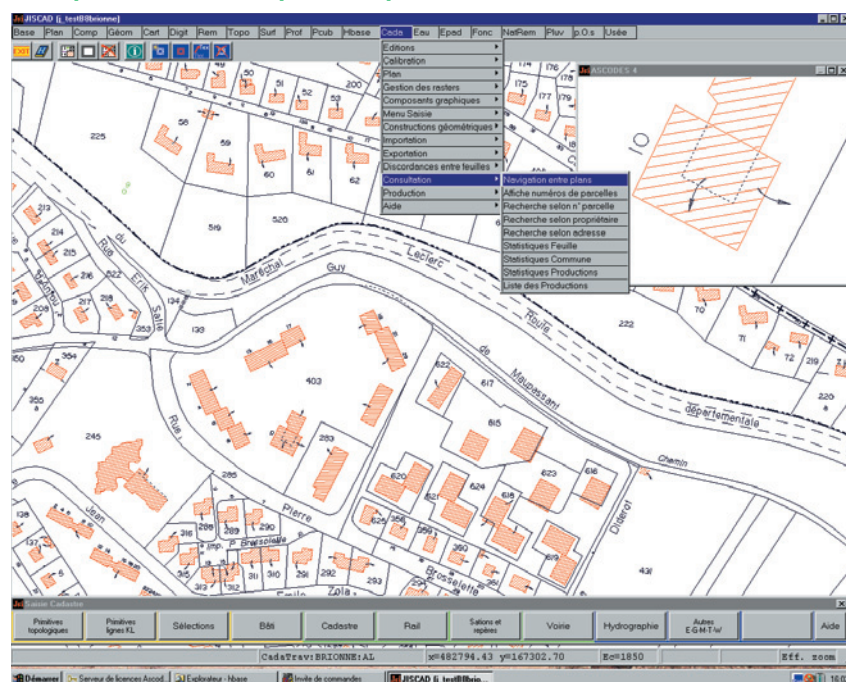
Les services rendus

Les listes sont loin d'être exhaustives. Elles donnent un exemple de ce qu'on peut trouver dans la gamme de ces services.

SIG de niveau 1 (documentaire)

- Recherche simple d'une parcelle cadastrale
- Ajout du tracé de tel ou tel réseau au droit de cette parcelle
- Recherche de la zone de POS à laquelle il appartient
- Consultation de documents en liaison avec le SIG (par exemple le règlement d'une zone de POS)
- Consultation d'une bibliothèque de plans
- Edition de plans à différentes échelles, et avec les objets sélectionnés (fini les collages de plusieurs formats A4 agrandis approxi-

Exemple : recherche simple d'une parcelle cadastrale

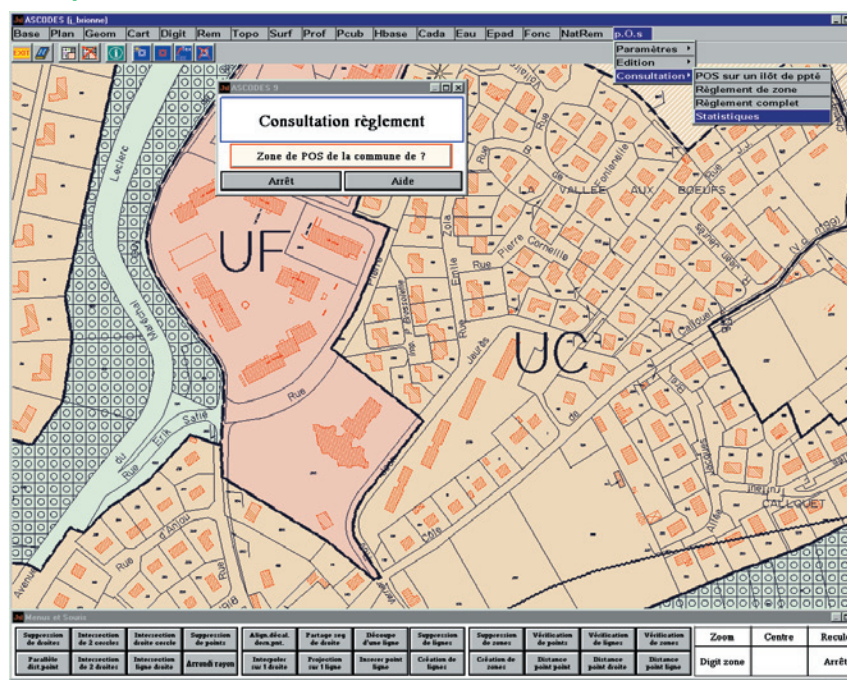


En plus des applicatifs métiers éventuels, la collectivité dispose des services de spécialistes (en interne ou en externe) permettant de développer des applications nouvelles et originales selon les besoins.

C'est le SIG à la carte, en quelque sorte.

Exemple : fournir un plan statistique pour l'urbanisme croisant deux données : taille de la parcelle et permis de construire pour une construction nouvelle, les couleurs étant différentes selon la taille de la parcelle. Cette fonction sera développée de façon à pouvoir être relancé plusieurs années plus tard, après une révision du Plan Local d'Urbanisme, par exemple.

Exemple : recherche de la zone de POS



mativement, avec des reports de réseaux aléatoires)

- Visualisation du réseau des chemins (voies communales, chemins ruraux et détermination de leurs longueurs)

Rappelons que l'opérateur consulte en "cliquant" en général sur une icône, puis choisit l'objet géographique directement à l'écran.

Ce type de SIG permet par exemple de renseigner par exemple très rapidement un candidat à la construction et de lui fournir une documentation fiable, de qualité, à jour. C'est un "plus" certain pour la commune.

SIG de niveau 2 (applicatifs de gestion)

- Mise en mémoire de données jusqu'alors dispersées : plans de récolements divers, plans de servitudes, réseaux levés précisément, renseignements sur des points localisables (indices de cavités souterraines, zones humides....)
- Enregistrement de la "mémoire collective" : le garde champêtre savait qu'il y avait une mare à cet endroit précis... on renseigne la zone dans le but d'une étude ultérieure concernant les eaux pluviales ; le chef travaux du service des eaux part en retraite avec sa

connaissance du réseau et on ne saura plus le localiser : on procède à un relevé sous sa direction, il explique le fonctionnement, on le reconstitue dans le SIG)

- Analyse des données par des requêtes (exemple : tous les tronçons d'un réseau d'eau de diamètre supérieur à 100 mm en fonte de plus de 40 ans) en vue d'une gestion rationnelle (exemple : remplacement systématique dans un quartier)
- Une application parmi d'autres : quelles vannes du réseau d'eau à fermer pour isoler un tronçon avant travaux

Les fonctions sont accessibles soit directement par des icônes, soit par des menus clairs ; les attributs sont saisis dans des fenêtres de dialogues comportant une aide en ligne.

Avec ces outils, les services techniques de la ville gèrent en direct un réseau, et le gèrent de façon plus rationnelle, plus conviviale.

Pour le SIG de niveau 3, il est difficile de définir les limites.

Un point technique sur la constitution des fonds de plans pour une commune. Pour la plupart des collectivités, le fond de plan est la trame cadastrale. Il y a deux techniques pour cela :

- La solution traditionnelle plutôt

destinée à un SIG de niveau 2 : la digitalisation du cadastre, sous convention avec la DGI. Dans ce cas, la DGI s'engage à mettre à jour gratuitement les données une fois par an, au format EDIGÉO-PCI. Il faut veiller dans ce cas, à ce que le SIG sache faire l'import nécessaire.

- La solution économique : assemblage en mosaïque de rasters géoréférencés des feuilles cadastrales, puis saisie uniquement des localisants parcellaires. La mise à jour nécessite de refaire le travail entièrement, mais on peut considérer que, pour une petite commune, elle ne s'impose que lors d'une révision du document d'urbanisme (carte communale, ou plan local d'urbanisme).

Cote budget : coûts et solutions

Les chiffres annoncés en Hors Taxes englobent le matériel, les logiciels et la formation nécessaire. Nous énonçons de plus, ci-après, quelques points forts.

SIG de niveau 3 :

- Le SIG sert aux choix stratégiques de développement.
- Les outils de gestion et d'aide à la décision sont à intégrer dans la masse des services municipaux
- Le prix est de 300KF minimum pour la montée en charge du SIG
- Le financement peut être partagé entre différents services : l'urbanisme, le service municipal de la voirie, celui du réseau d'eau...

SIG de niveau 2 :

- Tout dépend du nombre d'applicatifs métiers attachés au SIG
- Le budget à prévoir est de 60 à 100KF, pour un ou deux applicatifs métiers, non compris l'acquisition des données

SIG de niveau 1 :

- Outil simple de consultation et gestion d'une donnée simple telle qu'un cimetière par exemple
- Budget : moins de 50 KF, là aussi, non compris l'acquisition des données



Les financements possibles pour les niveaux 1 et 2 sont :

- Economie d'achat d'une armoire à plans pour les feuilles de cadastre
- Remplacement d'un ordinateur obsolète au secrétariat de mairie, par un ordinateur comportant une bonne carte graphique et un écran 17 pouces minimum.
- Economie d'un photocopieur couleur permettant les agrandissements et réductions

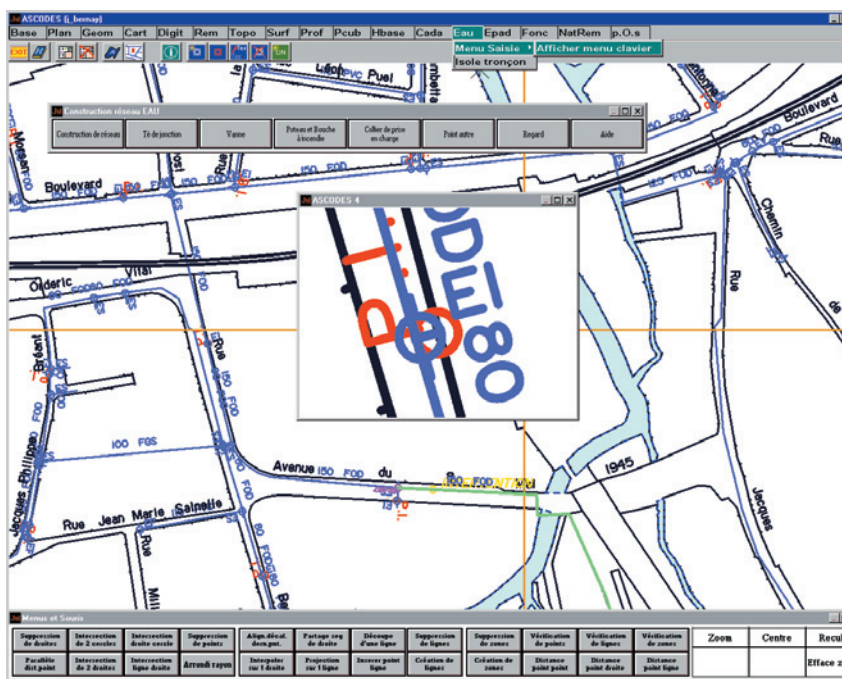
Pour un SIG de niveau 2, voici deux exemples d'économies certaines :

- Le coût de la réfection d'un plan précis du réseau d'eau tous les 10 ans à l'échelle d'une commune : 100 KF
- Le calcul de la puissance au départ de chaque réseau d'éclairage public permet d'ajuster les abonnements EDF par poste (les économies annuelles sont en général importantes).

L'acquisition des données pour un SIG de niveau 1 ou 2 peut être combinée avec une autre étude, qui, elle, est subventionnée pour la réalisation du fond de plan :

- Plan local d'urbanisme ou carte communale (dotation spéciale de l'Etat augmentée ou non d'une subvention du Département)
- Plan du syndicat d'eau ou d'assainissement du secteur (subvention de l'agence de l'eau importante, qui peut même aller jusqu'au financement du SIG)
- Pour un fond de plan numérisé, signature d'une convention de numérisation avec la DGI et plusieurs partenaires, les gestionnaires de réseaux, en général. Dans ce cas,

Exemple : plan de réseau d'eau



le coût est à partager entre les partenaires

A titre indicatif, le fond de plan cadastral raster avec la numérisation des zones du document d'urbanisme et la mise en place des localisants parcellaires, des réseaux simplifiés coûte 15KF environ. Le fond de plan numérisé coûte 10 à 15 Frs la parcelle.

Ainsi, pour une commune saisissant les opportunités au bon moment, la mise en place et le fonctionnement du SIG sont transparents.

Conclusion

Quelques conseils pour le choix d'un SIG :

- Comme pour une voiture, ne regar-

dez pas que la carrosserie, faites soulever le capot par un spécialiste. Renseignez-vous aussi sur les frais d'entretien, et pas qu'auprès du constructeur

- Faites confiance au bureau d'études ou technicien qualifié avec lequel vous avez l'habitude de travailler. Ceci évite de perdre des acquis (fichiers préexistants, données utiles...)
- Choisissez ce dont votre commune et vos administrés ont besoin
- La mise en place d'un SIG s'inscrit bien dans le cadre de la loi SRU avec pour objectif le développement durable de notre pays. Le SIG pérennise la connaissance de votre commune.●

- **Faites confiance au bureau d'études ou technicien qualifié avec lequel vous avez l'habitude de travailler. Ceci évite de perdre des acquis (fichiers préexistants, données utiles...)**
- **Choisissez ce dont votre commune et vos administrés ont besoin**
- **La mise en place d'un SIG s'inscrit bien dans le cadre de la loi SRU avec pour objectif le développement durable de notre pays. Le SIG pérennise la connaissance de votre commune.**

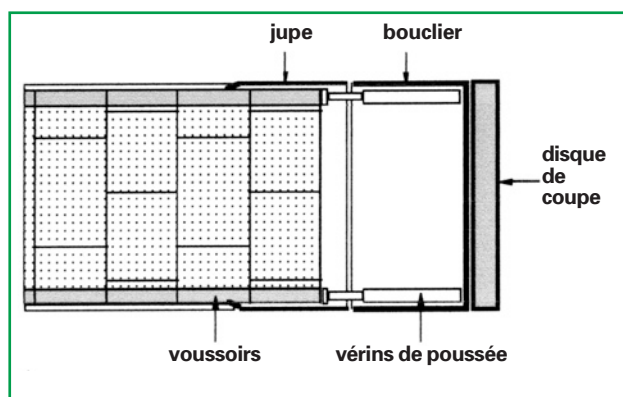
La conduite des tunneliers par ordinateur

G. Piquereau C.A.P.
Conception d'Automates de Pilotage

Chacun peut mesurer les progrès réalisés, en quelques années, dans sa propre discipline, grâce au développement des techniques informatiques. Outil de communication devenu quasiment universel, l'informatique permet, de plus, d'établir des ponts entre les différentes disciplines ouvrant ainsi de vastes domaines d'innovations.

Le pilote automatique de tunnelier "CAP" en est un exemple, qui associe, par un lien informatique, les systèmes automatiques de relevé topographique aux commandes électroniques des circuits hydrauliques des tunneliers.

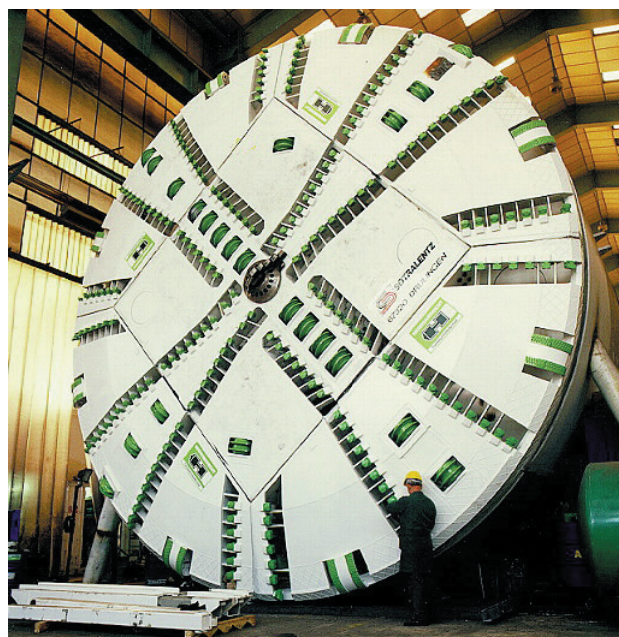
fig.1 : schéma du tunnelier à confinement



Comme son nom l'indique, un tunnelier est un engin de percement de tunnel. Il comprend (Fig.1) un "disque de coupe" porté par un "bouclier", cylindre métallique propulsé par des vérins hydrauliques et tirant une "jupe" à l'abri de laquelle sont assemblés les anneaux de voussoirs préfabriqués constituant le revêtement du tunnel.

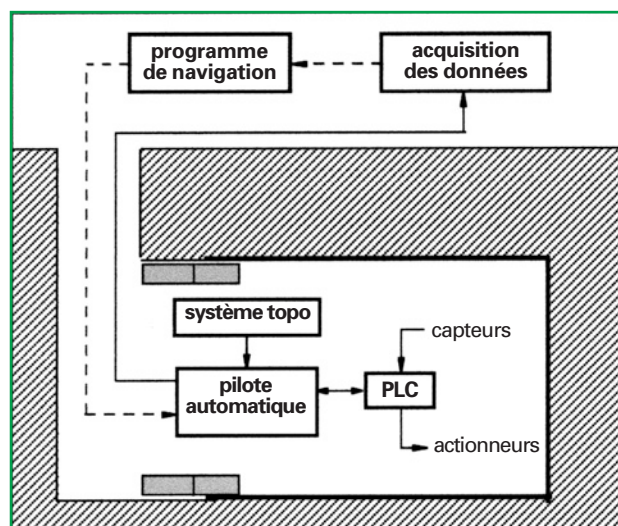
Les vérins de poussée prennent appui sur les voussoirs du dernier anneau posé. La progression du tunnelier s'effectue en deux phases successives : tout d'abord, la machine avance sur la longueur d'un anneau, en creusant le sol au moyen du disque de coupe, puis, à l'arrêt, les voussoirs d'un anneau sont mis en place en rétractant les vérins de poussée.

Les anneaux de voussoirs constituent un cylindre. Mais leurs faces d'appui ne sont pas parallèles ; en faisant



tourner l'anneau sur sa face d'appui on réalise un tunnel courbe de manière à suivre le tracé désiré en planimétrie et en altimétrie. En conséquence, l'implantation du tunnel en construction résulte, d'une part, du guidage de la machine pendant ses phases d'avancement et creusement, et, d'autre part, du choix du sens de pose des anneaux de voussoirs.

fig.2 : le système CAP





Le système CAP (fig.2) comprend un logiciel d'aide à la navigation, un pilote automatique et une chaîne d'acquisition de données.

Le pilote automatique CAP est un calculateur embarqué qui, à partir des informations issues des capteurs installés sur le tunnelier et du système topographique, agit sur les commandes de la machine et alimente une banque de données déportée.

En matière de guidage les tâches à réaliser sont de deux ordres :

- la navigation, confiée à un géomètre-navigateur ;
- le pilotage, confié au pilote de la machine.

La navigation

La navigation regroupe l'ensemble des opérations topographiques, polygonation en tunnel et relevés de cibles solidaires du bouclier, pour le positionnement périodique du bouclier et du tunnel construit par rapport au tracé théorique.

La navigation comprend aussi l'établissement de consignes de guidage pour le pilote de la machine, consignes qui correspondent à la trajectoire que l'on veut voir suivre par le tunnelier, et qui, pour cette raison, prennent en compte le comportement réel du bouclier et ses capacités à prendre des courbes.

Les relevés de position

Dans les systèmes les plus récents, les relevés de position du tunnelier sont effectués automatiquement au

moyen d'un théodolite vidéo-asservi (système DPS, VMT...) utilisant des prismes ou des cibles sensibles installés sur le bouclier et associé à des inclinomètres.

Ces relevés donnent la position de l'axe du bouclier par rapport au tracé théorique. L'analyse des relevés successifs permet, de plus, de mettre en évidence le comportement du bouclier (dérive et tangage) sans la connaissance duquel toute prévision de trajectoire est irréaliste.

Les consignes de guidage :

Le logiciel de navigation associé au pilote automatique permet de réaliser les opérations suivantes (fig.3) :

- à partir du relevé topographique journalier du bouclier et du dernier anneau posé,
- choix du tracé de rattrapage des écarts constatés, tracé compatible avec les capacités du tunnelier et celles des anneaux de voussoirs,
- calcul de la séquence correspondante des anneaux à monter,
- calcul des positions successives à donner au bouclier,
- calcul des surcoupes à réaliser pour permettre au tunnelier de suivre les courbes demandées.

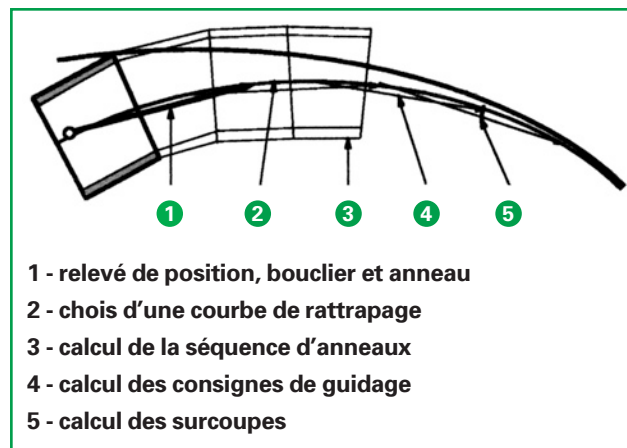
Il existe deux possibilités pour traduire les positions successives du bouclier (4) en consignes de guidage :

- soit l'on utilise les écarts successifs de position de la tête du bouclier : le pilote doit alors disposer à tout instant du relevé topographique ;
- soit l'on utilise les écarts d'allongement des vérins de poussée correspondant aux positions successives du bouclier et des anneaux de voussoirs servant d'appui ; ces écarts d'allongement seront alors comparés à ceux mesurés par des capteurs installés sur les vérins de poussée.

Dans le second cas, l'utilisation d'un système topographique de relevé est toujours nécessaire, mais elle peut n'être que périodique, et l'interruption momentanée de son fonctionnement, accidentelle (encombrement du milieu) ou volontaire (changement de station) n'empêche pas la marche du tunnelier.

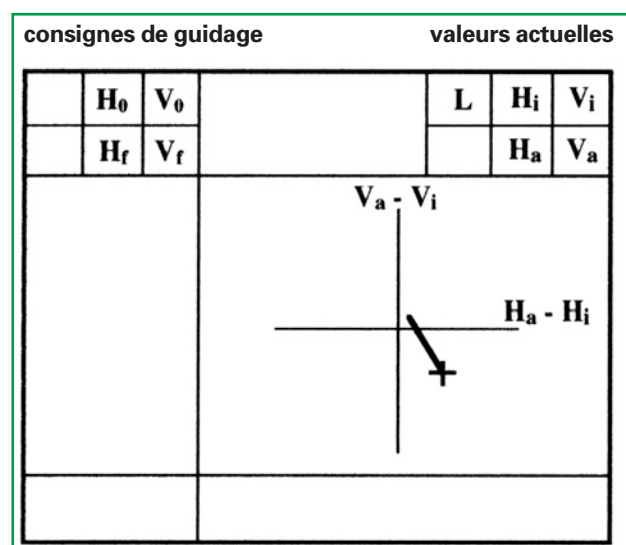
Avec des capteurs au 1/10^e de mm, la précision du système de guidage est telle qu'après une journée d'avancement l'écart est du même ordre de grandeur que l'imprécision topographique des relevés de position. Les deux mesures se vérifiant l'une l'autre, on obtient un gain significatif dans la précision d'implantation de l'ouvrage.

fig.3 : le logiciel de navigation



Dans les systèmes les plus récents, les relevés de position du tunnelier sont effectués automatiquement au moyen d'un théodolite vidéo-asservi (système DPS, VMT...) utilisant des prismes ou des cibles sensibles installés sur le bouclier et associé à des inclinomètres. Ces relevés donnent la position de l'axe du bouclier par rapport au tracé théorique. L'analyse des relevés successifs permet, de plus, de mettre en évidence le comportement du bouclier (dérive et tangage) sans la connaissance duquel toute prévision de trajectoire est irréaliste.

fig.4 : l'écran du pilote



Le pilotage

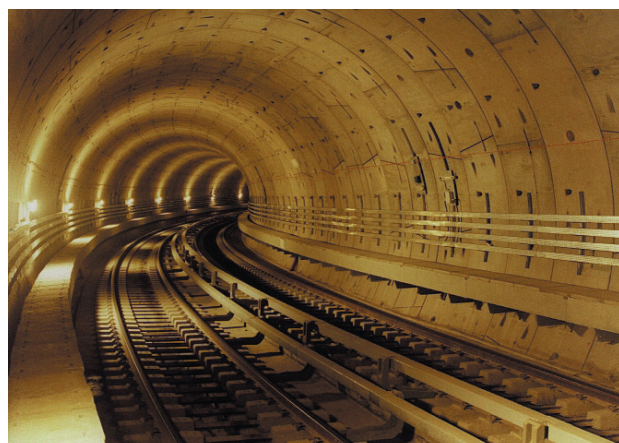
L'outil de guidage du pilote :

Le pilote dispose de l'écart entre les valeurs mesurées, par le système de relevé ou les capteurs d'allongement, et les valeurs de consigne (fig.4). Mais son véritable indicateur de guidage est la variation instantanée de cet écart, représentatif du mouvement "instantané" du bouclier par rapport à sa trajectoire de consigne.

Cet indicateur, en mesurant quasi immédiatement l'effet de l'action qui vient d'être engagée, permet une grande finesse de pilotage. Sa précision va de pair avec une grande sensibilité des appareils et une courte période (<10 s.) de rafraîchissement des mesures, ce que permettent les plus récents systèmes.

La commande des pressions des vérins :

L'action de guidage consiste à agir sur les pressions respectives des vérins de poussée pour orienter le bouclier,



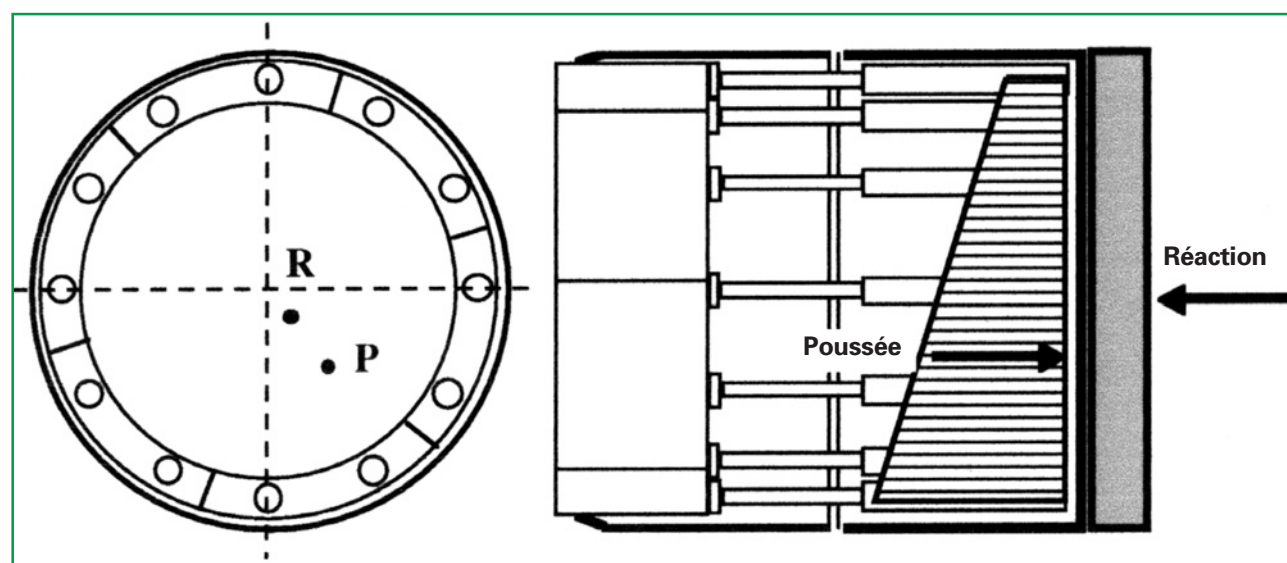
Avec des capteurs au 1/10^e de mm, la précision du système de guidage est telle qu'après une journée d'avancement l'écart est du même ordre de grandeur que l'imprécision topographique des relevés de position. Les deux mesures se vérifiant l'une l'autre, on obtient un gain significatif dans la précision d'implantation de l'ouvrage.

pendant sa progression, dans la direction souhaitée.

Le pilote automatique répartit les pressions dans les vérins de manière régulière (fig.5) et de telle sorte que le tunnelier rejoigne et se maintienne sur la trajectoire désirée.

Utilisé sur plus d'une vingtaine de tunneliers à ce jour, le système a montré que l'on pouvait conduire les tunneliers à 20 mm près, la part due au pilote dans l'imprécision du guidage ayant quasiment disparue. ●

fig.5 : répartition de la poussée

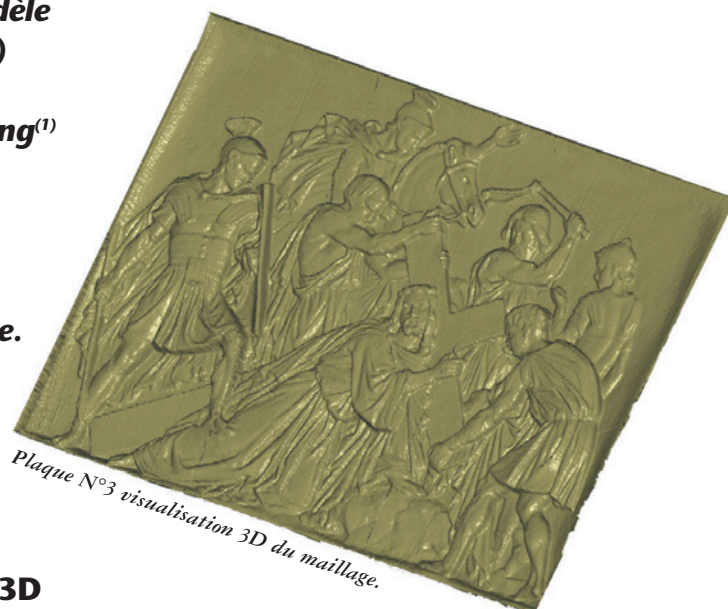


Numérisation 3D du Chemin de Cr

Quels sont les objectifs d'une telle prestation ?

La Ville de Lorgues (83) a récemment confié la restauration des 14 plaques en fonte de son Chemin de croix au Centre Archéologique du Var. Parallèlement aux travaux de restauration des métaux, ces deux partenaires nous ont demandé de créer un modèle numérique surfacique fidèle de chaque original (68 x 48cm, reliefs 3 cm) pour atteindre les objectifs suivants :

- **Valider un relevé de précision par scanning⁽¹⁾ sur un objet archéologique.**
- **Archiver une empreinte numérique des plaques.**
- **Disposer d'un modèle numérique en vue de futures reproductions à échelle réduite.**
- **Réaliser des études sur objet virtuel.**
- **Visualiser un objet virtuel 3D (site Internet).**



Plaque N°3 visualisation 3D du maillage.

Outils et méthode de saisie numérique 3D

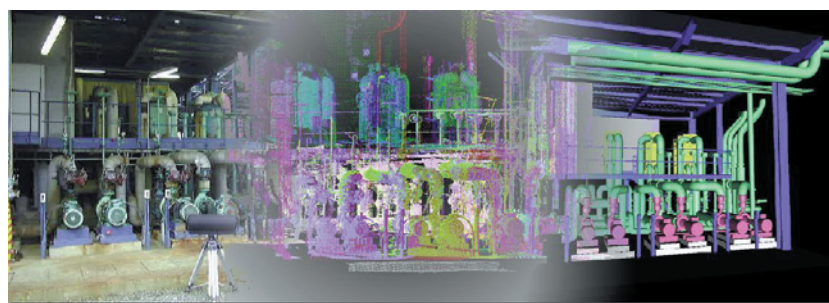
Outil d'acquisition 3D

L'acquisition 3D a été réalisée grâce au scanner laser 3D SOISIC (Technologie EDF). On utilise notamment ce scanner en milieux industriels afin de créer des modèles TQC d'unités (Tel Que Construit) en vue

de modifications ou de maintenance. La précision et les caractéristiques du capteur, associées à des mesures métrologiques de calage des points de vue, en font un outil performant de relevé 3D de formes

complexes dans de nombreux domaines :

- **Péto-chimie** Retrofit⁽²⁾
- **Industriels** Relevé de pièces, d'outils de production, prototypage rapide
- **Métrologie** Contrôle de prototypes
- **Culturel, patrimoine** Relevé de statues, grottes, visites virtuelles
- **Archéologie** Anastylose, relevé de sites, d'objets
- **Multimédia** Modèles virtuels pour des jeux
- **Design** Création de modèles C.A.O. à partir de maquettes ou prototypes



Photos : Cabinet Guy PERAZIO - ELF - MENSI

des 14 plaques oix de Lorgues

David Faverge, Cabinet Guy Perazio

Principe de mesure des points 3D.

Ce capteur réalise des mesures point à point sur l'objet à numériser par balayage dans un plan de triangulation. Les coordonnées des points sont exprimées dans un référentiel lié à chaque position du capteur.

Le plan de triangulation est formé par :

- le point d'émission d'un spot laser projeté et focalisé sur l'objet (mesure angle d'émission S)
- la pupille d'entrée d'un objectif CCD de réception (mesure angle de réception C)
- une base étalonnée entre point d'émission du laser et objectif de réception (b)

Ce plan de triangulation pivote d'un pas élémentaire à la fin de chaque ligne de balayage (mesure de l'angle de rotation A).

Les coordonnées XYZ de chaque position du spot sur l'objet sont calculées à partir de trois mesures d'angles (C, S et A) et d'une distance de base (b issue d'un étalonnage).

Méthode de Scanning⁽¹⁾.

Compte-tenu de la hauteur des reliefs à scanner (3 cm environ), nous réalisons 3 points de vue de saisie 3D à 120° par plaque afin d'obtenir un modèle complet et de s'affranchir des zones de masque.

La distance oblique Scanner/Plaque est de 3 m environ afin de conserver une bonne précision au nuage de points.

La maille maximum de chaque point de vue est de 1 mm environ à 3 m, et nous effectuons des saisies plus denses sur les zones de détail (visages,...)

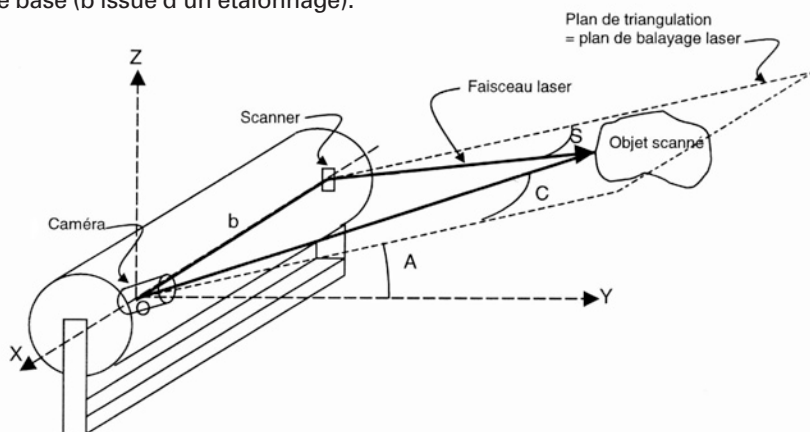
La saisie d'une plaque correspond à une durée globale de 8 heures.

Le recalage des 3 nuages de points est effectué par l'intermédiaire d'un référentiel de 8 sphères, lié à chaque plaque durant l'acquisition.



■ Les caractéristiques du capteur :

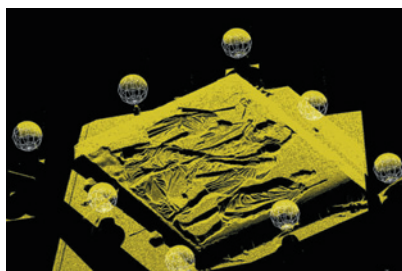
- Grande rapidité d'acquisition (100 pts/seconde)
- Saisie 3D sans contact (objets inaccessibles, fragiles)
- Portée de 0,8 m à 30 m
- Champ de 46° x 320°
- Natures de surfaces variées
- Précision nominale : 0,3 mm à 2,5 m
- Résolution : 0,2 mm à 1 m
- Visualisation immédiate du nuage 3D
- Acquisition de clichés numériques couleur géoréférencés





Plaque d'essai fixée sur son référentiel.

Dans chaque point de vue, nous réalisons donc une saisie complète de la plaque, ainsi que la saisie des 8 sphères.



1 point de vue :
- nuage de la plaque
- nuages des 8 sphères

Contrôle de la précision du scanning⁽¹⁾.

Afin de contrôler la précision de chaque nuage de points, nous déterminons les positions XYZ des centres des 8 sphères de calage par intersections spatiales et nivellement de préci-



sion.

Ces mesures métrologiques sont réalisées à l'aide d'un théodolite de précision WILD TC2002, d'un niveau

WILD NA2 avec lames à faces parallèles, et d'une mire invar.

La précision de détermination du centre de chaque sphère dans l'espace est de 0.1 mm.

Logiciel de traitement

Logiciel 3D IPSOS

Le traitement des nuages de points 3D est réalisé grâce au logiciel 3D IPSOS (EDF). Ce logiciel a été développé afin de pouvoir traiter des projets allant jusqu'à 65 millions de points. Il inclut toutes les fonctions de consolidation, segmentation, reconnaissance de primitives géométriques et reconstruction (applications industrielles), lissage, maillages et exports des modèles vers les outils CAO.

De plus, 3D IPSOS permet de recalculer et projeter un ou plusieurs clichés couleurs issus du scanner (ou externes) sur le modèle 3D, afin de lui donner sa texture d'origine. Peu utilisée en domaines industriels, cette fonction est primordiale dans les secteurs culturels et du patrimoine pour des objets tels que des peintures rupestres, statues...

Consolidation

La consolidation consiste à assembler les 3 points de vue de chaque plaque en réalisant pour chacun d'eux :

- une reconnaissance de sphère mathématique calée sur chacun des 8 nuages de points, le contrôle du rayon reconnu par rapport au rayon exact.
- un calcul de similitude 3D à 6 paramètres (3 translations, 3 rotations) afin de ramener les 8 sphères reconnues sur les 8 sphères du référentiel métrologique.

La redondance apportée par les 8 sphères permet de supprimer celles dont la reconnaissance est la moins

précise, et donc d'affiner ce calcul. L'erreur moyenne de position des sphères reconnues par rapport aux sphères métrologiques est de 0.4 mm, avec un écart type de 0.1 mm.

A l'issue de ce calcul, le nuage 3D du point de vue est recalculé sur le référentiel. En faisant de même sur les 2 autres points de vue, nous obtenons un nuage de 1 800 000 points 3D pour chacune des plaques, dont la maille la plus fine est de 0.3mm.

Traitement du nuage de points, lissage.

Le traitement consiste à :

- extraire le nuage 3D de la plaque seule (supprimer les points relevés sur l'environnement de la plaque)
- supprimer les quelques points faux (points tangents sur arêtes)
- lisser le nuage de points 3D dans un compromis permettant de conserver la précision et les détails, tout en améliorant le rendu ultérieur du maillage.

Maillage.

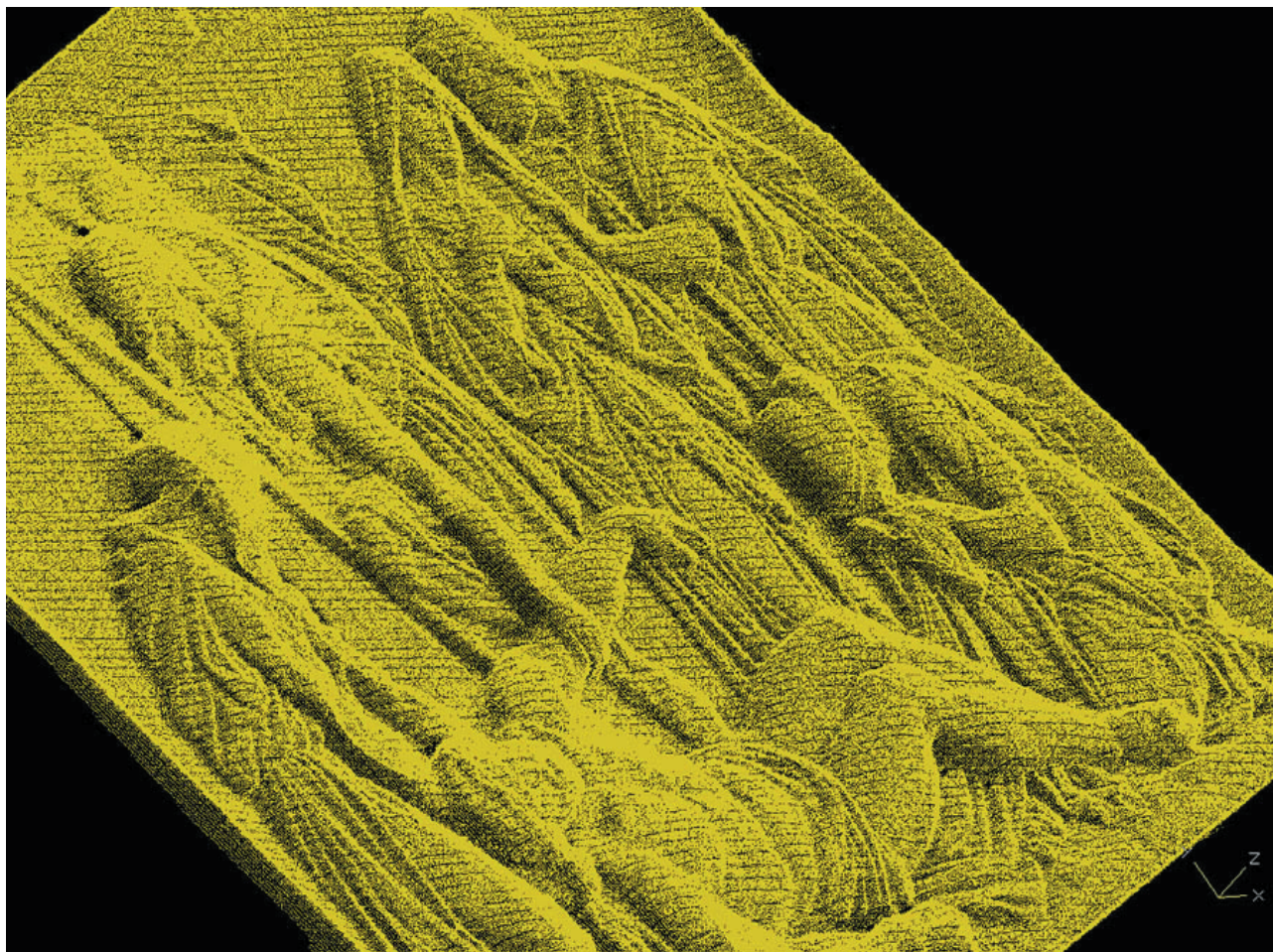
La dernière opération est le maillage du nuage de points 3D épuré afin de créer la surface du modèle 3D.

Le maillage effectué dans le cadre de cette mission peut être qualifié de "standard". En effet, nous calculons ce maillage selon une logique de projection sur le plan général de la plaque, ce qui permet d'obtenir un premier résultat très fidèle.

Cependant, certaines zones de liaison du fond de plaque et des personnages peuvent être améliorées en effectuant une découpe du nuage de points et son maillage selon une logique différente.

Le traitement complet des nuages de points issus du scanner jusqu'à l'image 3D du maillage représente 2 à 3 heures par plaque.

Le traitement des nuages de points 3D est réalisé grâce au logiciel 3D IPSOS (EDF). Ce logiciel a été développé afin de pouvoir traiter des projets allant jusqu'à 65 millions de points. Il inclut toutes les fonctions de consolidation, segmentation, reconnaissance de primitives géométriques et reconstruction (applications industrielles), lissage, maillages et exports des modèles vers les outils CAO.



Photos : Cabinet Guy PERAZIO - ELF - MENSI

Nuage de points 3D après consolidation.

Conclusion

Cette mission nous permet de confirmer la capacité du scanner laser SOL-SIC à réaliser une numérisation de précision sans contact d'un objet archéologique.

La suite de ce travail sera le "matching⁽³⁾" d'une photographie couleur de chaque plaque sur son maillage, afin d'obtenir un modèle 3D dont les textures sont exactement celles de l'objet source. On peut alors disposer à distance (Internet) d'un objet virtuel 3D parfaitement conforme en géométrie et couleur à l'original.

Plus généralement, la précision de ce capteur associée à une métrologie de recalage et les fonctionnalités du logiciel de traitement forment un ensemble performant d'acquisition de modèles numériques 3D.

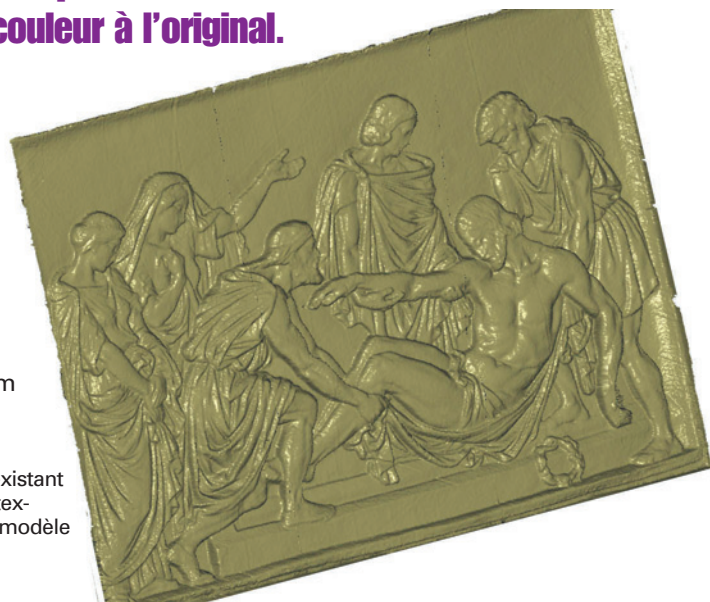
Ces modèles 3D de l'existant sont la base de travail indispensable des bureaux d'étude, et ils sont très souvent une solution rapide et fiable dans de multiples domaines d'application. ●

La suite de ce travail sera le "matching⁽³⁾" d'une photographie couleur de chaque plaque sur son maillage, afin d'obtenir un modèle 3D dont les textures seront exactement celles de l'objet source. On pourra alors disposer à distance (Internet) d'un objet virtuel 3D parfaitement conforme en géométrie et couleur à l'original.

Contact

Cabinet Guy PERAZIO
Géomètre Expert D.P.L.G.
ZA Centr'Alp
137 Rue Mayoussard
38430 MOIRANS
Tél : 04.76.35.51.69
Internet : www.perazio.com

- (1) scanning : balayage laser
- (2) Retrofit : modification de l'existant
- (3) Matching : application des textures réelles de l'objet sur son modèle numérique.



Contrôle terrestre d' balayage hélicoptéré

Pour répondre à une commande de la Direction de l'Équipement de Polynésie Française, portant sur le levé d'une bande de plus de 18km de long, une implémentation du système Fli-Map de levé par laser à balayage hélicoptéré (Airborne Laser Scanning - ALS) est proposée. Le chantier est localisé aux Marquises, archipel éloigné aux îles escarpées et couvertes d'une végétation dense. C'est une première sur un territoire français, et mérite à ce titre un contrôle. La confrontation des données ALS à un levé terrestre met en évidence les qualités et faiblesses de la méthode et donne lieu à un affinement du travail de filtrage des données brutes. Le résultat final permet d'évaluer la qualité globale des données et d'envisager son utilisation future dans le contexte polynésien en connaissance de cause.

Les Îles Marquises sont magnifiques, sauvages et mystérieuses... Encore difficilement accessibles, elles restent à l'écart des principaux flux touristiques. Le visiteur y découvre l'autre facette du mythe polynésien. Ici ni lagon amniotique ni "five star resorts" les pieds dans l'eau ; mais une nature luxuriante, une géologie jeune dont témoignent les baies encaissées et les vallées profondes. Et un peuple au riche passé et fier de ses racines. Les "marae" et les "tiki" en sont les preuves archéologiques, le tatouage et l'artisanat les réminiscences sociales. C'est en découvrant la réalité marquisienne que les exiles volontaires d'hommes à la recherche d'authenticité, Paul Gauguin et Jacques Brel en leur temps, prennent tout leur sens.

Mais les Marquises sont aussi un archipel de six îles principales en pleine expansion démographique, dont le développement socio-économique dépend d'investissements structurels importants. Les responsables locaux en ont d'ailleurs fait une de leurs priorités. Qui se concrétise par des projets de créations d'aérodromes, de centres administratifs et médicaux, de pistes routières...

Nuku Hiva, l'île principale (la plus grande et la plus peuplée) de l'archipel accueille évidemment son lot de projets. Ici pas besoin de créer un aérodrome ; il existe depuis plusieurs années déjà. Le développement des liaisons aériennes lui donne une importance régionale : au minimum un vol par jour depuis Papeete, puis des

Figure 1 : Nuku Hiva et les Marquises Nord⁽¹⁾



liaisons intra-archipels. L'aérodrome est le nœud vital de l'île et de l'archipel, à la fois instrument de développement économique (échanges, tourisme) et social (liaisons culturelles, évacuations sanitaires). Mais voilà, ce nœud vital est situé à "Terre-Déserte", lieu-dit de l'île portant bien son nom : c'est une lande pelée et inhabitée, bordée de hautes falaises surplombant le Pacifique. Et située à quatre heures de pistes en véhicule tout terrain (ou dix minutes d'hélicoptère) du village de Taiohae, principal bourg et centre administratif. Une liaison routière de bonne qualité apparaît dès lors indispensable.

C'est dans la concrétisation de ce projet que la Direction

(1) Carte d'après www.polynesiepassion.net

un levé par laser à aux Iles Marquises

Quentin Gross, Ingénieur ENSAIS

de l'Équipement de Polynésie Française s'est lancée. Un premier tronçon de piste bétonnée est en voie d'achèvement, mais le plus dur reste à faire : deux cols (dont l'un à 1000 m d'altitude) et un plateau sont à traverser. Et réutiliser l'emprise de la piste existante n'est pas possible sur l'ensemble du tracé, en particulier au passage du col de Tekao où un tunnel est même envisagé.

Les études d'un tel projet nécessitent évidemment des données topographiques précises. Les seules données disponibles au commencement du projet étaient une restitution photogrammétrique au 1 / 5 000 dont la validité et la précision étaient à considérer avec précaution, puisque basée sur des prises de vues anciennes (1984) au 1 / 25 000. Sans compter les limites de la méthode en terrain très accidenté et boisé. Ces données ont permis d'établir un avant projet, et de dégrossir le tracé. Mais le passage à un niveau de définition plus fin, le choix d'un tracé définitif, imposaient de disposer de données beaucoup plus précises et fiables.

Un appel d'offre a donc été lancé pour la réalisation d'un des plus gros chantiers de topographie jamais commandé par la Direction de l'Équipement : le relevé d'une bande d'étude de près de 17 kilomètres de long et 100 mètres de large, et ce principalement en zone vierge (terrain accidenté, végétation dense). Le résultat attendu devait être un plan au 1 / 500^e faisant figurer les principaux éléments topographiques (bâtiments, dalots, fossés, talus, bords de route), ainsi qu'un modèle numérique de terrain au format GeoMacao pour les études routières.

Les réponses à cette consultation publique recelaient une surprise. Alors que les principaux acteurs de la

topographie en Polynésie proposèrent un levé par méthode terrestre classique, en déployant de forts moyens humains (plusieurs brigades de terrain) et matériel (défrichage indispensable de certaines zones) et en prévoyant un délai de réalisation de plusieurs mois, un géomètre proposait l'utilisation d'une technique nouvelle, peu connue (surtout sous les latitudes polynésiennes !) : le levé par balayage laser hélicopté (Airbone Laser Scanning en anglais, l'acronyme ALS sera utilisé pour désigner la technique).

Seule une société spécialisée peut entreprendre ce type de travaux, et la proposition émanait en réalité d'un groupement entre, Franck Ruédas, géomètre de la place, le groupe international Fugro (avec son système Fli-Map) et la société Macao France pour le formatage des données imposé par le maître d'ouvrage. L'offre est apparue suffisamment intéressante (du point de vue économique et pratique) pour que celui-ci tente la gageure d'implémenter l'ALS pour la première fois sur un territoire français, et dans des conditions extrêmes tant du point de vue technique que logistique.

Le propos de cet article n'est ni de raconter les détails de la mission entreprise par les prestataires, ni de décrire la méthode ALS en détail, et encore moins d'en vanter les mérites ou de la mettre en cause. Mais plutôt de présenter le travail entrepris par la section topographie de la Direction de l'Équipement, chargée de réceptionner le lever.

Après un bref rappel des principes de la technique ALS, l'intérêt d'un contrôle, la méthodologie employée, les résultats obtenus seront présentés et analysés.



Un appel d'offre a donc été lancé pour la réalisation d'un des plus gros chantiers de topographie jamais commandé par la Direction de l'Équipement : le relevé d'une bande d'étude de près de 17 kilomètres de long et 100 mètres de large, et ce principalement en zone vierge (terrain accidenté, végétation dense). Le résultat attendu devait être un plan au 1 / 500^e faisant figurer les principaux éléments topographiques (bâtiments, dalots, fossés, talus, bords de route), ainsi qu'un modèle numérique de terrain au format GeoMacao pour les études routières.

L'ALS est une technique relativement récente et originale, les premières applications en Europe remontant au début des années 1990. Elle n'a jamais été mise en œuvre en France métropolitaine. Ce chantier aux Marquises est donc une première et doit être considéré avec de l'intérêt - c'est une méthode économique, rapide et pratique dans les zones difficiles d'accès - mais de la prudence et un certain regard critique sont nécessaires avant d'utiliser les résultats.

Levé par balayage laser hélicoptéré

En simplifiant, cette technique consiste à obtenir un grand nombre de points tridimensionnels représentant autant de points au sol d'une zone d'étude, en la survolant avec un télémètre laser à environ 80 m de hauteur. Celui-ci opère un balayage transversal alors que le mouvement longitudinal est assuré par le véhicule le transportant, un hélicoptère dans ce cas. Ce double mouvement permet d'acquérir, à chaque passage, des données sur une bande d'une largeur dépendant de l'ouverture du balayage et de la hauteur de vol. Le système d'acquisition étant très rapide, la densité de points bruts mesurés est très forte (plusieurs dizaines de points par mètre carré). Un complexe couplage entre des capteurs GPS différentiels et une station inertielle permet le positionnement du capteur laser, et de fait le calcul des points mesurés dans le référentiel choisi. L'enregistrement de 2 bandes vidéo l'une frontale et l'autre verticale d'une bande vidéo simultanément à l'acquisition des points permet de visualiser la zone levée.

Les étapes d'une mission ALS peuvent se résumer simplement à :

- La mise en place d'un réseau de points de référence, qui accueillent des antennes GPS permettant à la fois la navigation en temps réel, le respect du plan de vol et le positionnement du capteur.
- L'acquisition des données (mesurage de points) par survol de la zone.
- Le calcul des points dans le système de référence des coordonnées du chantier (nuage dense de points 3D).
- Le "post-processing" permettant d'obtenir un jeu de données exploitable, correspondant aux coordonnées des impacts sur les objets souhaités au sol. Cette étape consiste en un filtrage des points mesurés de manière à séparer les impacts au sol de ceux sur la végétation, les bâtiments, et généralement les obstacles rencontrés par le faisceau.
- L'utilisation des images vidéos pour affiner la discrimination des impacts lasers conduisant à l'établissement d'un fichier dessin en 3D

L'opération de transformation des données dans le système local nécessite, au préalable à la mission d'acquisition des données, la réalisation de travaux de géodésie aux abords du chantier.

La principale difficulté dans la mise en œuvre de cette méthode est la discrimination des points de manière à extraire le sol. Ce classement s'opère en appliquant des algorithmes complexes, dont les paramètres varient selon les caractéristiques de la zone de travail.

De l'intérêt d'une mission de contrôle

L'ALS est une technique relativement récente et originale, les premières applications en Europe remontant au début des années 1990. Elle n'a jamais été mise en œuvre en France métropolitaine. Ce chantier aux Marquises est donc une première et doit être considéré avec de l'intérêt - c'est une méthode économique, rapide et pratique dans les zones difficiles d'accès - mais de la prudence et un certain regard critique sont nécessaires avant d'utiliser les résultats.

Par rapport aux chantiers classiques faisant appel à l'ALS (corridors ferroviaires, lignes hautes tension, oléoducs), le chantier de Nuku Hiva présente les particularités suivantes :

- Morphologie du terrain très accidentée.
- Très peu de bâtiments et d'objets topographiques habituellement rencontrés dans les zones à forte densité de population.
- Végétation très dense et variée, recouvrant la quasi-totalité du chantier.

La végétation étant le principal facteur d'erreur de la méthode ALS (cf. *Petzold et al., 1999*), un contrôle terrain est indispensable pour s'assurer de la qualité du MNT fourni ; en particulier dans des zones à forte pente et canopée dense.

Figure 2 : Tachéomètre en station dans un environnement difficile



Méthodologie du contrôle

Levé terrestre

Les seules données disponibles (la restitution photogrammétrique) ne sont ni assez précises ni assez denses pour être comparées de façon significative au levé ALS. La seule méthode envisageable est donc d'obtenir des données comparables par une méthode classique, dont la précision est connue : des contrôles ponctuels par levé tachéométrique classique s'imposent.

Une mission de levé topographique classique a donc été mise sur pied par la Section Topographie de la Direction de l'Équipement.

Les points d'appui utilisés sont strictement ceux mis en place par les techniciens de Fugro, en préalable à la mission ALS. Ces points ont été déterminés par méthode GPS différentielle statique. Les réutiliser comme points d'appui pour la mission terrestre garantit la cohérence des résultats et permet de s'assurer que les éventuelles différences constatées ne sont pas des artefacts mais bien dus aux différences entre les méthodes employées.

Vu l'étendue du chantier et les difficultés évoquées plus haut, il serait aberrant d'envisager des levés terrestres de grande envergure. Cinq zones test ponctuelles ont donc été choisies dans l'emprise du levé ALS. Elles sont représentatives des divers types de couvert végétal et de relief présents sur le chantier.

Typologies du terrain, choix de zones caractéristiques

Zone 1 : Végétation légère, détails topographiques, relief plat.

La première zone test est une parcelle délimitée par une clôture, accueillant des bungalows et d'autres constructions, située à une altitude d'environ 100 m. Entre les bâtiments, le jardin est entretenu (herbe rase tondue). De nombreux arbres (feuillus, sapins et agrumes) sont répartis sur toute la zone levée, ainsi que de petits accidents de reliefs (rochers). À l'extérieur de la zone clôturée, l'herbe n'est pas tondue. Il y a donc une limite nette entre l'herbe rase et l'herbe haute.

Figure 3 : Herbes hautes et buissons sur la zone 2



Les objectifs sur cette zone sont les suivants :

- Vérifier précisément le positionnement planimétrique d'objets topographiques caractéristiques.
- Étudier la pénétration sous une couche légère de végétation (quelques arbres).
- Comparer le comportement de la méthode ALS sur de l'herbe.

Zone 2 : Végétation hétérogène, doux modelé du terrain

La deuxième zone de levé s'étend de part et d'autre de la piste actuelle, dans une zone au relief relativement doux sans "accidents" de reliefs particuliers, à une altitude moyenne de 230 m. La route est bordée par de la végétation basse (ronces, fougères, herbe) et, ponctuellement, par des buissons ou de petits bosquets d'arbres aux feuillages assez denses.

Pourquoi cette zone ?

- Cette zone permet de vérifier le comportement de l'ALS sur une zone à la végétation non-homogène, puisque alternant végétation basse et haute.
- Ce type de végétation est très répandu sur la zone levée, puisqu'elle se trouve tout au long de la piste descendant à Terre Déserte.

Zone 3 : Pente marquée, couverture par des sapins

Cette zone est un flan de colline, à 730 m d'altitude, à la pente marquée (12,5 à 30 %) mais au relief régulier. En bordure de levé passe la piste actuelle.

Deux parties sont à distinguer : premièrement la route et la moitié du flan de colline totalement dégagées, deuxièmement une partie couverte d'une plantation de sapins. La partie dégagée du flan de colline présente quelques "accidents" de relief (gros rochers). Les sapins sont plantés selon une trame assez régulière et forment une couverture homogène (même hauteur).

Un talus couvert de fougères marque la limite entre la route et le flan de colline.

Objectifs :

- Vérifier le levé hélicopté sur une zone ne présentant pas d'ambiguïtés (dégagée de végétation).
- Apprécier la pénétration de la méthode sous des sapins. Ceci est particulièrement important puisque les plantations de sapins couvrent une grande partie de la zone levée, côté Terre Déserte.



Figure 4 : Plantation de sapins (zone 3)



Figure 5 : Fond de thalweg couvert de végétation très dense (zone 4)



Zone 4 : Thalweg à la végétation dense

C'est un thalweg situé en bordure de zone levée, à 860m. La vallée a un profil en V très marqué d'une profondeur d'environ 30-40 m à cet endroit. La pente du flan de montagne levé est comprise entre 100 et 110 %.

Le couvert végétal dans ce thalweg (comme dans beaucoup d'autres à Nuku Hiva) est très dense, hétéroclite et présente différentes couches de végétation (fougères, fougères arborescentes, feuillus bas, pandanus, feuillus hauts...).

Le relief et la densité de la végétation rendent l'accès à ce thalweg très difficile en particulier avec des appareils topographiques nécessitant de dégager des visées au travers de la végétation.

Cette zone présente les conditions les plus défavorables a priori pour un levé par ALS : relief très accidenté, couvert végétal très dense et de hauteurs différentes.

Zone 5 : Flan de colline couvert de fougères

À 860 m d'altitude, zone au relief régulier et en pente moyenne (30 à 60 %). Piste levée de façon précise, en prenant en compte des lignes caractéristiques (fil d'eau, haut de caniveau...).

Depuis la piste, un flan de colline recouvert d'une couche uniforme de fougères s'élève doucement. Les fougères forment une couverture quasi opaque d'une épaisseur comprise entre 1 m à 1,50 m au-dessus du sol. Quelques arbustes et buissons plus hauts se trouvent également dans la zone. Les fougères couvrent également les hauts de talus surplombant la piste.

Objectifs sur cette zone :

- Étudier l'efficacité de la méthode sur une zone couverte de fougères. Quasiment toutes les crêtes de la zone levée sont couvertes d'une couche de fougères comparable.
- Vérifier une fois de plus le comportement en zone dégagée.

Comparaison de deux MNT

Les données de références acquises, reste à les comparer à celles obtenues par ALS. Celles-ci se présentent sous forme de fichiers dessin 3D MicroStation contenant principalement des courbes de niveau demi-métriques, mais aussi les quelques détails topographiques présents sur la zone.

Les levés classiques des diverses zones sont formalisés sous la forme de dessin MicroStation. Pour faciliter la comparaison visuelle, des courbes de niveau de même intervalle sont interpolées.

Mais la seule comparaison visuelle n'est pas satisfaisante : elle ne permet pas de véritablement quantifier l'ampleur des écarts entre les deux MNT.

Le module Spatial Analyst de ArcView (ESRI) permet justement de quantifier ces écarts : Après l'importation de données graphiques dans ArcView, une couche Spatial Analyst correspondant au modèle de surface est créée pour chaque levé (ALS et classique). Les opérateurs logiques de Spatial Analyst permettent ensuite d'obtenir une troisième couche dont chaque valeur correspond à la soustraction des valeurs coïncidentes des deux couches précédentes.

Il ne reste plus qu'à exploiter ces résultats : graphiquement en produisant une carte thématique des différences et statistiquement en étudiant la répartition des écarts.

Résultats, zones par zones

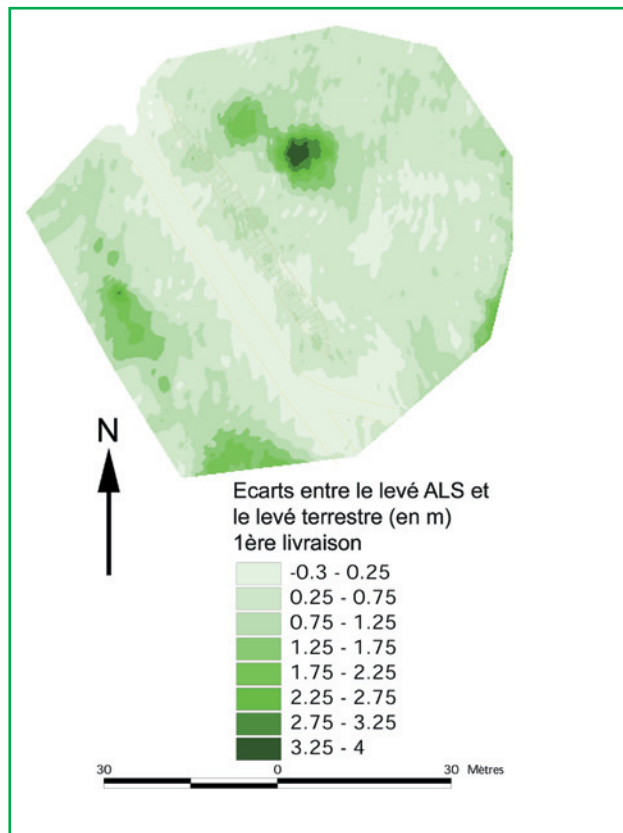
Zone 1

Le positionnement planimétrique des bâtiments est tout à fait correct. Les différences de formes constatées entre les levés terrestre et hélicoporté sont dues aux débords de toits.

Dans la zone d'herbe rase, la correspondance entre les deux méthodes est très bonne. Les écarts constatés sont très majoritairement (sur 76% de la surface comparée) compris entre -0,25 et 0,25 m. Spatial Analyst met en évidence des "tâches" dues à des accidents, tels que la présence d'un rocher non levé sur le terrain mais détecté par ALS. Le modelé du terrain est parfaitement reproduit par le levé hélicoporté, y compris sous les arbres.

Dans la zone d'herbe haute (17 % de la surface), les écarts sont uniformément compris entre 0,25 et 0,50 m ; soit un décalage dont la valeur est comparable à la hauteur des herbes. Ceci ajouté au fait que la différence est nette entre les zones d'herbe rase et haute permet de supposer que le levé ALS n'a pas permis de toucher le sol sous l'herbe haute.

Figure 6 : Carte des écarts entre les deux méthodes, zone 2, faisant apparaître les erreurs comme des tâches.



Zone 2

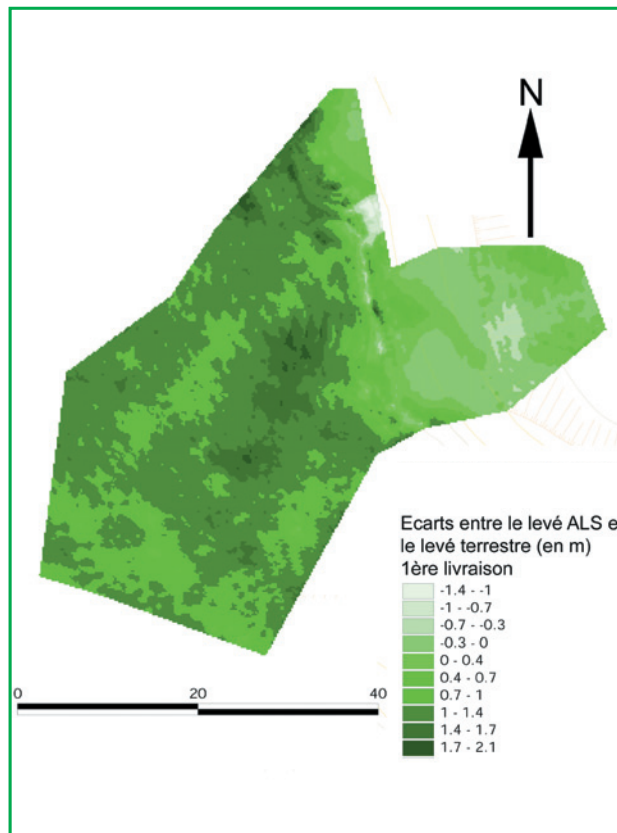
Sur la piste et à ses abords immédiats (20 % de la superficie de la zone), les écarts sont bons (compris entre -0,3 et 0,25 m) ; au nord-est de la route, où le flan de colline est couvert d'une végétation basse (50 % de la zone), les écarts correspondent à la hauteur moyenne de cette couverture végétale (entre 0,25 et 0,75 m). Des "taches" témoignent d'écarts allant jusqu'à 4 m ; elles coïncident avec les bosquets d'arbres touffus dont la position a été relevée. Ces bosquets n'ont donc pas été éliminés au post-traitement. Il faut cependant noter que certains bosquets relevés sur le terrain n'induisent pas d'écarts notables.

Zone 3

On observe une très bonne correspondance entre les deux méthodes de levé (écarts inférieurs à 0,30 m sur près de 70 % de la surface), que ce soit en zone dégagée (résultat prévisible) ou sous les sapins (point qui était à vérifier). Aucune irrégularité du modelé de terrain n'est constatée à l'interface des parties couverte et dégagée. Ponctuellement des écarts plus importants s'expliquent par la présence de rochers non levés par la méthode de levé terrestre.

L'interprétation des hauts talus longeant la piste est fautive. La couverture végétale basse mais dense (fougères) est manifestement la cause de cette erreur. En effet, à d'autres endroits, lorsque les têtes de talus sont bien dégagées, elles sont correctement interprétées. Le

Figure 7 : Carte des écarts entre les deux MNT, zone 5 : bonne concordance sur la piste et écarts constants sur le flan couvert de fougères.



positionnement planimétrique du bord de route diverge nettement entre les deux levés. Ceci s'explique principalement par la mauvaise définition du bord de piste (non goudronnée).

Zone 4

Les résultats y sont mauvais. En aucun endroit n'est observé un écart inférieur à 1 m. Les écarts maximums constatés atteignent jusqu'à 8,70 m. Rappelons que cette zone est un fond de thalweg encaissé recouvert d'une végétation dense et hétéroclite. Certains massifs très denses (pandanus) n'ont pas du tout été traversés par les impacts du capteur laser, ce qui crée des écarts allant jusqu'à 8 m... Des arbres moins denses sont eux traversés, mais c'est une couche de végétation inférieure qui est interprétée comme le sol.

Zone 5

Des écarts quasi constants, compris entre 1 m et 1,40 m, sont observés sur le flan de colline (48 % de la zone). La valeur de ces écarts correspond à la hauteur des fougères recouvrant totalement le versant. Cette homogénéité est la preuve manifeste que le sol n'a pas été atteint mais que c'est bien le haut des fougères qui a été interprété comme le sol. Sur les parties dégagées (piste et ses abords - 20 % de la zone) les résultats sont bien meilleurs, puisque compris entre +0,25 m et -0,25 m. La

comparaison directe avec le levé permet même de vérifier la concordance au niveau du caniveau en bord de piste. Le levé ALS produit ici une densité de points véritablement intéressante.

Affinement du traitement des données ALS

Le contrôle terrain et les premières observations qui en découlaient ont été transmises aux techniciens de Fugro, afin qu'ils affinent la discrimination des points.

Une connaissance a posteriori de la position "vraie" du sol sur des zones ponctuelles, couplée à un travail approfondi de distinction des caractéristiques du couvert végétal à l'aide des vidéos enregistrées par le système Fli-Map, a permis de procéder à un nouveau traitement des données brutes.

Ce deuxième traitement produit un modèle numérique de terrain globalement plus proche de celui obtenu par voie terrestre, que le MNT initial. Zone par zone les observations sont les suivantes :

- **Zone 1 :** Les résultats déjà bons lors de la première livraison sont confirmés et améliorés puisque le décalage dû aux herbes hautes a quasiment disparu.

- **Zone 2 :** Ici, le décalage dû aux herbes hautes ne s'est pas résorbé significativement (il reste un décalage compris entre 20 et 50 cm). Par contre, les accidents de modelé dus aux arbustes et buissons sont en partie éliminés.

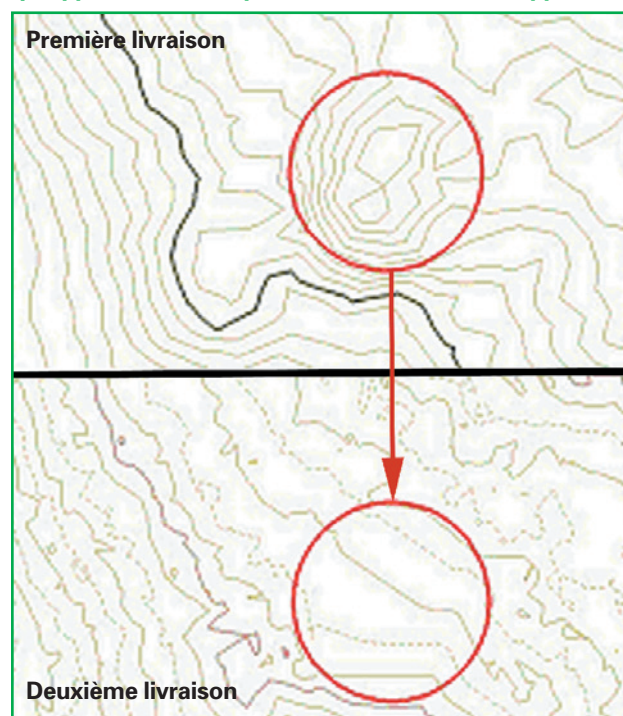
- **Zone 3 :** Les écarts altimétriques étaient principalement dus à la présence de fougères en tête de talus, ils ont pratiquement disparu après ce second traitement. Le positionnement planimétrique des hauts talus n'est cependant pas amélioré.

- **Zone 4 :** Cette zone présentait des écarts très importants allant jusqu'à plus de 8 m, le second traitement les ramène à 1,50 m sur le flan de colline et 3 à 4 m dans le fond du thalweg. Le modelé du terrain n'est toujours pas représentatif.

- **Zone 5 :** Le décalage dû aux fougères est diminué de moitié, il passe de 1,0-1,4 m à 0,75 m. Le reste de la zone présente toujours des écarts globalement bons (inférieurs à 25 cm en valeur absolue).

Ce deuxième traitement, basé sur les observations terrestres a donc permis une amélioration sensible sur l'ensemble des zones, même si sur certaines d'entre-elles les résultats restent en dessous des espérances.

Figure 8 : Amélioration du filtrage : un buisson qui apparaissait sur le premier traitement a été supprimé



Généralisation et synthèse

Les observations faites suite à l'analyse des zones test peuvent être généralisées à l'ensemble du levé, les zones choisies étant suffisamment représentatives de la diversité des situations rencontrées.

Les observations faites plus haut peuvent être synthétisées comme suit.

La méthode ALS fournit d'excellents résultats sur des zones dégagées de toute végétation, même assez pentues (cf. zone n°3). La densité de points est telle que la technique peut s'avérer supérieure au levé terrestre, puisqu'elle permet d'identifier des détails même petits, difficiles à représenter classiquement (rochers de taille moyenne...). Le sol est atteint sous de la végétation haute (arbres, sapins, cf. zones 1 et 3).

Dans les zones de végétation basse mais très dense (herbes hautes, fougères) le "sol" déterminé par l'ALS est plus haut que le terrain naturel levé, systématisme correspondant à peu près à une demi-épaisseur de la couche de végétation (cf. zone 5).

Des faiblesses (accidents de filtrage) sont apparues à l'occasion de la première livraison dans des zones à la végétation hétéroclite (présence d'arbres ou de buissons isolés). Ce sont bien des accidents puisqu'ils peuvent

La méthode ALS fournit d'excellents résultats sur des zones dégagées de toute végétation, même assez pentues (...). Le sol est atteint sous de la végétation haute (arbres, sapins). (...) Dans les zones de végétation basse mais très dense (herbes hautes, fougères) le "sol" déterminé par l'ALS est plus haut que le terrain naturel levé (...).

être éliminés en affinant la discrimination des données brutes.

Dans les zones les plus critiques (très forte pente, fond de vallée, cf. zone 4) le MNT généré par l'ALS est très écarté de la position effective du sol (écart toujours compris entre 1,5 et 4m après le deuxième traitement).

Globalement, le positionnement planimétrique des détails topographiques est bon.

Conclusion

La méthode ALS s'avère très efficace dans certaines zones favorables et donne de bons résultats à des endroits difficiles mais montre ses limites dans des cas extrêmes (très fort vallonnement et végétation dense), où malgré un filtrage poussé, des résultats exempts de tous biais n'ont pas été obtenus.

Mais quelle méthode pourrait y arriver ?

Les contrôles terrestres ont aussi montré leurs limites dans ces zones denses et encaissées. Un résultat véritablement correct ne pourrait être obtenu qu'au prix d'un travail long et fastidieux et du sacrifice de la végétation ; sachant que les zones très escarpées resteront inaccessibles pour un géomètre de terrain. En fait, les deux méthodes n'entrent pas véritablement en concurrence, chacune ayant ses avantages et inconvénients.

La méthode ALS, comparée au levé terrestre classique, est moins chère, plus rapide à mettre en œuvre, nécessite moins de travaux préparatoires et préserve la zone levée. Cependant, la qualité de ses résultats reste dépendante des situations particulières où elle est mise en œuvre : une topographie très encaissée et un couvert végétal dense sont des facteurs limitant de la précision, quelles que soient les précautions prises. Dans ces situations, seul un levé terrestre garanti un MNT le plus proche possible du sol vrai.

Le choix de la méthode doit donc se faire en amont de la commande, en fonction du résultat attendu et de l'exploitation prévue des données. Dans une zone quasi-vierge de réseaux, où seule la topographie du terrain influence la conception d'un projet routier, il semble judicieux de choisir un MNT dense obtenu par ALS ; surtout que la méthode offre des données supplémentaires : les bandes vidéo référencées au levé et permettant une vision objective par le projeteur de la zone d'étude.

La mission ALS à Nuku Hiva avait valeur de test. Et, bien que les résultats qualitatifs soient en deçà des espérances sur les zones très défavorables, le bilan de l'expérience apparaît positif : une économie substantielle dans les frais de levés topographiques, et un test de la méthode dans les conditions particulièrement défavorables des Marquises.

À l'avenir, l'utilisation combinée de l'ALS et de levés terrestres peut s'avérer une méthode efficace et rapide pour l'obtention de MNT à mailles très fines (équivalent à un plan topographique au 1/500^e) ; les interventions terrestres permettant de contrôler et de corriger les données ALS, tout en offrant des données fiables sur les zones très défavorables. ●

Remerciements

Je tiens à remercier...

Jean-Luc Genet, Paul-Henry Faure et l'équipe de terrain (Anthony, Georges et Julien) de la Section topographie de la Direction de l'Équipement de Polynésie.

Franck Ruédas, géomètre à Tahiti.

Contacts

Jean-Luc Genet (Direction de l'Équipement) :

jean-luc.genet@equipement.gov.pf

Franck Ruédas : geometre@mail.pf

Quentin Gross : quenting@mail.pf

Références

- **Laser scanning - surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models** - B. Petzold, P. Reiss et W. Stössel, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 1999
- **Airborne laser scanning - present status and future expectations** - F. Ackermann, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 1999
- **Airborne laser scanning - an introduction and overview** - A. Wehr et U. Lohr, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 1999
- **Fli-Map, Système d'imagerie géographique hélicoptère pour une nouvelle cartographie en 3D** - R. Damiano, P. Balestrini, *XYZ n°86*, p. 32-36, 2001
- **Apport de l'altimétrie par laser aéroporté à la cartographie des estrans : expérimentation de l'anse de l'Aiguillon** - G. Barreau, J. Populus, J. Fazilleau, *XYZ n°87*, p. 31-36, 2001
- **L'altimétrie laser, nouvelle technologie en plein essor** - EUROSENSE, *XYZ n°88*, p. 45-47, 2001
- **Tahiti et la Polynésie Française** - collectif, *Lonely Planet Publications*, pp. 463, 1999
- **www.esri.com**
- **www.fugro.com**
- **www.polynesiepassion.net**

Abstract

Facing the need of precise topographic data over a huge area of steep mountains and raw vegetation, in the French Polynesia Marquesas Archipelago, the Airborne Laser Scanning (ALS) system Fli-Map is implemented. As it is the very first time such a system is used in a French Territory, the results deserve being controlled. Comparing the ALS DTM and a regular survey of spotted zones outlined both the qualities and drawbacks of the method. Using the terrestrial survey, the data processing of raw ALS data is sharpened.

Final result enables a good evaluation of the method potentiality and provides a useful know-how for future implementations in the Polynesian context.

Apport d'un SIG nomade pour cartographier la végétation naturelle de l'île de la Réunion

Hélène Durand

A la demande de la DIREN un projet de cartographie de la végétation naturelle de l'île a été lancé récemment sur l'île de la Réunion. La première phase a consisté à développer des méthodes de spatialisation. Des méthodes originales de récolte de données terrain couplant Gps et sig nomade ont permis de récolter l'information terrain dans de bonnes conditions sur les trois sites test retenus. Les atouts de ces nouvelles méthodes sont largement détaillées. Elles ont conduit à renseigner rapidement la phase de photo-interprétation menée sur les ortho-photographies.

MOTS CLES

Végétation naturelle, cartographie, photo-interprétation, SIG nomade, ordinateur de poche.

Introduction : le contexte du projet

Une première consultation a été lancée par la DIREN Réunion en 1999. Elle visait à mettre en œuvre une cartographie de la végétation naturelle de l'île de la Réunion, soit 80% de la surface totale de l'île. Pour mener à bien ce projet, un comité de pilotage a été désigné réunissant les principaux acteurs de l'île intervenant dans ces milieux, (Conservatoire Botanique, ONF, Cirad, Faculté de Géographie). La première phase de ce projet, qui vient de s'achever, avait pour but de proposer et de tester de manière

opérationnelle, une ou plusieurs méthodes de cartographie sur des zones tests.

Après la définition des objectifs à atteindre (échelle de cartographie, typologie, etc...) nous avons été consultés pour proposer et mettre en œuvre les méthodes de spatialisation ad hoc.

Il faut à ce propos préciser que le contexte réunionnais, bien qu'éloigné, n'a rien à envier à la métropole en matière de référentiel géographique : L'ortho-photo plan en couleur naturelle à 1m de résolution est disponible sur tout le territoire, y compris donc sur les zones natu-

relles. La BD Topo et le MNT sont également disponibles sur tout le territoire, et fournissent des informations pertinentes pour le repérage et l'interprétation : chemin, pistes, réseau hydrographique jusqu'aux petites rivières intermittentes, cascades, etc.

Compte tenu de cette richesse d'information, nous avons tout naturellement orienté nos tests méthodologiques vers la valorisation de toutes ces données et en particulier la photo-interprétation, sur l'ortho-photo plan numérique à l'aide d'un SIG. Cette méthode présente entre autre avantage de pouvoir consulter



Les équipes de prospecteurs (personnel du Conservatoire Botanique National du Mascarin et de l'ONF) auront pour mission de repérer le plus précisément possible, ces formations sur les ortho-photoplans, lors de mission terrain et ensuite de les renseigner (couleur, texture, composition, étagement, homogénéité, etc.). Ces zones, aux signatures ou rendu caractéristiques, permettront ensuite d'étendre l'interprétation par analogie.

et afficher simultanément toutes les données complémentaires, et ainsi comprendre les grands facteurs climatiques et topographiques qui influencent la végétation ainsi que son rendu sur l'ortho-photoplan.

Comme pour toute méthode, même manuelle, l'une des étapes clé reste l'identification sur le terrain de formations échantillon, caractéristiques de chaque poste de la typologie (32 postes au total). Les équipes de prospecteurs (personnel du Conservatoire Botanique National du Mascarin et de l'ONF) auront pour mission de repérer le plus précisément possible, ces formations sur les ortho-photoplans, lors de mission terrain et ensuite de les renseigner (couleur, texture, composition, étagement, homogénéité, etc.). Ces zones, aux signatures ou rendu caractéristiques, permettront ensuite d'étendre l'interprétation par analogie.

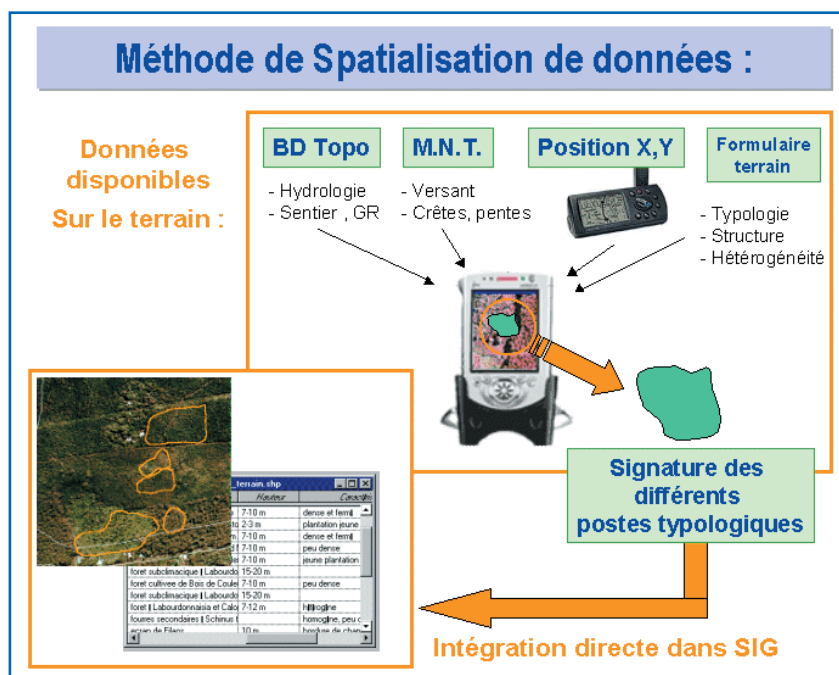
Atouts des outils nomades : ArcPad et I-pack

Atouts généraux

Compte tenu de notre expérience de terrain, menées selon des méthodes traditionnelles, mais également plus récemment selon ces méthodes numériques nomades, nous avons retenu les atouts suivants :

- Possibilité de **saisie directe des données terrain en numérique** (donc pas de report et limite les erreurs de saisie)
- **Liaison directe avec un GPS** : positionnement à 20 m prêt en moyenne
- **Saisie de l'ensemble des données dans une BD au format SIG** : gain de temps, pas de transformation de format de fichier, ni de report de l'information. Menu prédéfini : pas d'erreur d'orthographe dans les postes typologiques.
- **Possibilité de tracking** : enregistrement en continu de lignes, en progressant sur le terrain, soit en voiture soit à pied → **Permet l'identification de la limite des formations sur le terrain.**

Spatialisation des données à l'aide des outils nomade

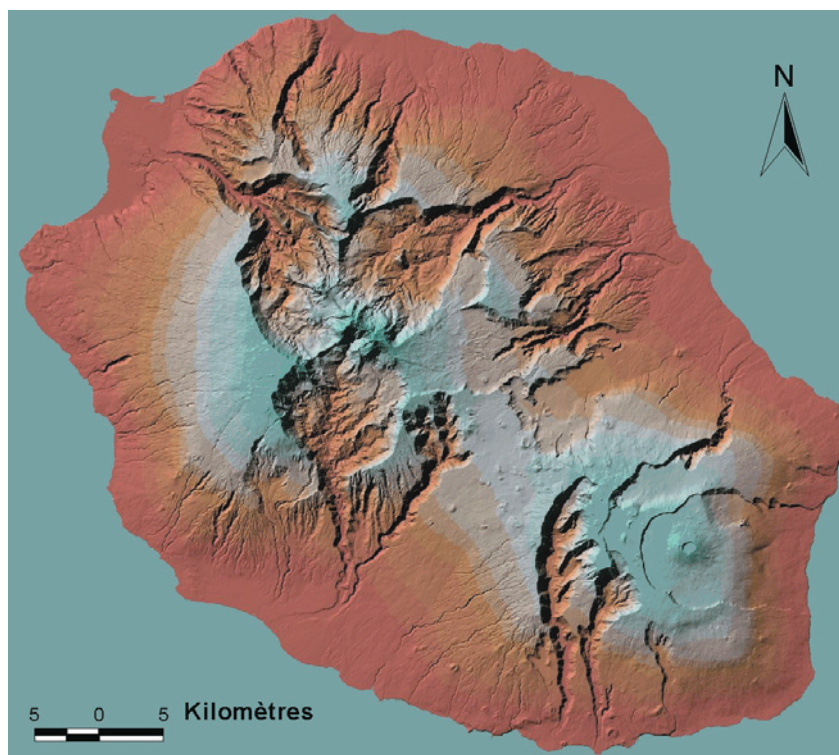


- **Vérification et validation d'hypothèses par la lecture simultanée des données spatiales qui vont servir à la photo-interprétation** (satellitaire ou aérienne). Atout pédagogique important par la possibilité de faire le lien entre l'approche spatiale et l'approche terrain en temps réel ; favorise la dis-

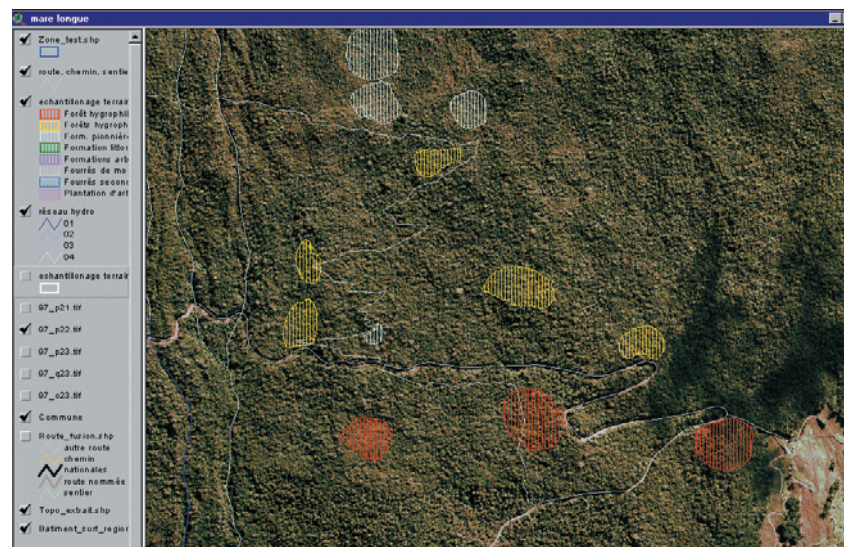
cussion au niveau du transfert d'échelle et des unités minimales visualisables.

- **Possibilité de validation de travaux de photo-interprétation par le retour sur le terrain** avec les limites cartographiées : corrections / amélioration et validation.

Vue du MNT ombré dérivé de la BD Alti de l'IGN



Exemple de signatures de différents postes typologiques et ortho-photoplan en fond d'écran



Spécificité du contexte réunionnais

Au-delà des atouts exposés ci-dessus, le contexte réunionnais imposait des contraintes originales.

La végétation très dense, le relief, l'absence de visibilité horizontale dans de nombreuses formations ou l'on accède par de petites pistes forestières sous couvert, rendent le repérage très difficile.

La quasi-inexistence de repère par le bâti ne facilite pas d'avantage le repérage. Il est donc parfois impossible de se positionner selon une précision inférieure au kilomètre, et ce même en ayant une très bonne connaissance du terrain. La liaison dynamique avec le Gps prend alors toute sa dimension.

Il est important de préciser également, que les équipes mettaient à profit les ortho-photoplan pour lire

le paysage autour d'eux, ainsi que les repères de la BD Topo : crête, cours d'eau, chemin. Ceci permettait en particulier de s'affranchir de la dégradation ponctuelle du signal GPS sous couvert forestier : le point GPS donne une première position, qui est analysée au regard de la qualité du signal GPS. Si le signal GPS est de médiocre qualité, l'équipe terrain se repositionne alors par une lecture approfondie de l'ortho-photoplan. La dernière étape consiste à entourer la zone étudiée sur l'écran de l'I-pack à l'aide du petit stylet.

Enfin le choix de l'ordinateur de poche pour cette phase test a porté sur le I-pack de Compaq, compte tenu de son faible encombrement, de la bonne qualité de son écran, lisible même en pleine luminosité, et de son relativement faible coût. A l'avenir, selon les moyens disponibles pour la suite du projet, il vau-

drait mieux s'orienter vers un outil, plus robuste et surtout étanche pour garantir la longévité du matériel sur une île qui détient le record mondial de pluviosité.

Mise en œuvre de méthodes opérationnelles

Préalable à la mise en œuvre

Le personnel impliqué dans cette opération, avait des compétences très variées (géographes, botanistes, forestiers, etc.). Nous avons donc souhaité démarrer la prise en main des outils nomade évoqués ci-dessus (arcpad, Gps et I-pack) à l'occasion d'une session de formation, organisée sur place au Conservatoire Botanique de St Leu.

Ceci a permis à toutes les équipes locales (CBNM, ONF, et faculté de Géographie) de se concerter sur les objectifs, de préciser la typologie souhaitée et surtout de bien comprendre les limites et atouts associés à chaque outil (pertinence de la position GPS, acquisition de données Géographiques, notion d'échelle de projection, signatures spectrales, phase d'apprentissage terrain, etc.).

A l'issue de ces 3 jours passés ensembles l'ensemble des participants commençait à bien maîtriser à la fois les outils (manipulation de l'interface d'arcpad pour la saisie, transfert de données du PDA au PC, connexion au GPS et projection à la volée) et les concepts associés.

Ce point est à notre avis essentiel, car même si les outils tendent à être de plus en plus simple à



Il est important de préciser également, que les équipes mettaient à profit les ortho-photoplan pour lire le paysage autour d'eux, ainsi que les repères de la BD Topo : crête, cours d'eau, chemin. Ceci permettait en particulier de s'affranchir de la dégradation ponctuelle du signal GPS sous couvert forestier : le point GPS donne une première position, qui est analysée au regard de la qualité du signal GPS. Si le signal GPS est de médiocre qualité, l'équipe terrain se repositionne alors par une lecture approfondie de l'ortho-photoplan. La dernière étape consiste à entourer la zone étudiée sur l'écran de l'I-pack à l'aide du petit stylet.

prendre en main, il est indispensable de s'assurer que tous les prospecteurs possèdent le recul méthodologique suffisant pour assurer une saisie de données terrain de bonne qualité.

Les grandes étapes

Le schéma ci-dessous résume les principales étapes qui aboutissent à une première cartographie des zones test.

La préparation des jeux de données pour le terrain se décompose comme suit :

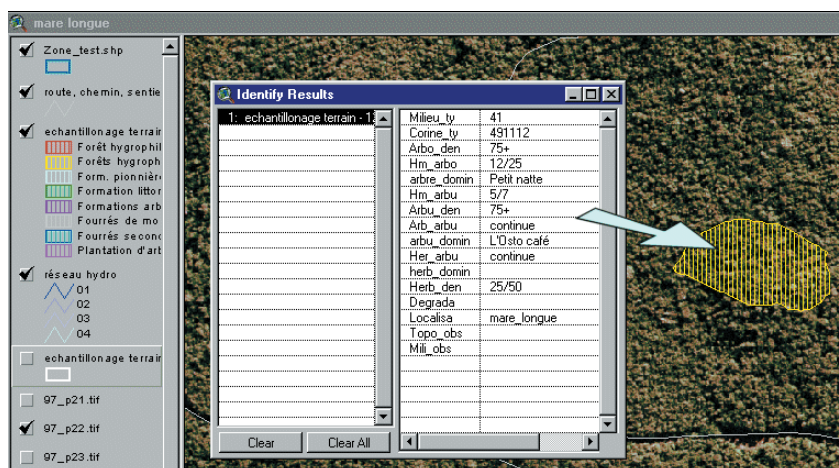
> Etape menée une seule fois :

- **Définition d'un dictionnaire de saisie** (23 champs décrivant la végétation et l'environnement) et mise en forme sous Arcpad
- **Saisi de fichiers de projection** : pour établir la conversion à la volée entre la donnée GPS et sa visualisation en projection (Gauss Laborde réunion) sur le I-pack

> Et avant chaque sortie :

- Extraction d'image sous forme de dalles, de la mosaïque d'ortho-photoplan

Zone d'échantillonnage terrain avec données descriptives



- Extraction des fichiers vecteurs de la BD topo
- Transfert sur le I-Pack depuis le PC
- Impression papier de la zone test.

Ces méthodes seront donc très certainement reconduites pour la poursuite du projet, à l'échelle de l'île cette fois. ●

Conclusion

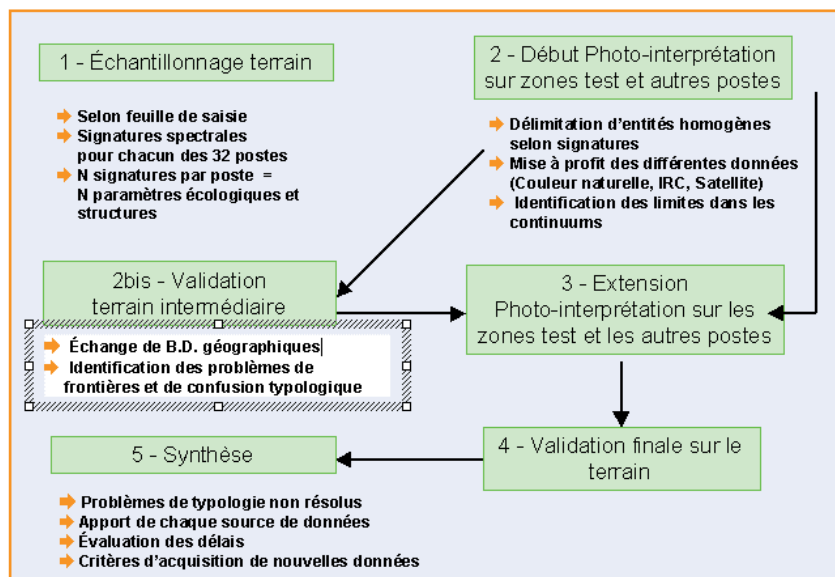
La récolte de données terrain par l'intermédiaire de ces méthodes numériques nomades a été appréciée par les équipes réunionnaises qui sont maintenant complètement autonomes.

Contact :

Hélène Durand
ALISÉ
340 Allée du Terral,
34430 ST Jean de Védas
E-mail : helene.durand@wanadoo.fr
Site : <http://pro.wanadoo.fr/alise>

Abstract :

A project of natural vegetation mapping have been recently developed on reunion island. Within that project we proposed some new field technology using GPS and nomad GIS. Those methods were tested successfully on selected sample areas. This paper present the different steps to collect the information on the field and analyse the advantages compare to traditional methods.



Même si les outils tendent à être de plus en plus simple à prendre en main, il est indispensable de s'assurer que tous les prospecteurs possèdent le recul méthodologique suffisant pour assurer une saisie de données terrain de bonne qualité.

Application à la cartographie d'un réseau

Benoît Legeard et Richard Forest

L'objectif de cette communication est de présenter un programme de "généralisation cartographique vectorielle", développé en amont d'une application de SIG existante, dédiée à la cartographie et la gestion d'un réseau. Ce programme crée automatiquement après généralisation des cartes lisibles de ce réseau, à une échelle quelconque comprise entre le 1/25 000 et le 1/1 000 000, à partir de données digitalisées et renseignées au 1/25 000. Les données traitées proviennent de l'application dédiée et y sont visualisées après le processus de généralisation, puis imprimées. Ce travail s'est appuyé dans un premier temps sur l'analyse des règles de saisie en vigueur chez le producteur des données cartographiques. Dans un deuxième temps, le développement (en C++) a nécessité la mise en place d'algorithmes complexes, avec comme contrainte majeure de ne jamais supprimer d'objets géographiques ni de données attributaires... Ce projet a été conduit et réalisé par Pacte Novation, en collaboration avec ESRI France.

Dans le domaine de la cartographie, et malgré l'évolution des logiciels de SIG, certaines tâches restent du domaine du sensoriel. La connaissance du spécialiste est toujours nécessaire pour apprécier la lisibilité d'une carte, ou pour écrire les règles permettant d'obtenir cette lisibilité. Pour des besoins spécifiques à petite échelle, la précision du positionnement des objets géographiques revêt parfois moins d'importance que le contenu de l'information qu'ils portent. La précision est sacrifiée dans une limite acceptable, au bénéfice de la lisibilité du document final. C'est dans ce but que sont utilisées les techniques de la généralisation cartographique : modifier les données géométriques et symboliques des éléments représentés à une échelle pour en améliorer la lisibilité cartographique à une échelle inférieure, en leur conservant une précision suffisante pour les positionner dans un système de coordonnées. Si, dans son sens habituel, la généralisation nécessite la suppression de données lorsqu'on réduit l'échelle, dans notre cas précis, aucune information ne doit disparaître d'une échelle à l'autre, et toute l'information doit rester lisible.

Moyennant cette contrainte majeure, nous présenterons ici un outil de généralisation automatique (développé en C++) dédié à la cartographie d'un réseau et réalisé en complément d'une application de SIG développée sous ARC/INFO 7.0 (ESRI).

Présentation du contexte

Un SIG existant permet de représenter et de stocker les informations géographiques d'un réseau. Celui-ci manipule les données graphiques et attributaires saisies au 1/25 000^e, génère des cartes papier du réseau à cette échelle et doit également éditer des cartes à des échelles plus petites.

Ce mode d'utilisation pose un problème de lisibilité des données saisies au 1/25 000^e et cartographiées à des échelles inférieures. En effet, on ne peut se contenter d'effectuer une réduction d'échelle sur les données de base très détaillées pour éditer une carte générale du réseau, au risque d'obtenir un document représentant des arcs tellement proches qu'ils sembleraient se superposer, masquant des points, coupés par des labels... bref, un document illisible et inexploitable.

Afin d'obtenir des échelles inférieures au 1/25 000^e, un gros travail de généralisation manuelle est effectué par les cartographes. Il consiste en la correction, à l'écran et au curseur, du tracé des arcs, des nœuds, des points et des labels, sans jamais supprimer aucun élément. Ces modifications sont apportées selon des règles strictes de sémiologie (consignées par écrit) propre à l'usage des utilisateurs des cartes, conduisant à déplacer ou écarter ces différents éléments les uns des autres.

Par exemple, le déplacement d'un nœud de 40 mm sur la carte initiale au 1/25 000^e induit une erreur de positionnement de 1 km, ce qui est beaucoup pour une carte à usage "terrain". Mais ce même déplacement de 1 km ne représente plus qu'un déplacement de 1 mm sur une carte papier au 1 000 000^e, ce qui, pour une carte destinée à une vision générale, est acceptable.

On obtient donc après traitement une couverture supplémentaire à l'échelle inférieure voulue, ce travail de généralisation manuelle, long et fastidieux devant être répété autant de fois qu'il y a d'échelles usuelles inférieures au



1/25 000^e pour pouvoir éditer des cartes lisibles. La saisie de données nouvelles au 1/25 000^e nécessite donc la mise à jour de toutes les cartes généralisées existantes...

Le projet "Généralisation"

Le projet aboutit à la création d'une application informatique, aujourd'hui opérationnelle, permettant de créer des cartes du réseau à différentes échelles (du 1/25 000^e au 1 000 000^e), à partir d'une Base de Données Géographique de référence (au 1/25 000^e), en ayant soin :

- de ne pas supprimer d'objets géographiques ;
- de conserver les valeurs attributaires attachées aux différents objets ;
- de conserver les rapports de distances entre les objets géographiques, malgré une perte de précision du fait du processus simplificateur de généralisation ;
- de permettre une bonne lisibilité de l'information aux petites échelles.

Techniquement, l'application est réalisée sous une approche orientée objet, donc avec une modélisation forte par composants. Elle est ensuite développée en C++ et alimentée en amont par un script d'Importation/Exportation des données géométriques et attributaires d'ARC/INFO.

Les règles cartographiques de généralisation

3.1 Extraction des règles

En amont de la conception et du développement, il est nécessaire de connaître les règles utiles aux cartographes lors de la généralisation manuelle. En effet ceux-ci, dans un souci d'homogénéité des cartes produites, ont identifié un certain nombre de règles à appliquer afin d'écarter ou rapprocher les éléments graphiques, en fonction de la symbolologie utilisée à telle ou telle échelle, et du contenu de l'information attributive de ces objets.

Les règles issues des documents techniques des cartographes sont mises en forme pour l'écriture des algorithmes. Elles sont nombreuses, mais la méthodologie reste la même pour tous les types d'objets : en fonc-

tion de la géométrie des objets, de variables attributaires des éléments géographiques et des symboles utilisés, les valeurs des paramètres de déplacement sont affectées.

Une règle simple, extraite après analyse du discours et des documents des cartographes est traduite ainsi en vue de la programmation :

```
If
(A).ARC# = (B).ARC#
AB <= E.0,0028
VARS (A) >= 150
VARS (B) >= 150
STAT(A) = " ACTIF "
STAT(B) = " INACTIF "
```

```
(Then)
P = 0,0028
Z = 1/3
```

Avec :

- (A).ARC# , (B).ARC# l'identifiant de deux arcs
- VARS, STAT des variables " métier " (fictives) de l'utilisateur du réseau extraite du discours
- AB une distance minimale à respecter entre deux objets graphiques
- P et Z deux coefficients permettant de calculer dans l'algorithme les nouvelles positions des objets à déplacer

3.2 Le traitement des objets graphiques

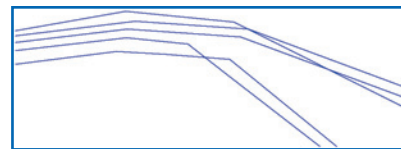
Les traitements les plus simples sont appliqués à l'écartement des nœuds et points (voir ci dessus). La taille papier des symboles étant constante d'une échelle à l'autre, l'écartement des nœuds est nécessaire pour que ces symboles ne se superposent pas. En fonction de la taille des symboles utilisés, de la distance d'éloignement entre les points et des valeurs attributaires des nœuds, ceux-ci sont

déplacés. Vingt règles de cette forme ont été identifiées pour le déplacement des nœuds les uns par rapport aux autres.

Il en existe de nombreuses autres pour d'autres types de traitements beaucoup plus complexes (nœuds/arcs, labels, zones denses...) et particulièrement en ce qui concerne l'écartement des arcs regroupés en faisceaux (**Figure 1**). Non seulement, certaines règles doivent s'appliquer au calcul des distances entre les arcs, mais on doit également conserver leur ordre afin de ne pas générer de croisements qui ne figureraient pas dans les données initiales (**figure 2**). Ceci implique que chaque arc connaisse son ordre dans le faisceau (de droite à gauche ou de haut en bas) en tout point de son tracé, qu'il détecte également ses voisins (afin d'en apprécier la proximité et de connaître leurs données attributaires), que le programme sache quels sont les arcs qui aboutissent au même nœud, etc.

Devant la complexité de la tâche, il faut reconstituer toute la topologie des données.

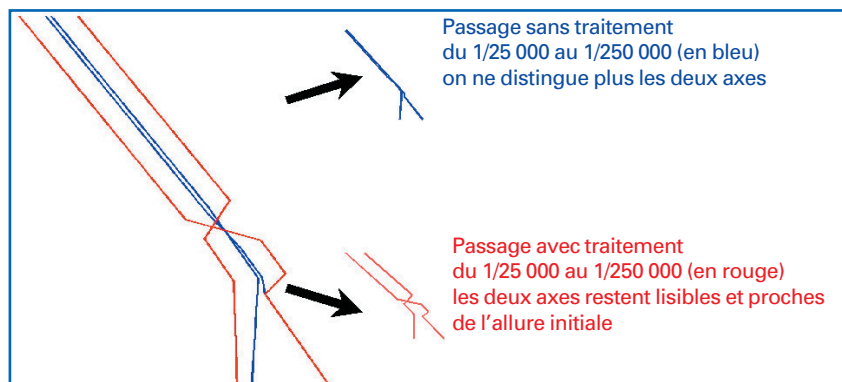
Figure 1 : exemple d'un faisceau d'arcs sur la carte initiale



3.3 Principe du traitement pour le placement des labels

L'objectif est de déplacer le label sur un emplacement voisin, en supprimant les conflits avec les autres éléments graphiques présents (**figure 3**).

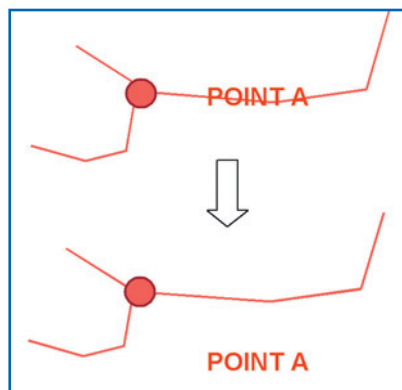
Figure 2 : exemple de traitement des arcs dans un faisceau



Les labels sont dotés d'une table des collisions pour connaître les problèmes de localisation rencontrés. On teste successivement les différentes positions possibles du (ou des) label(s) du point selon un ordre défini.

Le label ne doit jamais intercepter un arc, un nœud ou un point (objets immuables). Si la seule solution est d'intercepter un autre label, c'est le label antérieur qui doit trouver un autre emplacement en fonction de sa table de collisions. Si aucune place n'est disponible (uniquement des objets immuables), on place le label sur un emplacement par défaut, et l'opérateur intervient manuellement pour trouver un emplacement satisfaisant.

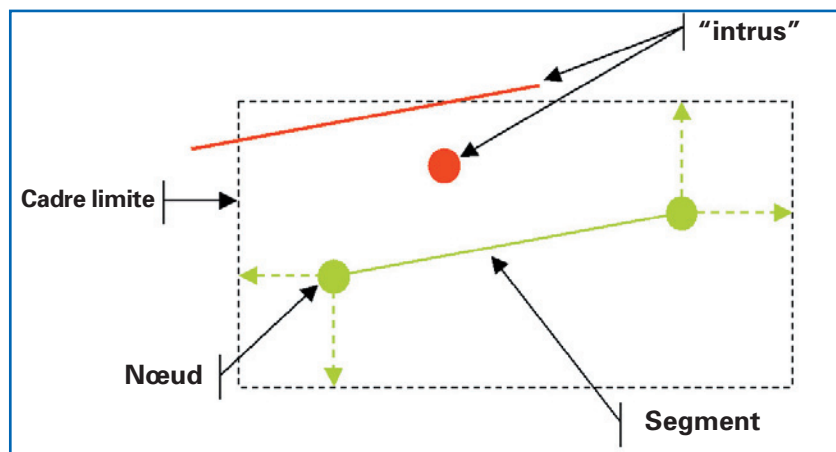
Figure 3 : déplacement automatique d'un label



Topologie

Grâce aux règles définies en 3.1 on sait désormais quels traitements appliquer aux objets pour qu'ils restent lisibles sur la carte généralisée. Il faut également identifier les objets à traiter et la manière de détecter leur proximité et les relations qu'ils entretiennent. Cette phase du projet a nécessité la mise en place d'une architecture orientée objet complexe, dans laquelle certaines classes sont dédiées spécifiquement aux traitements géométriques des objets et au renseignement de leurs environnements immédiats respectifs.

Figure 4 : principe d'un cadre limite autour d'un segment d'arc



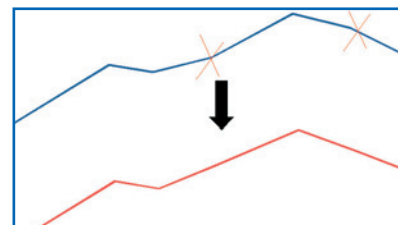
Le principe a été de créer un carré autour des points ou un rectangle autour des segments, appelé "cadre limite" permettant de détecter les objets situés au moins en partie à l'intérieur de ce périmètre (figure 4). Dans le cas où un objet en détecte un autre, il s'informe des caractéristiques de ce voisin (sa nature, ses références dans son arc s'il s'agit d'un segment, ses données attributaires, ses coordonnées géographiques, etc).

Ainsi renseigné sur cet "intrus", l'objet va pouvoir s'en éloigner, en fonction de ses propres caractéristiques et des règles cartographiques désormais programmées.

Les algorithmes

Après avoir identifié les règles et reconstitué la topologie de la carte, il convient d'écrire ou de modifier les différents algorithmes nécessaires au déplacement des objets graphiques. Certains algorithmes s'appliquent à l'écartement de plusieurs nœuds trop proches, d'autres à l'écartement des arcs (entre eux, avec des nœuds...), d'autre encore à la gestion des arcs et au placement des labels, etc. Un algorithme est également spécialement dédié au lissage des arcs (figure 5), qui supprime les vertices deve-

Figure 5 : exemple de lissage d'un arc



nus inutiles à certaines échelles moins précises. Il conserve l'allure générale de l'arc tout en allégeant son tracé.

Ces algorithmes sont fondés sur une série de calculs vectoriels et trigonométriques dans le plan. Ils s'appliquent successivement sur les objets dans un ordre défini, l'ensemble des traitements étant itératif pendant un nombre prédéfini de cycles, afin d'éviter que le programme ne boucle sur des situations impossibles à résoudre.

D'une manière générale, le traitement dans le programme s'organise comme suit :

1. Conversion des données ARC/INFO au format "texte"
2. Reconstitution de la géométrie de l'ensemble des données (liste des segments et des vertices composant les arcs, liste des nœuds de début, de fin des arcs...)



Après avoir identifié les règles et reconstitué la topologie de la carte, il convient d'écrire ou de modifier les différents algorithmes nécessaires au déplacement des objets graphiques. Certains algorithmes s'appliquent à l'écartement de plusieurs nœuds trop proches, d'autres à l'écartement des arcs (entre eux, avec des nœuds...), d'autre encore à la gestion des arcs et au placement des labels, etc.

3. Reconstitution de la topologie des éléments géographiques
4. Application de l'algorithme de lissage
5. Simplification des zones de convergence des arcs
6. Application de l'algorithme de traitement des relations de nœud à nœud
7. Application de l'algorithme de traitement des relations d'arc à nœud
8. Traitement des faisceaux d'arcs
9. Placement des labels
10. Conversion des données "texte" au format ARC/INFO

6 Résultats

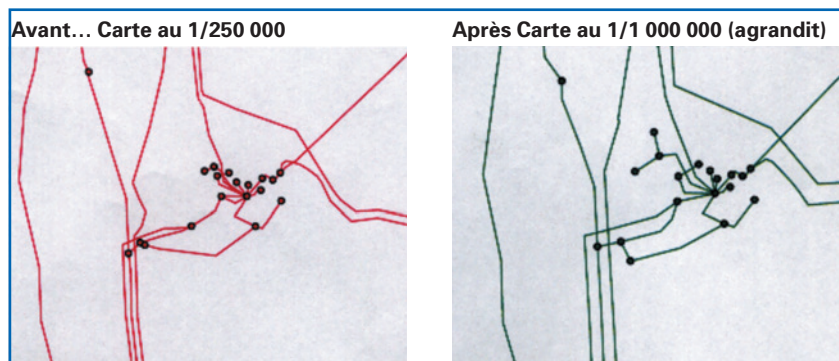
La figure 6 présente un exemple de traitement. On constate à droite que certains objets ont été déplacés de manière à rester visible à l'échelle réelle.

Le programme généralise de façon satisfaisant 80 % des objets géographiques (et approche les 90 % à certaines échelles). Les objets n'ayant pas pu être traités automatiquement de manière satisfaisante sont mis en évidence sur la carte afin de faciliter leur positionnement manuel.

Conclusion

Ce travail sur la généralisation d'un réseau vectoriel est l'illustration d'une démarche opérationnelle dans une problématique qui, par ailleurs, appartient toujours au domaine de la recherche en cartographie et sciences géographiques. Cet outil, par sa conception et sa programma-

Figure 6 : exemple de traitements du 1/250 000 au 1/1 000 000 (1/1 000 000 agrandi ici au 1/250 000 pour comparaison)



tion orientée objet est susceptible d'évoluer en fonction des besoins des utilisateurs. Les réflexions et développements menés ici pourront ainsi être repris pour le traitement d'autres réseaux vectoriels, dans des thématiques variées. ●

Orientations bibliographiques

BUTENFIELD BP, McMASTER R.P.: Map generalization : making rules for knowledge representation - Longman scientific & technical, New-York, 1991.

GDR 1041 CNRS "MISS-CASSINI", Axe B : multi-échelle, rapport PSIG 1995 (programme national sur les systèmes d'information géographique).

HIRSH S.A. : An algorithm for automatic name around point data - The American Cartographer, 9(1) : 5-17.

MULLER J-C., LAGRANGE J-P., WEIBEL R. : GIS & Generalization : methodological and practical issues. Taylor & Francis, Londres, 1995.

Contact :

PACTE NOVATION
2, Rue du Docteur Lombard
92441 Issy-Les-Moulineaux Cedex
Tel : 01 45 29 06 06 Fax : 01 45 29 25 00
Site : www.pactenovation.fr

Abstract

This paper deals with a program on "vectorial map generalization", developed upstream of an existing GIS application (for Arc/Info 7.0). It is dedicated to the mapping and management of a network. This program produces automatically readable maps of this network after a generalization process, for any scale from 1/25000 to 1/000000. It uses scanned and filed data at a 1/25000 scale. Maps are edited and printed from the dedicated application. This work relies first on the analysis of rules given by the geographic data producer. Secondly, programming (in C++) asks for complex algorithms, without deleting neither geographic objects nor associated data. This project was managed and achieved by Pacte Novation, in collaboration with ESRI France.

Modernisation du "Survey of Bangladesh"

Un projet de IGN France International

David Desbuisson - Ingénieur ENSAIS

Le "Survey Of Bangladesh" est l'administration Bangladaise en charge de la cartographie et de la géodésie. Dans le cadre d'un projet sur financement du gouvernement français, IGN France International a mis en place une chaîne de production de carte numérique au sein de l'institution Bangladaise. Ce projet avait pour principal but d'amener au Bangladesh des techniques modernes de cartographie et de transmettre un savoir-faire aux techniciens et cadres du "Survey Of Bangladesh". Centré sur la mise en place d'une base de données cartographique, ce projet fut également l'occasion de se lancer dans la production d'une nouvelle carte de la capitale Dhaka.

Petite histoire du Bangladesh

Le Bengale est une terre des extrêmes, dont l'histoire est modelée par des temps de splendeur culturelle mais aussi par les ravages de la guerre et la pauvreté.

Le Bangladesh s'étend de la baie du Bengale jusqu'au pied de la chaîne himalayenne. Sa position au nord-est du sub-continent indien, à la porte de la Birmanie et du sud est asiatique, lui a conféré un rôle clé dans les conflits politiques et religieux de la région.

Dans son histoire le Bengale fut d'abord une terre hindoue puis Bouddhiste. De nombreux empires et royaumes ont envahi et dominé le Bengale afin de contrôler cette position stratégique. Ainsi, la région fut longtemps l'une des plus prospère et luxuriante du sub-continent indien. C'est seulement au treizième siècle que l'islam arrive au Bengale avec la prise de pouvoir par la force du sultanat de Delhi. En 1576 c'est l'empire musulman Moghole qui prend le contrôle de la région ; ce dernier régna sur le Bengale ainsi que sur une bonne partie de l'Inde jusqu'à l'arrivée des anglais au XVII^e siècle.

C'est à partir du XV^e siècle que les européens commencèrent à avoir une influence économique sur la région par l'intermédiaire de commerçants portugais, hollandais, français et anglais. Le comptoir français de Chandernagor se situe dans la province indienne du West Bengal à 40 km au nord de Calcutta.

Les Anglais assirent leur pouvoir sur la région en 1757 avec la défaite du dernier nabab musulman à Plassey. Ils régnèrent alors pendant près de deux siècles sur l'ensemble du sub-continent indien. Durant cette période, le Bengale se développa principalement autour de Calcutta qui fut une

Carte du Bangladesh



capitale culturelle commerciale et politique importante pour l'empire britannique, mais le reste du Bengale, et en particulier Dhaka, fut un peu délaissé. En 1947, après une longue période de troubles politiques les Anglais décidèrent finalement de se retirer et de rendre à l'Inde son indépendance. Cependant, devant les fortes oppositions politiques et religieuses entre musulmans et hindous, le dernier représentant anglais, Lord Mountbatten, dut organiser en coopération avec les deux principaux leaders indiens, Muhammad Jinnah et Jawaharlal Nehru, la partition du sub-continent indien. L'immense territoire est alors divisé en deux pays : l'Inde et le Pakistan. Le Bengale oriental est alors une province du Pakistan tandis que le Bengale occidental appartient à l'Inde. Mais cette situation ne peut durer très long-

Extrait de la première carte du Bengale (1794)



temps. Dès 1952, une opposition autonomiste voit le jour au Bengale oriental ; les différents culturels et linguistiques sont trop importants et finalement en 1971, après une guerre de libération qui dura 9 mois, le Bangladesh acquiert son indépendance sous la direction de Cheikh Mujibur Rahman. Depuis lors le Bangladesh a connu d'importants problèmes économiques politiques et naturels. Cependant, la situation politique et économique du pays semble s'améliorer lentement. Le Bangladesh est actuellement une démocratie conduite par Cheikh Hassina, l'une des filles de Cheikh Mujibur Rahman.

Quelques chiffres enfin : Le Bangladesh compte actuellement environ 130 millions d'habitants pour une superficie de 144 000 km, ce qui en fait l'un des pays les plus densément peuplés de la planète.

Le "Survey Of Bangladesh"

Le "Survey Of Bangladesh" est l'institut national bangladais responsable de la géodésie et de la cartographie. Il débuta ses fonctions sous le nom de "Bengale Survey" le 1^{er} janvier 1767 sur décision des autorités anglaises. Le "Bengal Survey" fut en charge des activités cartographiques et géodésiques de la région jusqu'en 1947. Durant cette période, de très importants travaux cartographiques furent réalisés, une première carte de la région fut établie en 1794 et les travaux de relevé de la carte de base de la région au 1/50 000 furent également achevés. Lorsque

l'Inde et le Pakistan obtiennent leur indépendance, le "Survey of Pakistan" ouvrit une branche locale à Dhaka. Cette section devint enfin le "Survey of Bangladesh" quand la province acquit son indépendance en 1971.

Le "Survey of Bangladesh" est en charge de l'établissement et de la maintenance des réseaux géodésiques altimétrique et planimétrique, de la préparation des cartes de base au 1/50 000 ainsi que de leur mise à jour et de la préparation de cartes dérivées et autres plans de ville. Le "Survey of Bangladesh" se charge également de la définition des frontières internationales du Bangladesh. Le "Survey of Bangladesh" est par ailleurs responsable de la maintenance des couvertures aériennes du Bangladesh réalisées par diverses entreprises étrangères au fil des années (notamment par l'IGN en 1984). Le "Survey of Bangladesh" possède aussi une section d'imprimerie lui permettant d'imprimer l'ensemble de sa production.

La carte de base du Bangladesh au 1/50 000 a été établie durant le dernier quart du dix-huitième siècle. Cette première édition fut relevée sur le terrain par la méthode classique de levé à la planchette. La mise à jour fut longtemps réalisée de manière similaire jusqu'à ce que la photogrammétrie fasse son apparition au "Survey of Bangladesh". Des appareils analogiques et analytiques sont maintenant en usage ainsi qu'une première station de stéréo-restitution digitale. L'objectif du "Survey of Bangladesh" est d'arriver à une mise à jour des cartes tous les 5 à 7 ans suivant l'évolution des zones. Pour faci-

liter cette mise à jour ainsi que les procédés d'acquisition des nouvelles données, le "Survey of Bangladesh" a décidé de mettre en place une base de données cartographique digitale dotée d'un niveau de détail et d'une précision correspondant à l'échelle du 1/50 000.

Le Projet IGN FI

Le projet de modernisation du "Survey of Bangladesh" est un projet sur financement du gouvernement français. Le but principal du projet est de donner à l'institution bangladaise les moyens d'une production cartographique moderne. Le projet étant centré sur la production de cartes numériques, le cœur du projet est évidemment constitué par un Système d'Information Géographique (Géoconcept). Autour de ce SIG se trouve une section de photogrammétrie digitale et une section de traitement d'image.

Ce projet se décompose en trois phases :

- Formation des vingt membres de l'équipe bangladaise à l'ENSG. Cette formation portait essentiellement sur les techniques informatiques et la maîtrise des différents logiciels et machines du projet.
- Installation des équipements dans les locaux du "Survey of Bangladesh".
- Assistance technique de deux années sur place à Dhaka. C'est dans ce cadre que je commençais mon travail à Dhaka en tant que CSNE pour le compte de IGN France International.

L'ensemble des travaux de ce projet est effectué dans le système de projection BTM. Ce système basé sur la projection transverse Mercator fut introduit récemment et remplace avantageusement l'ancien système basé sur une projection polyconique et qui aboutissait à une projection différente pour chaque carte.

La section de photogrammétrie comprend une station de stéréo-restitution digitale (SocetSet de LH-Systems), un scanner haute résolution et un programme dédié à la réalisation d'orthophotos (Orthomat de l'IGN). La principale tâche de cette section est la production de données destinées à la mise à jour des cartes de base ainsi que la réalisation d'orthophotos.

La section de traitement d'images est quant à elle destinée au traitement de l'imagerie satellitaire, avec des programmes tel que ER-Mapper. Les données traitées sur le projet sont principalement des images issues de Spot Image. La section a pour objectif principal la production d'images pour la mise à jour de la carte de base. Ces

images sont calculées dans le système de projection BTM à partir d'images brutes transformées grâce à des points de contrôle produit par la section géodésie du SOB.

La section de traitement d'images est en outre équipée d'une flasheuse permettant la production de films quatre couleurs destinés aux imprimantes offset. Cette flasheuse fonctionne par impression laser de film argentique. Sur le projet, cela assure le lien avec la section d'imprimerie du "Survey Of Bangladesh" et l'impression des fichiers post-script issus notamment de Geoconcept.

La section de cartographie est le Cœur du projet, elle reçoit des informations sous diverses formes :

- Cartes de base scannées.
- Mise à jour issue des relevés classiques des équipes de terrain.
- Fichiers vecteurs issus des restitutions 3D de la section de photogrammétrie.
- Orthophotos issues de la section de photogrammétrie.
- Images satellites issues de la section de traitement d'image.

La section de cartographie comprend également une station de travail dédiée à la production cartographique de hautes qualités (Dry de Lorient). Cette station sera notamment utilisée pour la réalisation de la carte digitale de Dhaka.

Dhaka Guide Map, un projet dans le projet

La capitale Dhaka n'étant pas jusqu'alors dotée d'un plan complet et précis, l'idée est venue à l'équipe du projet d'utiliser à la fois une récente couverture photogramétrique de la ville ainsi que les équipements du projet pour réaliser une édition nouvelle de "Dhaka Guide Map".

L'idée ayant reçu l'accord du "Surveyor General", il nous restait à définir une méthode de travail tenant compte des impératifs du "Survey Of Bangladesh" et de nos moyens. Il fut donc décidé de réaliser dans un premier temps une mosaïque d'orthophotos pour l'ensemble de la capitale. Nous n'avions en effet pas la possibilité d'utiliser très longtemps la station de stéréo-restitution réservée à d'autres usages, par conséquent une stéréo-restitution de l'ensemble des éléments géométriques de la future carte ne nous était pas possible. Mais nous pouvions par contre placer la mosaïque d'orthophotos en fond d'écran dans le logiciel de cartographie Dry et digitaliser les éléments de la carte sur cette base. Cette restitution était certes plus délicate mais néanmoins d'une précision suffisante en considération de nos objectifs.

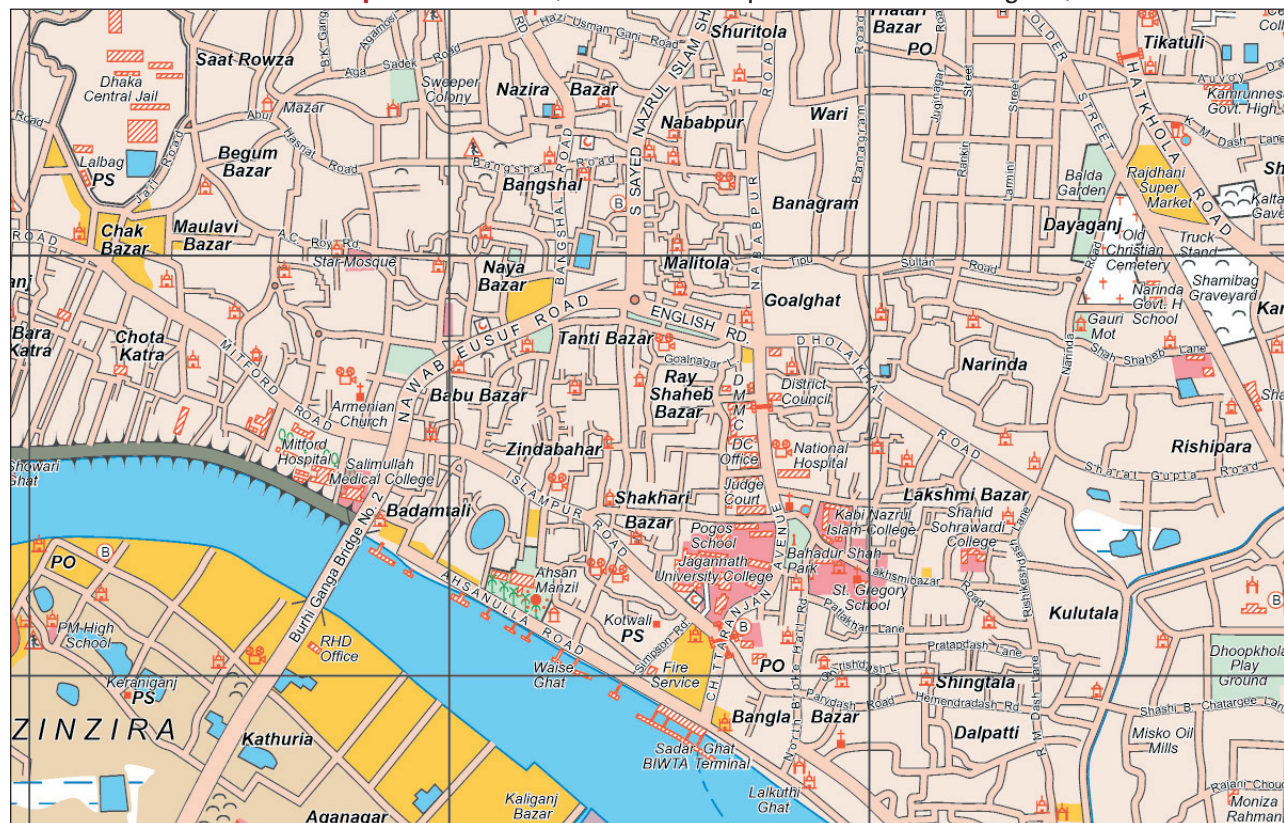


La carte de base du Bangladesh au 1/50 000 a été établie durant le dernier quart du dix-huitième siècle. Cette première édition fut relevée sur le terrain par la méthode classique de levé à la planchette. La mise à jour fut longtemps réalisée de manière similaire jusqu'à ce que la photogrammétrie fasse son apparition au "Survey of Bangladesh". Des appareils analogiques et analytiques sont maintenant en usage ainsi qu'une première station de stéréo-restitution digitale. L'objectif du "Survey of Bangladesh" est d'arriver à une mise à jour des cartes tous les 5 à 7 ans suivant l'évolution des zones.

Notre démarche de travail fut la suivante :

- Définition du périmètre de travail : nous voulions couvrir l'ensemble du territoire de l'agglomération ce qui représente un rectangle de 25 km par 15 km. Nous n'avons finalement pu éditer qu'une zone de 25 km par 11 km pour des raisons pratiques liées à l'impression de la carte, néanmoins la base de données fut constituée pour la zone initialement prévue.
- Choix de l'échelle de la carte : C'est l'échelle du 1/20 000 qui fut retenue car elle permettait d'avoir l'ensemble de la capitale sur une carte double face de 90 cm par 65 cm. Cette échelle correspondait par ailleurs à la première carte de Dhaka préparée et éditée en 1971.
- Regroupement des photographies aériennes nécessaires, ces photographies noir et blanc étant à l'échelle du 1/30 000 et datant de 1999-2000. L'ensemble du projet représentait 160 clichés car nous voulions par ailleurs réaliser l'orthophotos pour une zone plus large que la zone à cartographier.
- Division de l'ensemble des photographies en quatre blocs d'environ 40 images chacun, pour tenir compte de la lourdeur des calculs mais aussi de la place nécessaire sur les disques durs qui ne nous permettait pas de traiter l'ensemble du projet en un seul bloc.
- Définition des besoins en points de contrôle altimétriques et planimétriques,
- Evaluation des points existants utilisables pour le projet et visibles sur les photos aériennes,
- Repérage et signalisation des points de contrôle supplémentaires sur le terrain, création de croquis de repérage destinés à l'équipe de géodésie,
- Mesure GPS des points de contrôle par la section de géodésie, mesure différentielle basée sur le réseau de points géodésiques situés dans le périmètre de Dhaka.
- Scannage des photographies aériennes à l'aide du scanner DSW200 avec une résolution de 1m par pixel ce qui aboutit à des fichiers de l'ordre de 45MB. Cette résolution nous permettait d'obtenir des fichiers de tailles modestes tout en restant compatible avec les exigences de l'échelle fixée.
- Aéro-triangulation bloc par bloc avec SocetSet,
- Création d'un MNT pour chaque bloc avec SocetSet avec la difficulté majeure de travailler en zone urbanisée d'où un important travail de post-traitement du MNT généré en mode automatique par SocetSet,
- Génération d'orthophotos pour une photographie aérienne sur deux réduisant ainsi le recouvrement de 60 % à 20 %,
- Import et Mosaïque des orthophotos dans ER-Mapper avec équilibrage des histogrammes des images et définition de lignes polygonales pour le contour de chaque orthophoto de manière à atténuer autant que possible les limites entre orthophotos et afin d'obtenir une mosaïque homogène,
- Préparations de fichiers raster Tiff pour utilisation en fonds d'écran dans le logiciel de cartographie Dry,
- Définition de la charte graphique de la carte dans Dry en accord avec les conventions en vigueur au "Survey Of Bangladesh",
- Restitution des éléments géométriques principaux dans Dry. Les orthophotos ne nous permettait pas en effets d'extraire facilement toutes les informations nécessaires à la carte. Il nous manquait encore la toponymie mais également toutes les informations sur la nature des édifices, l'importance des diverses rues etc. De plus, pour

Extrait de "Dhaka Guide Map : Old Dhaka" (1 km entre chaque intersection de la grille)



certaines secteurs de Dhaka, les rues étant tellement étroites, il n'était pas possible de les identifier clairement sur nos orthophotos. Nous avons donc mis en place une vaste opération de reconnaissance sur le terrain

- Reconnaissance sur le terrain des éléments difficiles à reconnaître sur l'orthophoto et des informations toponymiques. Cette reconnaissance fut effectuée par 16 techniciens topographes du SOB auxquels je pris part avec plaisir pour quelques reconnaissances dans le vieux quartier de la ville.
- Enregistrement dans Dry des informations provenant des reconnaissances sur le terrain.
- Mise au point de l'index thématique de la carte,
- Mise en forme générale de la carte,
- Export des deux faces de la carte en format postscript,
- Impression des huit films de la carte sur la flasheuse Scitex,
- Impression de la carte sur presse offset de la section d'imprimerie du "Survey of Bangladesh".

Ce projet demanda près d'une année de travail entre la décision et la première carte sortie des presses, il aura permis à l'équipe du "Survey of Bangladesh" de bien prendre en mains l'ensemble des programmes et machines du projet. Au sein de l'équipe du projet, la satisfaction fut grande d'avoir pu réaliser ce projet de A à Z sans aucune assistance extérieure. Espérons maintenant que cette fameuse carte trouvera un public parmi la population de la capitale et éventuellement permettra à quelques touristes égarés de retrouver leur chemin.

Reconnaissance dans le vieux Dhaka

Le vieux Dhaka est un dédale de ruelles étroites et grouillantes de monde, bordées de vieilles bâtisses souvent en mauvais états et partiellement recouvertes d'une végétation luxuriante. C'est le quartier qui fait office d'entrepôt stock général pour la ville. Situé au sud de la capitale, au bord de la rivière Burhi Ganga, il comprend le port de marchandises et de passagers. Les fruits et légumes arrivent ici par bateaux entiers. Transportés ensuite par les rickshaws, les chars à bras ou sur la tête des hommes, toutes ces marchandises vont rejoindre les magasins des divers grossistes qui sont depuis toujours établis dans le vieux Dhaka. Ces derniers se regroupent en général par spécialités, ainsi on trouve dans le vieux Dhaka une rue spécialisée dans la banane, une autre dans les ustensiles en inox, un quartier pour les libraires, un autre pour les bicyclettes, et bien d'autre encore. L'une des artères principales du quartier est occupée par les fabricants de bijoux dont on peut apprécier la finesse du travail depuis la rue. Tout ceci forme un univers codifié et bien moins désorganisé qu'il n'y paraît au premier abord.



Ruelles colorées du vieux Dhaka

Dans ces ruelles, se croisent en flux constant des camions, des rickshaws, des chars à bras et des piétons dans une ambiance un brin électrique. Les saris des femmes, les décorations naïves des rickshaws et les affiches de cinéma ajoutent une dimension colorée à ce monde.

Quoi de plus déplacé dans cet univers qu'un jeune occidental,

carte et orthophotos dans une main, mini récepteur GPS dans l'autre demandant une autorisation pour monter sur les toits tenter de démêler le sac de noeuds des ruelles qui se croisent ou non ? Tout ceci mérite des explications qui se finissent toujours autour d'une tasse de tchaï (thé servit avec du lait et beaucoup de sucre). Ce fut un vrai plaisir pour moi que de participer à la reconnaissance de ce quartier haut en couleur et en tout cas une belle occasion pour moi d'en devenir un spécialiste, connaisseur de toutes les ruelles et de tous les raccourcis.

Conclusion

Le premier février 1999 c'est en jeune ingénieur fraîchement diplômé et jamais sorti d'Europe que je débarquais à l'aéroport de Dhaka. Le 25 mars 2001 quand je quittais le pays, j'avais un peu changé mon regard sur le monde. Je n'oublierai pas de si tôt ces deux années de travail et de vie à Dhaka, deux années pleines de voyages dans ce petit pays, pleines de rencontres... ●

Remerciements

Je remercie spécialement l'équipe du "Survey Of Bangladesh" qui m'a accueillie de manière particulièrement chaleureuse me permettant de partager avec eux bien plus qu'une simple expérience professionnelle. Je remercie également IGN France International et en particulier Patrice Geiger et François de Soyres pour leur confiance et leur amitié.

Contact

Pour tout renseignement supplémentaire sur cet article il est possible de contacter David Desbuisson par Email: ddesbuis@yahoo.com

Ce projet demanda près d'une année de travail entre la décision et la première carte sortie des presses, il aura permis à l'équipe du "Survey of Bangladesh" de bien prendre en mains l'ensemble des programmes et machines du projet. Au sein de l'équipe du projet, la satisfaction fut grande d'avoir pu réaliser ce projet de A à Z sans aucune assistance extérieure.

L'aérotriangulation : aussi pour l'ADS40 ?

François Gervais

L'imagerie générée par l'ADS40 de LH Systems, combinant exactitude géométrique et spectrale, ouvre de nouvelles perspectives dans l'analyse en imagerie numérique. Si le géoréférencement déterminé par GPS & IMU⁽¹⁾ est suffisant pour les applications de télédétection, l'aérotriangulation demeure néanmoins irremplaçable pour satisfaire aux exigences de précision et fiabilité de la photogrammétrie.

Introduction

Le capteur numérique aéroporté ADS40 (Airborne Digital Sensor) a été introduit au XIX^e congrès de l'ISPRS à Amsterdam en juillet 2000. Développé conjointement par le centre aérospatial allemand DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), l'ADS40 est le premier capteur d'imagerie numérique de performances, en termes de résolution et de surface couverte, similaire à celles des caméras aéroportées "film" et leur format 23 x 23 cm, leur distorsion minimale et leur résolution supérieure à 100 l/mm (lignes par millimètre). C'est une innovation majeure qui ouvre de nouvelles perspectives pour la photogrammétrie numérique. Les caméras numériques sont utilisées depuis longtemps dans les applications aériennes, mais le format de ces capteurs (2 000 par 3 000 pixels soit 6 mégapixels) limite sérieusement la surface couverte. Ce défaut doit être compensé par des lignes de vol rapprochées et un nombre très important d'images, ce qui en limite l'attrait pour la photogrammétrie. Ainsi, la combinaison des performances dignes de la photogrammétrie avec l'avantage évident de l'imagerie numérique, en termes de radiométrie et processus totalement numérique, représente un progrès significatif.

L'ADS40 représente une autre innovation majeure pour le monde de la photogrammétrie : le capteur est

conçu non seulement pour satisfaire les standards de surface couverte et de résolution, mais aussi pour acquérir de l'imagerie multispectrale et intéresser ainsi le marché de la télédétection. Cette fusion de la précision photogramétrique (géoréférencement) et le potentiel d'analyse et d'interprétation de l'image (classification) est nouvelle, déroutante et passionnante.

Simultanément, le concurrent principal de LH Systems, Z/I Imaging développe un autre type de capteur numérique. La caméra modulaire numérique DMC2001 (Digital Modular Camera) comprend une série de caméras numériques rectangulaires, combinée avec un post-traitement sophistiqué. L'ADS40 a été conçue de façon très différente et un bref résumé s'impose. L'effort est porté sur l'aspect géométrique, qui est plus concerné dans la suite de l'exposé que les aspects mécanique, électronique ou optique.

Conception

La base de la conception est le principe du scanner à trois lignes (three-line-scanner), défini par le Dr Otto Hoffman dans les années 70, où des barrettes (lignes de CCD) dans le plan focal saisissent l'imagerie en regardant en avant, à la verticale et en arrière de l'avion.

Il en résulte que chaque portion du sol est "photographiée" trois fois, ce qui est bien meilleure que les 50 %

résultants de la photographie aérienne classique (avec un recouvrement longitudinal de 60%)². Les barrettes panchromatiques de l'ADS40, d'une longueur de 78 mm, sont en fait constituées d'une paire de lignes de 12 000 pixels, une ligne de la paire étant décalée d'un demi-pixel (soit 3.25 µm) par rapport à l'autre ligne. En combinant judicieusement l'une avec l'autre, on obtient une résolution apparente de 3.25 µm ou 24 000 pixels [1]

Le plan focal contient également quatre barrettes simples de 12 000 pixels qui, combinées avec des filtres d'interférence (transmission-réflexion), acquièrent l'image dans les bandes rouge, verte, bleue (red-green-blue, RGB) et proche infrarouge (Near Infra-Red, NIR). Le "trichroïde", un séparateur de faisceau avec perte d'énergie minimale, garantit que le signal RGB d'une même surface de terrain est capté simultanément par les trois lignes, bien que disposées à 2.2 mm de distance les unes des autres (Fig.1)

Les performances des CCD et des filtres sont maximisées grâce à l'objectif télécentrique qui fait que les rayons interceptent le plan focal à angle droit quel que soit l'angle d'incidence au point nodal d'entrée. L'ADS40 s'installe dans la même plate-forme gyro-stabilisée que les caméras "film" RC30.

L'enregistrement des données et leur post-traitement est sensible-

Fig. 1 : Côte Adriatique, Italie. Images couleur, panchromatique nadir et fausse couleur. H=1500 m s/sol, GSD=15cm. Images totales 12K x 70K, 18.9 km² ; extraits 12K x 14 K, 3.8 km².



ment différent de la photogrammétrie classique, mais par la suite, les deux flux de données se rejoignent dans la station de travail numérique (logiciel de photogrammétrie numérique Socet Set®), et plus intéressant encore, lors de l'aérotriangulation (compensation par bloc avec ORIMA).

Procédé

La taille du pixel au sol (ou Ground Sample Distance, GSD) est conditionnée par l'altitude de vol, la vitesse par rapport au sol de l'avion, et la durée d'un cycle (intervalle entre deux saisies).

L'altitude détermine la "largeur" du pixel, alors que la "longueur" l'est par la vitesse de l'avion multipliée par la durée d'un cycle. Des paramètres de vol typiques sont : GSD pan / couleur = 15 / 30 cm ; vitesse = 70 m/s ; altitude = 3000 m s/sol ; durée de cycle = 4.2 / 2.1 ms ; largeur

couverte = 3.6 km. Les pixels peuvent être normalisés lors de la rectification. La durée d'un cycle (intervalle des mesures) est supérieure ou égale au temps d'intégration (durée des mesures). Le temps d'intégration minimum est de 1.25 ms (800 Hz). C'est le temps nécessaire pour transférer l'information collectée par les CCD. La vitesse de l'avion est donc une limitation du GSD.

Les données compressées, environ 100GB par heure d'acquisition, sont enregistrées durant le vol par un PC et une série de disques durs conditionnés (Mass Memory System, MMS). Seul le MMS, sorte de rack insérable, est acheminé au bureau pour le transfert des données. Le transfert par une interface SCSI est géré par un logiciel qui guide l'utilisateur à travers les différentes étapes de traitement des données [2].

Les données sont alors décompressées et organisées en imagerie (d'ordinaire en format TIFF), en méta-

données et en données de positionnement. Ces données de positionnement sont essentielles pour modéliser la position et l'altitude du senseur durant le vol et ainsi restituer le parallélisme des lignes scannées. La combinaison des mesures de positionnement (GPS) et inertielles (IMU⁽¹⁾), des grandeurs mesurées et des fréquences de mesure, permet de générer une trajectoire (position + attitude) précise et fiable avec une résolution de 200 Hz. Ce n'est pas surfait, car l'ADS40 acquiert l'image à une fréquence maximale de 800 Hz (1.25 ms).

La première étape du post-traitement est donc le calcul de cette trajectoire à l'aide du logiciel PosPAC d'Applanix Corporation. L'expérience montre qu'un soin tout particulier doit être apporté au calcul de la trajectoire par GPS (cinématique différentiel). Ceci est vrai pour la trajectographie par GPS uniquement destinée à l'aérotriangulation classique, et



Les performances des CCD et des filtres sont maximisées grâce à l'objectif télécentrique qui fait que les rayons interceptent le plan focal à angle droit quel que soit l'angle d'incidence au point nodal d'entrée. L'ADS40 s'installe dans la même plate-forme gyro-stabilisée que les caméras "film" RC30.

L'enregistrement des données et leur post-traitement est sensiblement différent de la photogrammétrie classique, mais par la suite, les deux flux de données se rejoignent dans la station de travail numérique (logiciel de photogrammétrie numérique Socet Set®), et plus intéressant encore, lors de l'aérotriangulation (compensation par bloc avec ORIMA).

l'est aussi pour la trajectographie par GPS et IMU⁽¹⁾. Cela restera délicat tant que le traitement des mesures GPS restera séparé du traitement des mesures inertielles. Les images sont ensuite calées sur la trajectographie grâce à un fichier de synchronisation. En ajoutant la calibration du plan focal (position de chaque pixel en x et y, comme pour des marques fiduciales), chaque pixel est alors géoréférencé. Il ne reste alors plus qu'à rectifier les images brutes et à redonner à chaque pixel sa position relative. Ceci peut s'effectuer dans un plan à une altitude moyenne (rectification rapide) ou en combinaison avec un modèle numérique de terrain grossier (rectification précise).

L'image observée dans Socet Set[®] n'est alors pas différente d'une photographie scannée traditionnelle. La radiométrie est supérieure : les données sont collectées en 16 bits de tons de gris. La dynamique effective est entre 11 et 13 bits. On peut également les réduire en 8 bits lors de la rectification. Les lignes RGB et NIR sont réduites en 8 bits et combinées en RGB ou NIR-RG en 24 bits.

L'autre différence, plus notable, est la dimension de l'image. Les images panchromatiques haute résolution ont une largeur de 24 000 pixels, les images multispectrales et panchromatiques standards de 12 000 pixels. L'image "film" équivalente à l'exemple numérique mentionné précédemment serait à l'échelle 1:10 000 et scannée à 12.5 µm. La surface couverte est alors de 2.3 x 2.3 km pour une altitude de 1500 m et un objectif de 15 cm. En résolution standard, avec un même GSD, la largeur cou-

verte est de 1.8 km pour une altitude de 1500 m.

La similarité en terme de largeur couverte est évidente. La longueur de l'image par contre est pratiquement illimitée ! Durant nos campagnes de vol au printemps 2001, la ligne la plus longue était de 132 000 pixels à un GSD de 15 cm, soit 19.8 km, pour un temps de vol de 5'30" à une vitesse de 115 km.

Simultanément trois images panchromatiques avec des angles de vue différents sont enregistrées, puis géoréférencées individuellement (Fig. 2).

Elles peuvent donc être visualisées directement en mode stéréoscopique. La qualité de cette vue stéréo est suffisante pour certaines applications, dans Socet Set[®] jusqu'à un niveau de images 4:1 environ. Au-delà, la parallaxe résiduelle est gênante. Pour les applications nécessitant la précision maximale atteignable (environ 0.7 x GSD), l'aérotriangulation s'impose.

Principes de la triangulation

Les buts essentiels de la triangulation sont [3] & [4] :

la calibration :

- détermination du désalignement des axes de l'IMU⁽¹⁾ par rapport aux axes du capteur
- l'auto-calibration
- distance principale
- point principal d'autocollimation
- distorsion de la lentille
- position des lignes de CCD

fiabilité

- redondance additionnelle grâce aux points de liaison
- contrôle indépendant des données GPS et IMU⁽¹⁾
- ajustement optimal avec le terrain grâce au point d'ajustage
- introduction de paramètres pour compenser les différences de datum entre le GPS aéroporté et les points d'amer au sol
- réduction du coût de l'ADS40
- utilisation d'IMU⁽¹⁾ moins performants et moins coûteux

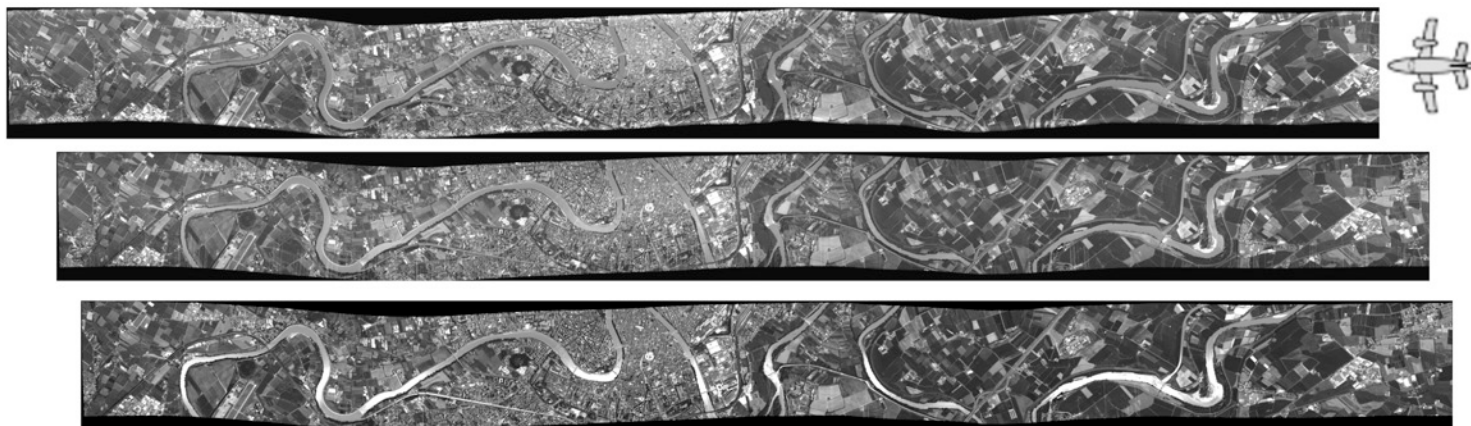
Compte tenu de la géométrie particulière des images générées par l'ADS40, le logiciel d'aérotriangulation classique ORIMA, bien connu et apprécié, a été adapté au nouveau modèle de capteur.

La préparation d'un bloc est très similaire à celle d'un bloc traditionnel : importation des fichiers "support", importation des points de contrôle, définition de la distribution des points de liaison, mesure automatique des points de liaison et mesure semi-automatique des points d'amer, compensation par bloc avec la méthode des moindres carrés, écriture des fichiers "support" et de calibration compensés.

Mais qu'ajuste-t-on au fait, puisqu'il n'y a plus ni centre de projection, ni orientation externe en tant que tels ?

De par son mode d'acquisition, l'image forme un tout très homogène, puisque dès sa création, il s'agit d'une entité continue. On peut donc prétendre qu'il n'y a pas de changement brusque ou de discontinuité. Par contre, sur une durée et une distance telles qu'énoncées précédem-

Fig. 2 : Verone, Italie. Vues panchromatiques avant, nadir et arrière. H=1500 m s/sol, GSD=15cm, 12K x 132K, 35.6 km².



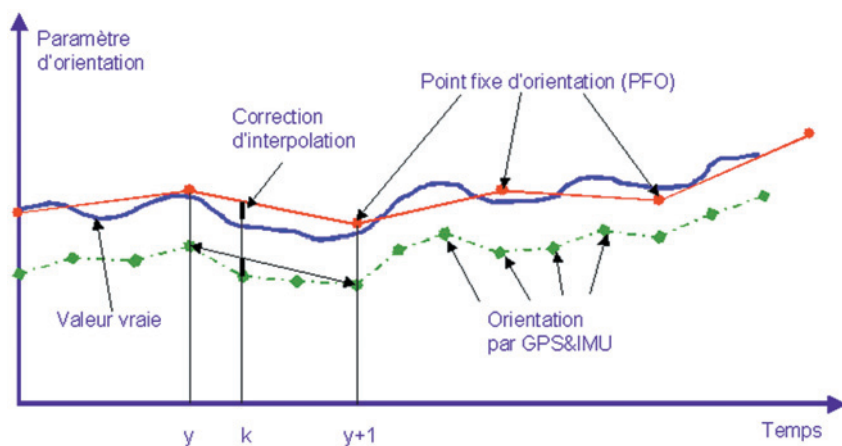
De par son mode d'acquisition, l'image forme un tout très homogène, puisque dès sa création, il s'agit d'une entité continue. On peut donc prétendre qu'il n'y a pas de changement brusque ou de discontinuité. Par contre, sur une durée et une distance telles qu'énoncées précédemment, on peut s'attendre à des modifications lentes, des dérives et, évidemment, des biais systématiques. Rappelons que l'imagerie est saisie à 800 Hz, les mesures inertielles à 200 Hz et les mesures GPS à 2 Hz. L'idée est donc d'avoir une mesure "indépendante" chapeautant le tout (Fig. 3).

ment, on peut s'attendre à des modifications lentes, des dérives et, évidemment, des biais systématiques. Rappelons que l'imagerie est saisie à 800 Hz, les mesures inertielles à 200 Hz et les mesures GPS à 2 Hz. L'idée est donc d'avoir une mesure "indépendante" chapeautant le tout (Fig. 3).

Cette information est idéalement fournie par la triangulation aérienne. A l'importation des images, des points fixes d'orientation (PFO) sont générés à intervalle régulier tout au long de la trajectoire. L'intervalle est dépendant de plusieurs paramètres, dont les caractéristiques de l'IMU⁽¹⁾ et la distance entre la vue nadir et arrière (2400 pixels). La dépendance par rapport à l'IMU⁽¹⁾ se comprend aisément quand on sait la tendance à dériver de ce type de capteur. La dépendance vis-à-vis de la distance entre la vue nadir et arrière est plus spécifique.

On a dit précédemment que chaque élément de surface de terrain est saisi trois fois par les lignes panchromatiques. Contrairement aux caméras "film", les angles de vue sont fixes

Fig. 3 : Procédé d'ajustement des paramètres d'orientation
Image : 800 Hz IMU(1) : 200 Hz GPS : 2 Hz Triangulation : 0.2 Hz



pour la composante longitudinale, soit 0° pour la vue nadir, 14° pour la vue arrière et 28° pour la vue avant. La vision stéréoscopique s'effectue donc pour n'importe quel point sous un angle de 14° (nadir - arrière), 28° (avant - nadir) ou 42° (avant - arrière), en fonction de la texture et la topographie. La composante latérale varie entre 0° et 32° (Fig. 4).

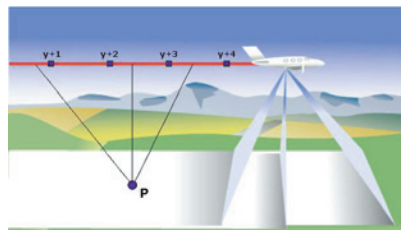
Dans le cas de la triangulation, chaque point de liaison est donc

mesuré selon ces trois angles. L'origine des faisceaux incidents n'est pas le centre de projection x et le centre de projection x+1 comme dans l'imagerie classique. L'origine du faisceau avant est située entre le point fixe d'orientation y et celui y+1. L'origine du faisceau nadir est située idéalement entre le PFO y+2 et y+3, et celle du faisceau arrière entre le PFO y+3 et y+4 (la base avant est deux fois plus longue que la base arrière).

Fig. 4 : Shinjuka, Tokyo, Japon. Images panchromatiques arrière, nadir et avant. H=2000 m s/sol, GSD=20cm. Images totales 12K x 53K, 25.4 km² ; extraits 1120 x 1320, 5.9 ha



Fig. 5 : Mise à contribution de cinq points fixes d'orientation (PFO) par la mesure d'un seul point de liaison



Ainsi, avec un seul point de liaison, on fait participer cinq PFO successifs (Fig. 5).

Il ne reste alors plus qu'à mesurer un nombre suffisant de points de liaison. A cet effet, une distribution de point adaptée au format semi-variable des images est générée. La dimension y est bien définie (12 000 pixels) et des points sont placés en haut, au milieu et en bas de l'image ; la dimension x est variable et la distribution est simplement répétée, de manière que 2 x 3 points se situent entre deux PFO contigus. Cette distribution est calquée sur celle de von Gruber. Il est ensuite possible de densifier la distribution par des agglomérats de points ("cluster"), un plus grand nombre de lignes, etc.

Résultats

L'expérience accumulée au printemps 2001 durant les campagnes de vol en Suisse, au Japon et en Italie, a montré que la précision finale de l'ajustement se situait entre 1/3 et 2/3 de GSD (sigma zéro, σ_0). Ceci correspond aux résidus observés pour les points d'amer. Les valeurs pour l'altimétrie sont environ deux fois plus élevées que ces valeurs, concernant la planimétrie. Compte tenu du géoréférencement préexistant (post traitement du GPS & IMU⁽¹⁾), les lignes transversales ne sont pas nécessaires sauf si une auto-calibration fiable est envisagée. Plus intéressant encore, les points d'amer ("ground control point") ne sont nécessaires que si un ajustement du datum du GPS aéroporté est envisagé. Sinon, l'introduction des points de liaison suffit à éliminer totalement la paralaxe résiduelle. C'est cependant une configuration peu recommandable et un minimum de points de contrôle ("check point") devrait être mesuré

afin de contrôler la qualité du géoréférencement déterminé par GPS.

Etant donné la structure symétrique et répétitive des points de liaisons, il est aisé d'isoler et d'inspecter les points qui n'ont pas pu être corrélés complètement. Toutes les fonctions graphiques et numériques d'ORIMA sont disponibles et permettent une analyse rationnelle du bloc triangulé. L'environnement étant très similaire, la phase d'apprentissage est extrêmement courte.

Perspectives

Une fois la géométrie des vues panchromatiques ajustée, une multitude de combinaisons spectrales et géométriques est possible. Par exemple, les images haute résolution panchromatiques peuvent être "colorisées" à l'aide de l'image RGB en résolution standard. Il faut rappeler que les images RGB se combinent aisément, les composantes individuelles étant issues du même faisceau incident. La majorité des applications requièrent une rectification précise et donc un modèle numérique de terrain. Celui-ci est assez aisément dérivé des images panchromatiques après rectification rapide.

Le potentiel de combinaison n'est pas encore totalement exploité, voire imaginé, mais ces nouvelles perspectives sont passionnantes et prometteuses. ●

(1) IMU : centrale inertielle

(2) Les 50% de triple recouvrement résultant de 60% de recouvrement longitudinal est un problème géométrique intéressant. Chacun peut s'en faire sa propre démonstration...

Cette article est extrait de la revue suisse "Mensuration photogrammétrie génie rural" d'octobre 2001.

Références

- [1] Sandau, R. et al., (2000) - Design principles of the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 33, Part B1, Amsterdam, Netherlands, pp. 258-265.
- [2] Tempelmann, U. et al. (2000) - Photogrammetric software for the LH

Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 33, Part B2, Amsterdam, Netherlands, pp. 552-559.

[3] Hinsken, L. et al. (2001) - Triangulation of LH Systems' ADS40 using ORIMA, ASPRS, St. Louis, USA, 2001

[4] Greening, W.J.T. et al. (2001) - The proper use of directly observed orientation data : aerial triangulation is not obsolete, ASPRS, St. Louis, USA, 2001

Contact

François Gervais
LH Systems
Airborne Systems,
Asia-Pacific Region
c/o Leica Geosystems
(S'pore) Pte Ltd
8 Pandan Crescent #02-04,
UE Tech Park, Singapore 128466
Site : gervais@lh-systems.com

Abstract:

The imagery generated by the LH Systems ADS40, combining geometric and spectral precision, opens new perspectives in digital image analysis. Even though the georeference determined by GPS & IMU is good enough for remote sensing applications, aerial triangulation remains irreplaceable to satisfy to accuracy and reliability requirements of photogrammetry.

Kurzfassung :

Die mit dem ADS40 Sensor generierten digitalen Luftbilder, in welchen geometrische und spektrale Genauigkeit kombiniert sind, eröffnen der digitalen Bildanalyse neue Perspektiven. Obwohl die Geo-Referenzierung mittels GPS & IMU für die meisten Fernerkundungs-Aufgaben ausreichend ist, können die photogrammetrischen Forderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit nur mit Luftbild-Triangulation erfüllt werden.

Intergeo[®], manif du domaine topo

L'édition 2001 d'Intergeo[®], 85^e du nom, s'est tenue du 19 au 21 septembre et avait pour cadre le parc des expositions de Cologne, idéalement situé en bordure du Rhin et à quelques centaines de mètres à peine du centre-ville dominé par l'imposante stature de sa célèbre cathédrale.

Cette manifestation itinérante se déroule chaque année dans une grande ville différente (Cologne fait suite à Hanovre et à Berlin et précède Francfort) et comporte en fait deux volets principaux : d'une part le congrès, au cours duquel plus d'une cinquantaine de conférences furent présentées à plus de 1 500 participants par des intervenants bien sûr allemands mais également néerlandais ou belges (les pays du Benelux sont dorénavant partenaires du congrès, renforçant ainsi son européanisation), et d'autre part l'exposition qui ne cesse de gagner en ampleur année après année. Jugez-en plutôt : 416 exposants se sont partagé une surface de près de 22 000 m² qu'environ 15 000 visiteurs (objectif avoué des organisateurs) ont inlassablement arpentée trois jours durant. Pour mémoire, l'édition 2000 avait attiré 14 500 visiteurs et ses 350 stands occupaient une superficie totale de 15 500 m², valeurs que l'on pensait ne plus pouvoir dépasser...

Bien sûr, la plupart des visiteurs sont allemands, mais les étrangers sont également venus en nombre, profitant pour certains de la proximité des frontières (la Belgique et les Pays-Bas sont tout proches, la France à peine plus loin), alors que d'autres n'hésitent pas à parcourir de longues distances pour être fidèles à ce rendez-vous annuel (comme les collègues autrichiens ou suisses rencontrés).

Patent chez les visiteurs, le poids du pays organisateur l'est tout autant chez les exposants, du moins à première vue. Si l'on se donne la peine de consulter le catalogue des exposants, on constate qu'environ 85 % de

ces derniers sont allemands ou enregistrés comme tels. En effet, si le caractère strictement national des nombreux stands d'associations professionnelles, d'écoles d'ingénieurs, d'universités techniques ou d'admi-



estation phare graphique

Olivier Reis

nistrations qui profitent de cette occasion pour assurer leur promotion est manifeste, la situation est un peu différente en ce qui concerne les entreprises, qui constituent la grande majorité des exposants : les très nombreuses sociétés transnationales présentes (les principaux constructeurs d'instruments ou fournisseurs de SIG du marché) le sont d'abord au travers de leur filiale allemande mais mobilisent généralement leur personnel

bien au-delà des frontières pour cette manifestation de grande ampleur. Certaines couplent d'ailleurs le salon avec un séminaire rassemblant des collaborateurs issus de toutes les représentations européennes, d'autres renforcent les équipes commerciales de leur distributeur en Allemagne. Intergeo® est par conséquent un lieu de rencontre qui dépasse largement le cadre national et près de 15 % des stands (soit une bonne soixantaine) sont occupés par des firmes étrangères, en provenance de 18 pays dont la France.

Les tendances du marché

En raison de son ampleur et de son internationalisation, Intergeo® est devenu une vitrine de la profession et traduit son évolution : signe des temps, le sous-titre de "salon de la géodésie, de la photogrammétrie et de la cartographie" s'est transformé en "salon de la géodésie, de l'information géographique et de la gestion du territoire", reflétant ainsi le poids sans cesse grandissant de la géomatique et des systèmes d'information géographique (SIG) (70 % des stands contre 30% pour le domaine géodésique) que confirment les organisateurs dans leur communiqué de presse : "La gestion de réseaux de distribution, d'installations industrielles, de flottes de véhicules ou l'aménagement du territoire ne sont plus envisageables aujourd'hui sans les SIG". Mais ils s'empressent d'ajouter qu' "une évolution vers la combinaison d'instruments topographiques simples d'emploi avec un accès direct au SIG semble se dessiner, de

Intergeo® 2001 en bref

Organisateur : DVW (deutscher Verein für Vermessungswesen, association allemande de topographie), forte de près de 10 000 membres

Secteurs d'activité : géodésie (instrumentation, équipements annexes, matériel divers), géomatique (logiciels, acquisition, traitement et exploitation de données), reprographie, photogrammétrie, cartographie

Nombre d'exposants : 416 dont 160 présents sur des stands de partenaires

19 pays représentés au total (Allemagne, Autriche, Suisse, Belgique, Pays-Bas, Royaume-Uni, Italie, Espagne, Grèce, Finlande, France, Pologne, Hongrie, Slovaquie, République tchèque, Russie, Etats-Unis, Canada, Inde)

Entreprises françaises : DAP Technologies, Diaprint, GeoConcept, Geolmage, Istar, Mensi, Thalès Navigation (la société Faynot était présente sur le stand de son distributeur en Allemagne)

Surface d'exposition : environ 22 000 m²

Nombre de visiteurs : 15 000 attendus



sorte que cette technologie n'est pas réservée aux seuls topographes". La profession s'ouvre ainsi à de nouveaux horizons et à de nouveaux marchés et des notions telles que le géomarketing ou la gestion des personnels (workforce management) s'imposent peu à peu, alliant les possibilités offertes par les SIG à la localisation par GPS et aux moyens de communication actuels.

Les services basés sur la position (location based services, LBS) constituent une autre tendance du marché. Il s'agit de services accessibles grâce aux téléphones mobiles et dotés d'une référence spatiale. Les systèmes actuellement proposés permettent à l'utilisateur de déterminer un itinéraire ou d'obtenir des informations sur son environnement immédiat dans une ville qui lui est étrangère, via son téléphone mobile ou son assistant numérique personnel.

Il serait impossible d'énumérer ici toutes les nouveautés présentées à Intergeo® (le service de presse tenait un "catalogue des nouveautés" du salon à disposition des visiteurs intéressés, lequel se caractérisait par son impressionnante épaisseur !) qui ne se cantonnent d'ailleurs pas au seul secteur de la géomatique mais concernent tous les domaines dont le nombre ne cesse du reste d'augmenter, du fait de l'in-

La profession s'ouvre ainsi à de nouveaux horizons et à de nouveaux marchés et des notions telles que le géomarketing ou la gestion des personnels (workforce management) s'imposent peu à peu, alliant les possibilités offertes par les SIG à la localisation par GPS et aux moyens de communication actuels.

terconnexion croissante des diverses possibilités techniques disponibles (cette année, le catalogue de l'exposition comportait plus de 600 pages et le sommaire des différents groupes de produits occupait près de 6 pages à lui seul, dont une bonne moitié pour la géomatique sous toutes ses formes !).

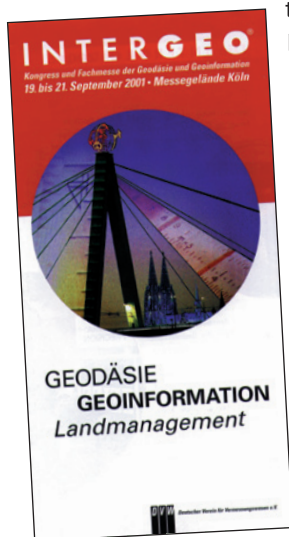
Intergeo® est par conséquent l'occasion pour les entreprises de démontrer leur savoir-faire à un large public de professionnels et permet aux visiteurs de suivre (ou tout du moins d'essayer, vu l'ampleur de la tâche) l'évolution du domaine topographique, conçu ici dans son acception la plus large.

Et les Français dans tout cela ?

Si elle reste encore discrète, la présence française s'est néanmoins renforcée par rapport à l'année précédente puisque 7 entreprises (DAP Technologies, Diaprint, GeoConcept, Geolmage, Istar, Mensi, Thalès Navigation) disposaient cette année de leur propre stand sur le salon (contre 4 l'année passée à Berlin), certaines y étant représentées pour la première fois, alors que d'autres (l'en-

treprise Faynot par exemple) étaient présentes sur le stand de leur distributeur pour l'Allemagne. Les réactions d'abord mitigées pour certaines, sont devenues plus positives au fil des jours et le bilan des exposants français semblait globalement satisfaisant au terme de la manifestation. Toutes les sociétés n'avaient pas choisi la même approche (certaines comme Mensi ont par exemple présenté un nouveau système en avant-première alors que d'autres désiraient faire connaître hors de nos frontières leur gamme de produits existants) et n'occupent pas les mêmes segments du marché, ce qui peut sans doute expliquer les divergences de points de vue enregistrées au moins initialement. De plus, et ce facteur n'est pas à négliger dans un tel contexte, leurs emplacements bénéficiaient d'une situation plus ou moins favorable, drainant un flux de visiteurs plus ou moins important vers elles. Il semble toutefois qu'il faille s'inscrire dans la durée (c'est-à-dire sur plusieurs années) pour recueillir les fruits de sa présence à cette manifestation et peut-être disposer d'un relais efficace sur place (par exemple un distributeur) pour s'ouvrir les portes du marché allemand (voire international), comme l'ont laissé entendre certains, forts d'une expérience de plusieurs années.

Quoi qu'il en soit et sans vouloir assurer la promotion de cette manifestation, ce qui n'est pas notre rôle, force est de constater que le salon Intergeo® constitue désormais un rendez-vous annuel incontournable pour l'ensemble de la profession et certainement un tremplin pour les entreprises désireuses d'intensifier leur présence au plan allemand sinon international. Alors, si telle est votre intention, **notez dès à présent que la prochaine édition se tiendra du 16 au 18 octobre 2002, à Francfort, soit à moins de 200 kilomètres de la frontière française.** ●





FORUM TECHNIQUE GPS

**Utilisations du Réseau GPS Permanent (RGP),
Applications scientifiques et réalisation de canevas locaux
qui s'est déroulé le mercredi 26 septembre 2001,
(ENSG, Marne la Vallée)**

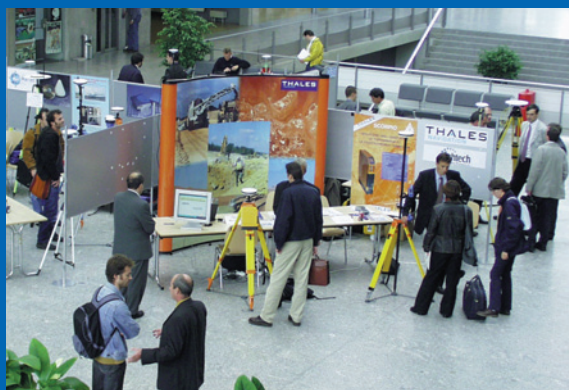


*Serge Botton organisateur
de la manifestation
présentant Marie-Noëlle
Bouin du LAREG*

*Isabelle Cellier de la Société
Topophot*



les auditeurs dans l'amphithéâtre Cauchy de l'ENPC



les stands des exposants dans le hall de l'école

LES CONFÉRENCES

État actuel et perspectives de développement du Réseau GPS Permanent (RGP) et d'un service national de navigation précise (DGPS) Thierry Duquesnoy, IGN/SGN

Détermination d'un point de référence d'un canevas local à partir des données de stations GPS permanentes Bertrand Boullard, Toposat

Redétermination du canevas de base de la ville de Marseille en utilisant, comme point de référence, la station RGP installée dans cette ville Isabelle Cellier, Topophot

Deux exemples d'utilisations scientifiques des réseaux GPS permanents en France. Tectonique et surcharge océanique Marie-Noëlle Bouin, Jean-mathieu Nocquet ENSG / LAREG

Le prochain Forum GPS aura lieu fin septembre 2002

Chillida : Homm

Il est des lieux où l'Art contemporain s'épanouit largement. A Paris, dominant la place de la Concorde, la Galerie nationale du Jeu de Paume est de ceux là. L'ancien musée du Jeu de Paume parisien n'ayant plus vocation à accueillir des collections permanentes est, depuis quelques dizaines d'années, dédié à des expositions temporaires d'Art moderne et d'Art contemporain, au rythme de quatre ou cinq par an.



© ADAGP, Paris 2001

C'est ainsi que durant l'été 2001 la galerie a présenté la première rétrospective en France des œuvres d'Eduardo Chillida, né en 1924 à Saint-Sébastien en pays basque espagnol où il vit et travaille encore aujourd'hui.

L'édifice, à l'origine à vocation sportive, date dans sa première version de Napoléon III. Le jeu de paume passant de mode la salle devient en 1922 un véritable musée dont les collections rejoindront, de l'autre côté de la Seine, le musée d'Orsay à la création de ce dernier.

Il ne faut donc pas le confondre avec le bâtiment du château de Versailles où, le 20 juin 1789, les membres de l'Assemblée nationale ont fait le fameux serment dit "du Jeu de Paume", sous la présidence de l'astronome Bailly, de ne jamais se séparer avant qu'une constitution soit approuvée.

Entre autres, la sculpture "Hommage à Kandinsky" attire l'attention car le créateur y a gravé la géométrie dans l'albâtre. Il s'agit d'un parallélépipède régulier (21 cm x 36,5 cm x 33,5 cm) fendu sur les trois quarts du champ et dont une face est percée de trois ouvertures à section carrée qui traversent la demi-épaisseur de façon oblique. Le jeu des ombres et des lumières est modifié par le caractère diaphane de la pierre et, partant, la rigueur des arêtes paraît s'adoucir. La pièce a été installée horizontalement alors que la photo la montre verticale.

age à Kandinsky

Jean-Pierre Maillard

Mais revenons au XXI^e siècle et à l'exposition Chillida. Parmi d'autres, la sculpture "Hommage à Kandinsky" attire l'attention car le créateur y a gravé la géométrie dans l'albâtre. Il s'agit d'un parallélépipède régulier (21 cm x 36,5 cm x 33,5 cm) fendu sur les trois quarts du champ et dont une face est percée de trois ouvertures à section carrée qui traversent la demi-épaisseur de façon oblique. Le jeu des ombres et des lumières est modifié par le caractère diaphane de la pierre et, partant, la rigueur des arêtes paraît s'adoucir. La pièce a été installée horizontalement alors que la photo la montre verticale.

L'art abstrait donne ainsi au conservateur et au collectionneur une liberté de présentation. Dans le cas présent, les ouvertures sont fenêtres ou puits selon que la pièce est posée droite ou couchée. Ce constat apporte la première référence à Kandinsky l'un des principaux acteurs du Bauhaus et, particulièrement, le professeur qui y aura enseigné le plus longtemps. En 1920, à Weimar, "La Maison de la construction" promouvait l'architecture de l'avenir où peinture, sculpture et architecture ne feraient qu'un. On retrouve dans la pièce de Chillida les lignes dépouillées de cette école du design.

De même et bien que l'albâtre ne mette pas en valeur la théorie des couleurs développée par Kandinsky, le travail de Chillida rappelle l'importance grandissante des formes pures dans l'œuvre de l'artiste russe formalisée par son cours "Point. Ligne. Plan".

Pour sa part, Claude Esteban dans un élan plus lyrique considère qu'"Hommage à Kandinsky", par le concert étonnant de ses proportions a la justesse d'une figure géométrique : mais il est cependant bien autre chose... Le sculpteur qui

paraissait travailler seulement l'espace compact de la matière est en fait l'ordonnateur de trois règnes, à la fois mesurables et sans mesures. Nous touchons aux confins, difficilement appréhendables, du rationnel... Une géométrie seulement visuelle ne discernerait là, sans doute, que des orthogonalités de plans, des correspondances de surface, des parallélismes ; mais une géométrie que je nommerai imaginative, une arithmétique cosmique et musicale telle que la pratiquaient les pythagoriciens ou leurs disciples médiévaux, Raymond Lulle, Jacob Boehme, si familiers à Chillida, sauraient y reconnaître, souveraines de l'albâtre, les grandes lois de l'Univers."

Eduardo Chillida a d'abord étudié l'architecture et le dessin à Madrid. Son idée de l'architecture l'écarte de l'enseignement classique et le conduit à la sculpture qu'il pratique dans sa ville natale. En 1948, il monte à Paris, découvre au Louvre l'art grec archaïque et celui des Cyclades, rencontre Brancusi, travaille à son art et se fait reconnaître par le Musée d'Art moderne de la Ville de Paris.

En 1951, il revient au Pays basque pour retrouver, dit-il, une lumière noire émise par l'Atlantique qu'il voit plutôt obscur. Voisin de l'atelier d'un forgeron il est fasciné par le travail du fer et abandonne le ciseau et le maillet. Le sculpteur devient forgeron. Il aime le net et le découpé, avec des écarts qui créent la distance, provoquant, selon lui, des silences et des vides et où la forme peut vibrer.

En 1958 l'artiste reçoit le grand prix de sculpture de la biennale de Venise couronnant une œuvre essentiellement abstraite, chargée d'énergie et de poésie. Cette récompense est la première de beaucoup d'autres glorieuses tout au long de sa carrière.

Dans les années 1960 il élargit son chantier de matériaux durs en travaillant le bois, puis l'albâtre (Hommage à Kandinsky a été réalisé en 1965) et plus récemment la terre chamottée. Mieux que personne, Chillida explique son travail : "Avant de commencer une œuvre, j'ai une idée en tête et une question. Je dois réunir ces interrogations et ces concepts en demandant à la matière de m'aider. Je travaille avec la matière, mais la matière travaille aussi avec moi : il y a alors une communication entre le matériau dans lequel je travaille et les choses que je veux faire, et je demande à la matière si elle est d'accord parce qu'elle a aussi son mot à dire ; elle va ainsi parler et je vais l'aider, mais je ne veux pas être grossier et décider tout seul. Elle doit dire aussi quelque chose." Ce faisant, il contredit quelque peu Gaston Bachelard qui voit en lui un grand lutteur de matière dure.

Plus récemment, Chillida réalise également des dessins à l'encre sur papier qui représentent des mains ou sont utilisés à des assemblages pour constituer des sculptures en papier dénommées "Gravitations".

Les œuvres de Chillida figurent dans de nombreuses collections publiques et privées et ses sculptures monumentales ont souvent trouvé place en milieu urbain (Madrid, Barcelone, Bilbao, Saint-Sébastien, Dallas, Atlanta, Toulouse, Paris, Grenoble, Berlin, Düsseldorf...) assurant ainsi sa célébrité. Nul doute qu'il appartient aux grands sculpteurs espagnols contemporains et qu'au delà des ses échanges avec les matériaux, il dialogue toujours avec la géométrie.

N.B. : "Hommage à Kandinsky" collection particulière de la courtesy Galerie Jean Krugier, Distheim et Cie à Genève. ●

Bilan à mi-parcours

Constantin Bah Géomètre-Expert

fondateur de l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes de Cotonou.



Chers collègues, chers confrères et amis,

Ceci est un bref message qu'il me plait de délivrer à l'occasion de notre colloque de l'AFT et souligner par là l'intérêt toujours grandissant que je porte aux idéaux qui l'animent.

Je suis heureux de pouvoir annoncer, à l'occasion de cette réunion annuelle, que grâce aux actions déterminantes des collègues et amis de l'AFT, l'objectif que je visais en me livrant à la lutte pour la formation des jeunes africains en Topographie Moderne, cet objectif là, dis-je, a été amorcé et largement en voie d'atteindre les visées essentielles.

Permettez-moi de rappeler ici que nos pays dits en développement manquent toujours de cadres compétents et en nombre suffisant, ceci est aussi vrai pour les cadres Topographes Modernes.

J'ai entrepris depuis 1996 de former des Techniciens Supérieurs en Topographie Moderne et les résultats quelques peu satisfaisants obtenus en 1998, 1999 et 2000 m'ont amené à chercher des solutions à de nouveaux problèmes. En effet, ces jeunes titulaires du Brevet d'Etudes de Techniciens Supérieurs Géomètres-Topographes éprouvent beaucoup de difficultés sur le terrain où ils n'ont pas toujours des répondants modernes ; ceci appelle une autre initiative pour l'ouverture d'un Cycle Ingénieur Géomètre-Topographe.

Et c'est à la faveur d'un colloque auquel j'ai pris part en octobre 1997 que j'ai rencontré fortuitement l'ancien Directeur de l'Ecole Supérieure des Géomètres Topographes du Mans, Monsieur Michel Kasser, et avec sa permission j'ai entamé des échanges avec lui pour solliciter son concours en vue de m'aider à ouvrir ce Cycle d'Ingénieur.

Le nouveau Directeur de l'ESGT, Monsieur Claude Rousselot, avec qui j'ai repris les échanges, m'a permis d'atteindre l'objectif visé. Entre temps, j'avais aussi fortuitement fait la connaissance de l'équipe de l'Association "Géomètres Sans Frontières" venue au Bénin aider quelques jeunes employés de Cabinets locaux trop isolés pour participer à des formations classiques.

Ensemble nous avons œuvré pour l'ouverture à Cotonou (Bénin) d'une Ecole Supérieure d'Ingénieurs Géomètres-Topographes à vocation sous régionale dans le cadre de la francophonie. En cette occasion solennelle, je voudrais remercier très chaleureusement les uns et les autres et souhaiter qu'il vous plaise de porter un regard sur ce qui est en cours et autant que possible que vous puissiez apporter votre contribution positive au renforcement de cette Ecole et à son développement harmonieux dans la sphère fran-



M. BAH félicité pour son action par le sénateur-maire de Saint-Amand et le vice-président du Conseil Général

cophone d'Afrique. Nous voulons faire appel à toutes les bonnes volontés pour soutenir l'initiative en cours au Bénin pour le succès de la formation de Géomètres-Topographes dans le cadre de la francophonie en Afrique.

Le 5 octobre le premier étudiant français, qui a séjourné plusieurs mois au Bénin dans le cadre de son Travail de Fin d'Etudes, où il a donné des cours de topographie et hydraulique agricole à ses jeunes homologues africains de la première promotion, a soutenu son mémoire qui avait pour objet les travaux réalisés en Afrique et obtenu son diplôme (mention bien) ; nos élèves et professeurs africains se réjouissent de cette double réussite, pour les étudiants français qui terminent ainsi leurs études d'une part et pour l'école de Cotonou qui est engagée sur une voie prometteuse d'autre part. ●

La pérennité de cette jeune école sera assurée, en accord avec le Ministère Béninois en charge des enseignements supérieurs, par le transfert en 2002 de la totalité de l'école et matériels associés au groupe des écoles rattachées à l'université catholique d'Afrique de l'Ouest, seule entité capable d'assurer localement un suivi des formations techniques ; les pouvoirs publics béninois ont en effet décidés de concentrer les efforts universitaires sur les formations de base (maths, physique, droit, etc...) et de laisser à l'initiative privée tout ce qui concerne des formations spécifiques pointues avec l'espoir de pouvoir concrétiser matériellement ce soutien en fonction des possibilités économiques.

(source : entretiens des représentants de G.S.F. avec le responsable des enseignements supérieurs du Bénin, sous couvert du Ministre de l'Education).

La carte au 1/10 000^e

Claude Million

Il est remarquable que la topographie militaire n'ait pas encore fait l'objet de souvenirs. Il fallait remédier à cette carence, voici un épisode qui n'est pas souvent évoqué et pour cause.

Les cloches de l'église se mirent à battre furieusement : Le tocsin ! ce qui signifiait, en clair, dans ce petit village du Morvan en Août 1944, pour les quelques "réfractaires" qui en bénéficiaient, que les permissions étaient annulées, et qu'il fallait rejoindre dare-dare nos groupes respectifs.

Il faut préciser que les permissions étaient très fréquentes, lorsqu'il n'y avait plus rien à manger, on mettait en permission tous ceux qui avaient de la famille dans le coin et qui pouvaient, sans danger, et au pied levé, accepter une bouche supplémentaire à leur table, on était même incités à inviter un ou des amis... On a souvent épilogué, sans fin, sur le manque d'armes des maquisards. On oublie que la réalité était toute autre : On manquait surtout de ravitaillement ! Nourrir, en permanence, des groupes d'hommes affamés par une vie assez, et même très physique, au grand air, dans un pays pillé de toutes ses ressources, sans que cela soit connu des autorités en général hostiles, tenait duproditge et de la solution de la quadrature du cercle

Dans la période passée où tout était hostile, il fallait se transformer en bandits de grand chemin, voler, piller, de préférence les entrepôts officiels, les mairies pour les cartes d'alimentation, souvent avec la complicité de ceux qui étaient chargés de leur surveillance, mais surtout on pillait les "collaborateurs". En dehors du fait que ces "cibles" devenaient rares avec le temps, ces opérations étaient loin d'être sans risques ; certains ont risqué leur vie pour des paquets de tabac, qu'ils ont fumé dans du papier journal ! Mais en Août 44, le pays

pouvant être considéré comme libéré et de tels actes auraient été passibles, plus tard, de la cour d'Assises. Ce n'était pas le moindre paradoxe de cette époque charnière, le pays n'était plus occupé, en ce sens que les garnisons fixes avaient déguerpi en une nuit ; mais il était parcouru par des armées organisées, en repli ou en déroute, armées jusqu'aux dents, et très nerveuses.

Pour son malheur, cette région, on ne le sut que bien plus tard, fut le point de jonction des armées alliées venant de l'Ouest par la vallée de la Seine, et du Sud par la vallée du Rhône. Dans cette pince, les groupes qui n'avaient pas échappé à cet encerclement tout virtuel tournaient en rond en cherchant une faille ; mais tout ce dispositif qu'on a grandement simplifié pour le rendre clair, étaient loin d'être évident sur place : On voyait passer alternativement, à quelques jours ou à quelques heures d'intervalle, des Américains venant de l'Ouest, des Français venant du Sud, inexplicablement déguisés en Américains, des Allemands se repliant du Nord, qui croisaient ceux qui se repliaient... du Sud.

Fabrice Del Dongo serait passé pour un statège claivoyant !

Fabrice del Dongo à Waterloo serait passé pour un stratège clairvoyant à côté des chefs des maquis qui essayaient de comprendre, pour savoir... que faire, car, pour couronner le tout, des avions survolaient la campagne en rase-mottes, et tiraient sur tout ce qui bougeait et ne montrait pas patte blanche, en l'occurrence un drapeau U S sur le capot ou



cousu dans le dos ; on avait simplement oublié que ces emblèmes compliqués étaient loin d'être familiers aux Français d'alors, et ne traînaient ni dans les mairies, ni dans les patronages, comme maintenant. Ceux qui étaient restés en 1940 avaient eu toutes les chances d'être transformés en chemises, en mouchoirs, ou même en sacs de patates...

Il était donc convenu que dès qu'une troupe hostile apparaîtrait dans la région, il ferait le rappel des "permisionnaires". Le curé, prévenu par téléphone, devait faire sonner le tocsin, moyen idiot car peu discret, mais à défaut de téléphone chez les particuliers, très rare et souvent coupé dans ces circonstances, à l'époque on ne faisait pas mieux. Dans le village, il y avait en tout deux postes, un à la mairie, l'autre au bistrot - bureau de tabac - épicerie - agence postale, ils avaient été coupés à chaque prise du village par les maquisards, chaque fois qu'ils dévalisaient le tabac, soit au moins dix fois en deux ans.

Donc, au petit matin, à la fraîche, on partait en direction du point où on avait laissé le groupe qui, prévenu le premier, avait déjà fait mouvement. Belle pagaïe en perspective ! En chemin, on croisait d'autres "permisionnaires" et on échangeait des informations qui étaient, dans la majorité des cas, des bobards infantiles, l'époque était celle des canards

les plus imbéciles qui soient, il fallut des années et des tonnes de témoignages pour rétablir la vérité.

Notre position de départ, assez élevée, nous avait permis de voir une colonne de fumée qui pouvait provenir des premiers accrochages, lesquels se soldaient, généralement, par l'incendie de quelques véhicules Allemands, surpris par une embuscade. Donc, cap sur la fumée, d'autres groupes nous imitaient.

Au détour d'un bois de quelques centaines d'hectares, on était accueillis par des tirs nourris qui nous avaient dissuadés d'aller plus loin. On décidait de profiter de l'arrêt de notre progression pour s'enquérir de la position de notre groupe afin de le rejoindre, nous étions très peu armés, et presque sans munitions, mais non sans ravitaillement. L'un de nous, dépêché à cette fin, revint avec un responsable qui nous dit de ne pas bouger tant que nous ne serions pas attaqués. Curieuse mission que de tenir une position, sans armes, avec instruction de se replier et de rendre compte à quelqu'un qui serait alors forcément introuvable, car se déplaçant sans cesse ! L'usage des postes de radio portatifs dits "walkie-talkie" était réservé aux troupes régulières et encore !

Nous devons faire une petite digression sur notre armement. Il est exact qu'il était très rare au début, les armées du monde entier n'aimaient pas armer les civils, la suite leur a donné raison, voir les exactions des milices patriotiques, puis quand tout fut fini, et le gangstérisme de l'après-guerre alimenté par les armes parachutées. En revanche, on était abondamment pourvus en moyens de sabotage : explosifs, détonateurs, mises à feu diverses et variées, nos fournisseurs avaient oublié ce que, selon eux, nous devions trouver sur place : les piles et les fils. C'est pourquoi celui qui fut, peu de temps après, mon meilleur ami risqua sa vie pour ramasser vingt mètres de fils !

Une fois la période des sabotages terminée, des armes furent distribuées aux groupes de confiance, en général à des groupes apolitiques. Les autres groupes, plus politiques, isolaient les "permissionnaires" armés et les dépouillaient de leurs armes. C'est pourquoi les "permissionnaires" n'étaient armés que d'armes de récupération ou de calibres exotiques les rendant sans intérêt une fois vidées.

Bref, on restait là avec nos pétoires, et on attendait, non sans scruter le bois d'où étaient partis les coups de feu. On entendait bien au loin les claquements des armes, mais cela ne nous était pas destiné.

Le lendemain un groupe puissamment armé vint nous rejoindre et nous donna l'ordre de rejoindre les nôtres. Quelques jours plus tard, approvisionnés et normalement armés on attendait l'ordre d'attaquer le bois où les Allemands s'étaient retranchés. On ne saurait raconter le pugilat qui s'ensuivit, on n'a conservé que des souvenirs fragmentaires de bruits, de trouille, de soif, et de chaleur étouffante, et surtout de l'envie d'être ailleurs. Sous les coups des mortiers et des mitrailleuses lourdes dont les balles, grosses comme le pouce, vous coupent un arbre et traversent un mur, des grenades, il y avait des blessés, peut-être des morts, le manque de munitions calma le jeu. Lorsqu'on regarde un film où se déroulent des combats, on n'a pas la moindre idée de ce que cela représente comme poids de munitions, dans la réalité c'est insensé. On était chargés comme des baudets et on finissait par en venir à bout, et même très vite.

Il y avait deux à trois assauts de ce type auxquels j'évitais le plus possible de participer, devant la résistance rencontrée, il fallut bien faire le point.

C'est à ce moment qu'on intervint personnellement, traînant, malgré mes dix-huit ans, une réputation

d'homme des cartes, réputation parfaitement exagérée, mon Prelim' datait de Juillet 1943, obtenu après deux mois de "Turquetil" et cinq mois de "Dorian", on me demanda de faire le tour des groupes afin de préciser leurs positions sur la carte d'Etat-major et, si possible, les positions des Allemands leur faisant face. La tâche n'était pas facile car, en rampant, on n'y voyait goutte, et se repérer à quatre pattes sur une carte au 1/80 000^e n'était pas de la topographie facile, d'autant que cette fichue carte ne comportait en tout et pour tout que le symbole des bois sur toute la surface qui m'intéressait, en outre, dans les bois, pour se repérer à plat ventre... Je vous laisse deviner. On revint avec des positions tellement vaseuses qu'elles ne pouvaient satisfaire le commandement. Mon étoile d'homme des cartes pâlisait de jour en jour. On en vint à examiner sérieusement mes références qui furent jugées bien minces. Pour moi, personnellement, j'en arrivais à la conclusion que la topographie est un art qui se pratique debout.

La topographie est un art qui se pratique debout !

Avant de rejoindre ceux qui se cachaient dans les bois, je "travaillais" dans la Subdivision de Ponts et Chaussées de la ville voisine à un poste de faisant fonction d'adjoint technique (grade authentique, ça ne s'invente pas), mais surtout j'étais là en qualité de réfractaire au STO, le vrai adjoint technique avait "disparu", comme je devais disparaître un peu plus tard, lorsque les "autorités" se mirent à s'intéresser à mon âge et à mon identité. J'avais remarqué qu'il existait une carte très détaillée du coin qui avaient été établie pour définir les contraintes et les servitudes des zones d'envol d'un petit aérodrome de secours, dont l'aménagement avait seulement consisté à

C'est à ce moment qu'on intervint personnellement, traînant, malgré mes dix-huit ans, une réputation d'homme des cartes, réputation parfaitement exagérée, mon Prelim' datait de Juillet 1943, obtenu après deux mois de "Turquetil" et cinq mois de "Dorian", on me demanda de faire le tour des groupes afin de préciser leurs positions sur la carte d'Etat-major et, si possible, les positions des Allemands leur faisant face.



J'avais remarqué qu'il existait une carte très détaillée du coin qui avaient été établie pour définir les contraintes et les servitudes des zones d'envol d'un petit aérodrome de secours, dont l'aménagement avait seulement consisté à faucher quelques prairies et à abattre quelques arbres. Cette carte au 1/10 000^e était, pour l'époque, un petit bijou ; par chance elle englobait le fameux bois dans lequel les Allemands s'étaient retranchés.

faucher quelques prairies et à abattre quelques arbres. Cette carte au 1/10 000^e était, pour l'époque, un petit bijou ; par chance elle englobait le fameux bois dans lequel les Allemands s'étaient retranchés. J'allais en emprunter un exemplaire au Subdivisionnaire et pour repérer nos positions je m'écartais de la zone où on risquait d'être atteint, et demandais aux groupes de tirer des fusées et, par intersections, je déterminais, de très loin, leurs positions à quelques mètres près. L'opération n'avait provoqué aucune réaction des Allemands, ce qui inquiétait les anxieux, mais encourageait les optimistes qui pensaient qu'ils n'avaient plus assez de munitions, de toutes les façons cela était étrange.

Quant au résultat il était encore plus étrange. Les Allemands étaient serres de toutes parts et n'occupaient qu'une frange infime du terrain. En outre, certains groupes s'étaient inquiétés de voir surgir des fusées sous leur nez, là où, précisément, ils situaient les positions Allemandes !

La victoire !

L'évidence se fit jour, horrible, ridicule, effrayante : Les Allemands étaient partis ! En fait, ils n'avaient jamais été là, mais silence, on vous dirait que c'est du dénigrement, car ce n'est pas la version officielle.

L'expérience des fusées fut répétée, des visées précisées, il n'y avait personne entre nos lignes, et nous nous étions battus entre nous.

En pareil cas que fait-on ? On décida qu'on était victorieux, on organisa un défilé en ville, et la nouvelle de cette victoire passa telle quelle à la postérité.

Les variantes historiques de cette péripétie sont très nombreuses, on ne saurait éluder la pire pour ma réputation professionnelle : Je me serais tellement trompé dans mes relevés que nous aurions évacué le terrain, et que les Allemands se seraient, alors seulement, échappés.

La ville était traversée par la déjà célèbre Nationale 7, l'entrée Nord était vers Paris, la sortie au Sud menait à la vallée du Rhône. N'imaginez surtout pas la Nationale 7 comme vous la connaissez aujourd'hui, elle faisait tout au plus six mètres de large, parfois cinq par endroits.

Le défilé se terminait à peine qu'une colonne de blindés Allemands se présentât à l'entrée Nord de la ville, là où on l'attendait le moins ; en effet, le gros des troupes en retraite venait surtout de la vallée du Rhône, poussé par le débarquement de Provence. Un petit groupe de gendarmes désirant, probablement, faire oublier un "Vichysme" involontaire de fonctionnaire, et seulement de circonstance, se fit tuer sur place. La colonne traversa la ville en tirant à la mitrailleuse sur les fenêtres pavoisées, mais ne remarqua pas la fin de la dispersion du défilé sur le Mail, et la foule qui s'échappait par les rues adjacentes. Elle se heurta à la sortie Sud au groupe chargé de surveiller les entrées, lequel n'avait, bien entendu, pas prévu... les sorties. Ce groupe ne se ressaisit que lorsque la queue de la colonne sortait de la ville. Ils enflammèrent au moins deux camions citernes. Suivant une tactique bien rodée, acquise par une très dure expérience, on ne se heurtait de front ni aux blindés, ni aux groupes organisés en unités combattantes normales, ces

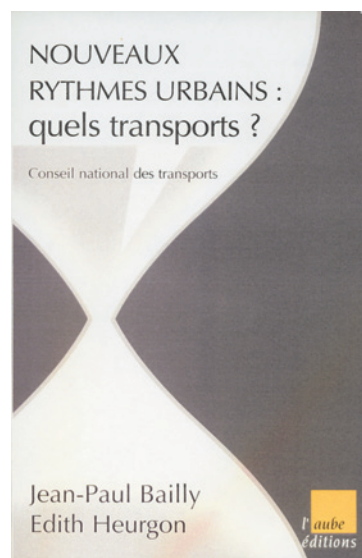
gens-là étaient des professionnels aguerris, et nous des amateurs novices, on n'attaquait de front que les troupes désorganisées ou en déroute, pour les autres, après les avoirs accrochés, on filait au plus vite ; le groupe n'attendit pas la riposte et se dispersa dans la ville.

La colonne de blindés tomba en panne sèche 100 km plus loin et les tankistes furieux durent continuer le chemin à pied, à travers champs, vers l'est, à la boussole. Ils se firent cueillir par petits groupes, soit par des unités combattantes normales dans les bras desquelles ils se jetaient littéralement, soit, mais en rechignant, par d'autres maquis moins tendres que les unités constituées, qui leur faisaient éplucher des tonnes de patates pendant leur captivité, au lieu de leur donner des cigarettes.

Si le groupe s'était opposé frontalement, il aurait été entièrement détruit. Ce fut la seule victoire que, somme toute, nous avions fêtée à l'avance avant de remporter. Une heureuse diversion vint de ce que les armées de Lattre et Leclerc se mirent à recruter une infanterie d'accompagnement des chars dans nos rangs. Conseillé par le Subdivisionnaire qui voulait me garder, et me peignait en noir l'incompétence de nos chefs, je déclinai l'offre faite, passant pour un dégonflé auprès de mes camarades que je ne revis jamais, je ne pouvais m'empêcher de penser aux blessés et peut-être aux morts inutiles de notre méprise.

Bien m'en a pris, je n'ai jamais regretté ma petite lâcheté, au vu des pertes qu'on subit ces nouvelles unités, qui n'avaient pas eu de morts au maquis et se firent hacher sur le front d'Alsace. ●

Nouveaux rythmes urbains : quels transports ?



Jean-Paul Bailly, Edith Heurgon

On observe actuellement une transformation des rythmes de la vie quotidienne due au changement global de la société, du travail et des technologies. Ce fait fait évoluer les pratiques de mobilité et pose des problèmes nouveaux à la gestion urbaine et à l'organisation des transports. Même si elles ne sont pas encore perçues par tous les acteurs les questions soulevées par l'évolution des rythmes urbains ont paru suffisamment importantes au Conseil National des Transports pour qu'il y consacre une réflexion et cet ouvrage. L'objectif est d'attirer l'attention des pouvoirs publics, de l'état aux collectivités locales, et des acteurs économiques et sociaux sur la nécessité d'intégrer, dès l'amont, les questions relatives à la mobilité et aux transports dans la définition des politiques publiques relatives à l'organisation urbaine.

Le livre étudie d'abord les principales évolutions des rythmes urbains, puis présente les démarches conduites en Europe dans le secteur des politiques temporelles qui visent à concilier les temps de la vie quotidienne et les conséquences sur la mobilité des personnes et sur l'organisation des transports. Les entreprises qui étaient jusqu'alors de simples transporteurs deviennent des prestataires de services et des gestionnaires de déplacements,

tandis que s'affirme leur rôle d'acteur de la ville. Sur ces bases sont proposées, à titre d'exemple, quelques initiatives prises par la profession pour s'adapter à ce nouveau contexte. Pour terminer l'ouvrage propose des orientations susceptibles de maîtriser ces phénomènes tout en se gardant de définir des absolus.

Pour vivre ensemble, de la famille à la cité, il devient indispensable d'inventer des modes de concertation pour concilier les temps multiples des personnes, et harmoniser les rythmes par ville, par quartier, par village. Mais jusqu'où doit-on s'adapter et peut-on réguler cette diversité des temps ? Ce rapport fournit des éléments d'information et de réflexion qui devraient permettre aux responsables des villes, dès lors qu'ils en percevront les enjeux, de définir des politiques adaptées et de prendre des initiatives capables d'en atténuer les risques et d'en saisir les opportunités pour mieux gérer les nouveaux "espaces-temps" collectifs.

La qualité de notre vie quotidienne dépend largement des réponses qui seront apportées, ce devrait être l'enjeu d'un débat public fondamental.



© Saldri/Opale

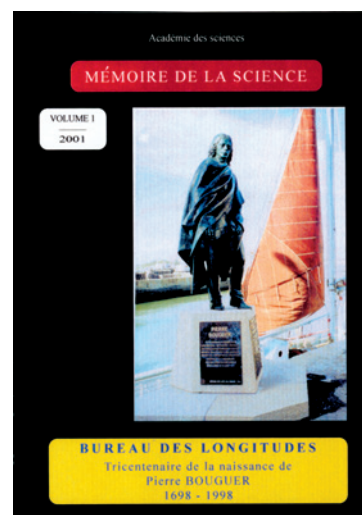
Edith Heurgon

est responsable de la mission prospective de la RATP. Docteur en mathématiques appliquées de l'université de Paris VI,

elle a exercé des fonctions dans le domaine de la recherche, de l'informatique, de la formation, de l'organisation, de la stratégie, du développement territorial. Elle a publié plusieurs ouvrages, en particulier aux "éditions de l'Aube" dont elle est co-animatrice d'une série "présent". Elle est membre du conseil scientifique de la DATAR et de l'IHESI.

**CNT 34 av. Marceau
75008 Paris
Tél : 01 53 23 85 85
Editions de l'Aube 15,10 € 99 F**

Mémoire de la science : volume 1, tricentenaire de la naissance de Pierre Bouguer (Académie des sciences, Bureau des Longitudes)



Ce volume est le premier d'une collection nouvelle de l'Académie des Sciences intitulée "Mémoire de la science" qui a pour objectif de présenter les œuvres du passé dans leur dimension d'anticipation. Il constitue les actes de "la journée Bouguer", savant du XVIII^e siècle, membre de l'Académie Royale des sciences, qui s'est tenue le 16 juin 1998 à l'occasion de la célébration du tricentenaire de sa naissance (1698). Cette journée a été organisée par le Bureau des Longitudes, avec le patronage de l'Académie des Sciences, elle a eu lieu dans la salle Hugot du palais de l'institut.

C'était tirer de l'obscurité un savant largement méconnu, bien que les géophysiciens et les géodésiens connaissent l'anomalie gravimétrique à laquelle est attaché son nom. En optique son œuvre n'est pas ignorée mais son ampleur et son originalité sont largement sous estimées, ainsi que son travail de théoricien de l'art de construire les navires.

Cette publication se limite à certains aspects de l'œuvre, mais illustre de façon pertinente la variété et l'originalité de cet homme

**Cette rubrique est la vôtre ! Aussi, n'hésitez pas à nous écrire, à suggérer des sujets, à poser des questions Faites-le en écrivant à l'AFT
2 avenue Pasteur - 94165 Saint Mandé cedex**

A propos de Pythéas

— Raymond D'Hollander
Ingénieur Général Géographe

Les Éditions de la Nerthe (83190 Ollioules) viennent de publier fin 2000, un livre cartonné au format à l'italienne, intitulé "Pythéas explorateur et astronome"(1). Le texte est de Hugues Journès, helléniste, et d'Yvon Georgelin, astronome. Il est illustré de belles aquarelles de Jean-Marie Gassend. Cet ouvrage de 150 pages, représente le travail très important de l'helléniste et de l'astronome, structuré par une autre astronome Simone Arzano, sans laquelle "cet ouvrage n'aurait pu voir le jour". La préface est de Didier Pralon, professeur de grec ancien à l'université de Provence.

L'influence des deux astronomes est manifeste tout au long du récit car, outre Pythéas, il est fait souvent allusion à d'autres astronomes de l'Antiquité, du monde arabe, de ceux qui, à partir de la Renaissance, ont mesuré l'obliquité de l'écliptique ; en outre de nombreux développements de vulgarisation d'astronomie sont présentés au lecteur.

La reconstitution de l'œuvre astronomique et du voyage de Pythéas sous les hautes latitudes de l'Europe est difficile parce que ses écrits ont été perdus, que de nombreux auteurs qui ont écrit sur Pythéas, ont souvent laissé vagabonder leur imagination. En outre, son œuvre a été critiquée et dénigrée ; le récit de son voyage a été contesté, notamment par Strabon.

On apprécie tout particulièrement dans l'ouvrage :

- le paragraphe "Pour quelles raisons Pythéas est-il parti" : raisons commerciales (étain, ambre), raisons de stratégie politique, pour satisfaire sa curiosité scientifique ... ,
- l'étude qui est faite par les auteurs, qui connaissent bien Marseille, pour situer "l'observatoire" de Pythéas comprenant un obélisque et un certain nombre de lignes tracées au sol. Cinq esplanades de la cité phocéenne sont citées comme ayant pu constituer cet observatoire,
- les développements concernant les navires de l'Antiquité et la description de ce qu'a pu être l'Artémis, le navire de Pythéas,
- la relation du voyage de Pythéas jusqu'à l'île de Thulé (Islande) et jusqu'aux fins fonds de la Baltique, ainsi que son retour à Marseille.

On dénombre in fine, 180 références bibliographiques mettant bien en évidence l'importance des travaux de compilation effectués par les auteurs.

Toutefois, outre quelques fantaisies hors de propos dans les illustrations d'un livre qui se veut scientifique, comme sur l'aquarelle de la page 8 où Syène se retrouve à l'est de la Mer Rouge, l'ouvrage appelle à notre avis les observations ci-après :

Obliquité de l'écliptique:

Sur les figures de la page 29, l'angle 11/166 de circonférence, valeur antique de l'obliquité de l'écliptique du temps de Pythéas, n'est pas équivalent à la valeur moderne de 23°27' portée sur ces mêmes dessins, mais correspond à $11 \times 360 / 166 = 23^\circ 51'$, valeur pourtant indiquée (23°,8) au bas de la page 25. Cette valeur de 23°27', répétée plusieurs fois dans le texte de cette page 29, est d'ailleurs relative à l'obliquité de l'écliptique d'il y a quelques décennies, la valeur actuelle étant plus proche de 23°26'.

Les pages 34 et 35 contenant une grande aquarelle, indiquent comment Pythéas aurait mesuré l'obliquité de l'écliptique à partir d'observations du soleil à l'équinoxe (rapport 120/111) et au solstice d'été (rapport 120/41,8). L'aquarelle montre bien la méthode qu'aurait utilisée Pythéas pour exprimer à partir des deux rapports précédents, la différence des hauteurs du soleil au solstice et à l'équinoxe en fraction de circonférence, soit 11/166. Mais aucun justificatif de la méthode n'est fourni. Une liaison avec la définition de l'obliquité de l'écliptique de la page 29, aurait été nécessaire. Le lecteur aurait alors bien compris que l'angle matérialisé en rouge sur l'aquarelle, est l'angle que font les rayons du soleil au solstice d'été (plan de l'écliptique) avec ceux à l'équinoxe (plan de l'équateur), c'est-à-dire l'obliquité de l'écliptique ϵ .

(1) NDLR : L'académie de Marine a attribué le Prix Album 2001 à ce livre (voir également XYZ n°87 p.76)

Les auteurs indiquent qu'Eratosthène utilisa "probablement" la mesure de Pythéas pour déterminer ε . Dans l'Almageste I₁₂, Ptolémée rapporte les observations d'Eratosthène. Celui-ci a visé à Alexandrie le soleil à sa culmination, d'une part au solstice d'été, d'autre part au solstice d'hiver, ce qui est plus précis que ce qu'aurait fait Pythéas. Il est facile de voir que l'angle entre les deux solstices représente le double de l'obliquité de l'écliptique, soit $2\varepsilon = 11/83$ circonférence. On en déduit $\varepsilon = 11/166$ circonférence, nombre attribué par les auteurs à Pythéas. Or, il paraît peu vraisemblable qu'Eratosthène, qui disposait à Alexandrie de toute l'instrumentation astronomique nécessaire, ait utilisé le résultat obtenu par Pythéas environ un siècle plus tôt. D'autre part, Strabon qui rapporte Hipparque, cite bien le rapport 120/41,8 obtenu au solstice d'été, mais le rapport 120/111 relatif à l'équinoxe, indiqué au bas de la page 33, a été tiré d'un livre écrit par Snellius en 1617, soit 19 siècles plus tard ! Ce rapport a été vraisemblablement reconstitué à partir de la valeur de l'obliquité de l'écliptique d'Eratosthène, mais non pas mesuré. S'il avait été mesuré par Pythéas, il aurait été cité par Hipparque. Enfin, à notre connaissance, aucun auteur ancien ne cite cette mesure de l'obliquité de l'écliptique effectuée par Pythéas.

Dans l'Almageste III₁, Ptolémée indique que la première observation méridienne du soleil à l'équinoxe d'automne fut effectuée en 161 avant J.C., donc nettement après Pythéas. Par contre, des observations méridiennes du soleil au solstice d'été furent effectuées dès 431 avant J.C. par l'École de Méton et d'Euktémon. Pythéas continua dans cette voie.

L'explication du décalage dans le temps entre la première observation méridienne du soleil à l'équinoxe et les premières observations méridiennes du soleil au solstice d'été, est la suivante :

Il était facile de déterminer l'ombre méridienne minimale du soleil au solstice d'été ; on en déduisait le jour du solstice. L'erreur commise du fait que l'observation de la culmination du soleil ne correspondait pas exactement à l'instant précis du solstice, était très faible puisque la variation journalière de la déclinaison – donc aussi de sa hauteur méridienne – est elle-même très faible.

Par contre, l'observation de l'ombre méridienne de l'extrémité du gnomon lors de l'équinoxe est beaucoup plus difficile à saisir si on recherche nécessairement la même précision que celle d'une observation au solstice, puisque de leur différence, on déduit l'inclinaison de l'écliptique. En effet, à l'époque de l'équinoxe, la variation journalière de la déclinaison du soleil donc de sa hauteur, est maximale de $0^{\circ}24'$ soit une minute par heure !. Il aurait fallu connaître non seulement le jour de l'équinoxe, ce que les auteurs, en page 17, nous disent juste acquis au temps de Pythéas, mais l'instant à quelques heures près. De plus, comme cet instant ne tombait généralement pas à midi solaire, une interpolation entre les mesures faites aux deux culminations méridiennes qui l'encadraient, était nécessaire.

En conclusion des considérations qui précèdent, contrairement aux auteurs de l'ouvrage, nous estimons très peu probable que Pythéas ait déterminé l'obliquité de l'écliptique en se servant d'observations méridiennes du soleil à la fois au solstice et à l'équinoxe.

Latitude de Marseille :

Il résulte du paragraphe qui précède, que la détermination de la latitude de Marseille n'a vraisemblablement pas été faite à l'équinoxe. À la page 28 concernant une détermination à l'équinoxe, il est écrit : *"c'est cette position du soleil ($46^{\circ}42'$ au-dessus de l'horizon) que Pythéas a mesuré avec son gnomon pour connaître la latitude de Marseille"*. Cette latitude indiquée plus haut dans le texte est $\varphi = 43^{\circ}18'$ et on a bien à l'équinoxe la hauteur h du soleil donnée par $h = 90^{\circ} - \varphi$, soit $h = 46^{\circ}42'$, mais il s'agit là de la hauteur qu'aurait observée Pythéas à l'équinoxe, alors que son observation a été faite quasi sûrement au solstice d'été, comme indiqué au paragraphe précédent. Il est regrettable qu'aucune liaison n'ait été réalisée entre ce qui est écrit à propos de la latitude de Marseille et la mesure de Pythéas faite au solstice d'été.

Il est vrai que pour déterminer la latitude de Marseille par la hauteur méridienne du soleil au solstice d'été, Pythéas avait besoin de connaître l'obliquité de l'écliptique ; mais les historiens des sciences s'accordent pour que Pythéas ait utilisé l'obliquité de l'écliptique déterminée avant lui, soit $\varepsilon = 24^{\circ}$. La latitude qu'en avait déduit Pythéas, avait une précision médiocre, mais si on prend en compte l'observation de Pythéas au solstice d'été, si on tient compte de l'obliquité de l'écliptique exacte à son époque, du demi-diamètre apparent du soleil et de la réfraction, on obtient une latitude pour Marseille étonnamment précise.

Pythéas et la postérité :

Les auteurs indiquent les premières "mesures de l'inclinaison de la Terre", terme utilisé par les astronomes antiques pour désigner l'obliquité de l'écliptique ε . On constate que dans ces premières mesures, ne figure pas la valeur de ε effectuée par Eratosthène : $\varepsilon = 23^{\circ}51'$, valeur qui revient constamment à la fois dans "l'Almageste" et dans la "Géographie" de Ptolémée.

L'ouvrage d'astronomie de Ptolémée est la "Syntaxe mathématique" écrite en grec. Elle a été traduite d'abord en syriaque puis en arabe par Al-Hajjaj en 827-828 sous le nom de l'Almageste (le très grand livre) qui eut un retentissement considérable dans le monde arabe. La version arabe de l'Almageste fut traduite en latin à Tolède par Gérard de Crémone en 1175. Cette traduction joua aussi un rôle important dans le monde chrétien jusqu'à Copernic.

On pourra se reporter à notre article sur Pythéas qui a paru dans le numéro 51 de la revue XYZ (avril 1992) et qui figure aussi dans le fascicule I des "Sciences géographiques, connaissance du monde et conception de l'Univers dans l'Antiquité" (édition AFT). Il est loin de contenir la somme d'érudition de l'ouvrage des éditions de la Nerthe, mais il donne l'essentiel de l'œuvre astronomique de Pythéas et de sa navigation sous les hautes latitudes de l'Europe. ●