

xvz

Éditée par l'
Association
Française de
Topographie
n°109

Géodésie et GPS en Algérie : exemples d'application

PRIX DE L'AFT 2005
Création de
photomodèles adaptés
à l'étude des fronts
rocheux

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



Directeur des publications

André Bailly
Ingénieur Géomètre ETP

Directeur adjoint des publications

Emmanuel Natchitz
Enseignant-Chercheur ESTP

Rédaction et administration XYZ

2, avenue Pasteur
94165 Saint-Mandé Cedex
Tél. 01 43 98 84 80
Fax 01 43 74 72 80
Secrétariat: du lundi au jeudi de 9h30
à 16h30 et le vendredi de 9h30 à 13h

Rédacteur en chef

Jean-Pierre Maillard
Urbaniste, Géomètre-Expert Foncier,
Marne-la-Vallée

Comité de Rédaction

Stéphane Durand
Enseignant-Chercheur - ESGT Le Mans
Pierre Grussenmeyer
Professeur des universités
INSA de Strasbourg

Michel Kasser
Directeur ENSG - Marne-la-Vallée
Tania Landes
Maître de Conférences
INSA de Strasbourg

Responsable du site Internet

Tania Landes

Publicité

Chantal Holdrinet
aft78@wanadoo.fr
Tél. : 0139539893

À PARTIR DE JANVIER 2007

Samuel Guillemain
Tél. : 06 72 12 08 97
communication@aftopo.org

Conception et maquette

Dorothée Picard

Abonnements: Evelyne Chevalier

Autre publication: L'annuaire de l'AFT

IMPRIMERIE MODERNE USHA

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

Dépôt légal

4^e trimestre 2006 ISSN 0290-9057
N° CPPAP: 01 11 G 80 866

Tirage de ce numéro: 1600 ex

Abonnement annuel

France CEE: 83 €
Etranger (avion, frais compris): 86 €
Les règlements payés par chèques
payables sur une banque située hors
de France doivent être majorés de 10 €
Le numéro: 20 €
Le bulletin d'adhésion est en p.71
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.

Photo de couverture : Port d'Oran-Algérie
(cliché : François Beltra) et cartographie
ancienne échelle 1:50 000 (IGN).

Décembre 2006 • 4^e trimestre

Sommaire

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

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

Courriel: info@aftopo.org • Site Internet: <http://www.aftopo.org>

■ Editorial 5

■ Info-Topo

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

■ La vie des écoles

> L'espace ensemble : une odyssée
Jacques LÉVY 14

■ Manifestation

> FIG 2006 Les géographes redécouvrent
les Amériques

Jean-Pierre MAILLARD 16

> Exposition "Villégiatures d'Yerres
et de Brunoy" 17

> Intergeo® 2006 23^e congrès international
de la FIG

Olivier REIS 18

> Les étudiants de l'INSA de Strasbourg
racontent les Journées de la Topographie 2006

Louis CAUDRELIER et Baptiste BARBIER 21

■ Prix AFT 2005 (2/2)

> Création de photomodèles adaptés à l'étude
des fronts rocheux

Pauline LUCAS 23

> Résumés d'articles proposés au prix de l'AFT
non primés

■ Photogrammétrie



> Le sauvetage des églises de Voskopoja
(Albanie) - La documentation métrique des
fresques pour leur sauvegarde et leur
restauration

Thomas LEROY 29

■ GPS

> Conversion altimétrique des hauteurs
ellipsoïdales par GPS

*A. ZEGGAI - S.A. BENAHEM DAHO
B. GHEZALI - A. AYOUAZ - H. TAIBI
R. AIT AHMED LAMARA* 35



> Le GPS cinématique, une solution pour
l'enrichissement de la géométrie dans un
système d'information routier

*Hocine NECHNICHE - Abdelkader MENDAS - Omar
AYOUAZ - Hbib TAIBI - Kouider BRAHIMI* 40

■ Géodésie

> Fiabilité des réseaux géodésiques
Application : réseau cadastral de la ville
d'Oran - Algérie

Bachir GOURINE - Boualem GHEZALI 47

■ Hydrographie

> Modélisation 3D au service de l'inspection
d'ouvrages portuaires immergés

*Benoît FRALEU - Yann VINCENOT
Frédéric DENIVET* 53

■ Réglementation

> Les enquêtes publiques
et leur commissaire

Jean-Pierre MAILLARD 57

> Un changement de base utile

Claude MILLION 61

■ Art et Géométrie



> François Morellet : l'inclinaison pour la ligne

Jean-Pierre MAILLARD 62

■ Livres 64

■ GSF

> Les relations professionnelles de demain ne se
mettraient-elles pas en place au Sri Lanka ?

François BODIN 70

Pour la recherche de nos annonceurs
consulter la page 65.

Nous vivons décidément une époque formidable, nous qui sommes passionnés de topographie et de géomatique... En 2005 (XYZ n° 104) nous avons salué dans ces mêmes colonnes la disponibilité de l'outil Google Earth, avec cet immense plaisir d'avoir des photos de la Terre entière en libre service, au bout de nos doigts, instantanément et sans limitations. Et même si ces possibilités de visites virtuelles étaient alors de façon un peu accessoire, si la cartographie disponible n'était pas toujours bien fameuse, et parfois mal géoréférencée par rapport à l'image, c'était quand même une bien belle réalisation offerte dès ce moment là.

Et maintenant, c'est l'IGN qui, sur la France, offre son Géoportail, avec non seulement la BD Ortho, une image à très haute résolution – étant cette fois-ci homogène sur tout le pays – mais aussi la totalité des cartes de l'IGN en ligne, une nouveauté tout à fait extraordinaire et très appréciée. Les Français, comme la plupart de leurs voisins européens, ont une très ancienne tradition de cartographie de très belle qualité visuelle et sont heureux de la retrouver enfin sur un media moderne. De plus toutes ces données sont parfaitement cohérentes entre elles, chacun peut réellement les superposer de façon très simple, précisément parce qu'elles forment un seul référentiel. C'est là l'élément vraiment nouveau, qui rend visible la partie émergée de l'énorme travail de fond des institutions cartographiques nationales, comme l'IGN en France. Le grand public oublie volontiers l'importance majeure de cet aspect "métrique" auquel le monde professionnel est si sensible.

Le rapport à la donnée géographique numérique est donc en train de changer complètement, passant du cercle (trop ?) étroit des géomaticiens à celui du grand public, déjà sensibilisé à ce domaine par la vulgarisation de la localisation GPS et l'emploi des bases de données routières correspondantes. Cette extension de notoriété de nos professions vers le grand public est une évolution majeure de notre domaine, et l'AFT est heureuse d'y participer activement aux cotés de ses membres.

Dans ce registre, et avant de vous souhaiter une bonne lecture de ce nouveau numéro toujours aussi passionnant d'XYZ, j'invite déjà celles et ceux qui pourront se déplacer en région parisienne à réserver leur journée du 15 mars 2007 pour le troisième Forum de la Topographie, qui se tiendra à l'ENSG : le thème choisi est "la localisation en intérieur", domaine technique qui est actuellement en évolution très rapide et qui concerne beaucoup d'entre nous. Nous vous attendons très nombreux, comme chaque année, et à Marne-la-Vallée cette fois-ci ...

Michel Kasser



3^e Forum de la **TOPOGRAPHIE**

organisé par L'AFT et l'ENSG

le Jeudi 15 mars 2007 de 9h00 à 17h00

6, et 8 avenue Blaise Pascal – Cité Descartes - Champs-sur-Marne
77455 Marne-la-Vallée Cedex 2

CONFÉRENCES SUR LE THÈME :

la localisation en intérieur

technologie et produits nouveaux

UNE EXPOSITION DE CONSTRUCTEURS :

matériels, matérialisation, logiciels, prestations
renseignements sur le www.aftopo.org

SUIVIE D'UN COCKTAIL



INSCRIPTION SOUHAITÉE POUR RECEVOIR LE PROGRAMME DÉFINITIF

M/MMe/Mlle Nom : _____ Prénom : _____

Société : _____

Adresse : _____

Code postal : Ville : _____

Tél. : Fax :

Courriel : _____

A renvoyer à l'Association Française de Topographie

2, avenue Pasteur - 94165 SAINT-MANDE Cedex - Tél. : 01 43 98 84 80 - Fax : 01 43 74 72 80
info@aftopo.org

■ Les données cartographiques de NAVTEQ équipent la plupart des systèmes de navigation embarqués au Mondial de l'Automobile

Les systèmes de navigation ne sont plus l'apanage des véhicules haut de gamme, les segments intermédiaires peuvent être également équipés d'origine. Au Mondial de l'Automobile, parmi les accessoires auxquels songent les futurs acquéreurs, le système de navigation, qu'il soit fixe ou mobile, connaît un grand succès. Mais un système de navigation aussi bon soit-il n'est rien sans une cartographie de qualité, à l'image d'un ordinateur sans logiciel.

NAVTEQ s'appuie sur plus de 600 cartographes de terrain qui sillonnent les routes de la planète, afin de vérifier et de mettre à jour les informations dans la base de données NAVTEQ. Les cartes NAVTEQ couvrent actuellement 58 pays et territoires répartis sur 6 continents. Précises et fiables, les données cartographiques numériques NAVTEQ alimentent les systèmes de navigation intégrés au tableau de bord de la quasi-totalité des véhicules commercialisés en Amérique du Nord et en Europe.

► Pour plus d'informations : <http://www.navteq.com>.

■ Magellan dévoile sa nouvelle marque Magellan professional



Magellan (ex Thales Navigation) a présenté au Salon Intergeo sa nouvelle marque Magellan Professional sous laquelle elle va commercialiser ses produits pour le Survey et le SIG. L'entreprise est devenue une société indépendante depuis son acquisition, en 2006, par le fonds d'investissement privé Shah Capital Partners.

► La société vient d'ouvrir son site Magellan Professional, accessible à l'adresse www.pro.magellanGPS.com

■ Trimble présente un nouveau système GPS, une mise à jour du logiciel de bureau et de la station totale

Le système GPS Trimble R6

Le système GPS Trimble R6 se compose d'un récepteur GPS Trimble R6 moderne, du contrôleur TSC2 ou Trimble CU, du logiciel de terrain Trimble Survey Controller et du nouveau logiciel de bureau Trimble Business Center.

Le GPS Trimble R6 est un système, compact "tout en un" qui intègre un récepteur multi-canal et multi-fréquences, une antenne, une radio de transmission de données et une batterie. Outre ses fonctions GPS, l'extension GLONASS, en option permet d'utiliser les signaux GLONASS et donc un meilleur positionnement, offrant aux topographes des performances accrues sur le terrain et une réduction du temps d'immobilisation.

Le logiciel de bureau Trimble Business Center

Le nouveau logiciel Trimble Business Center permet aux topographes d'avoir accès à la technologie de réception satellite R-Track Trimble sur leur ordinateur. Ce logiciel permet aux utilisateurs d'importer très facilement les données GNSS de terrain afin de les traiter et de les exporter vers le logiciel de conception de leur choix. Le logiciel interprète et traite rapidement les lignes de base pour générer des résultats avec



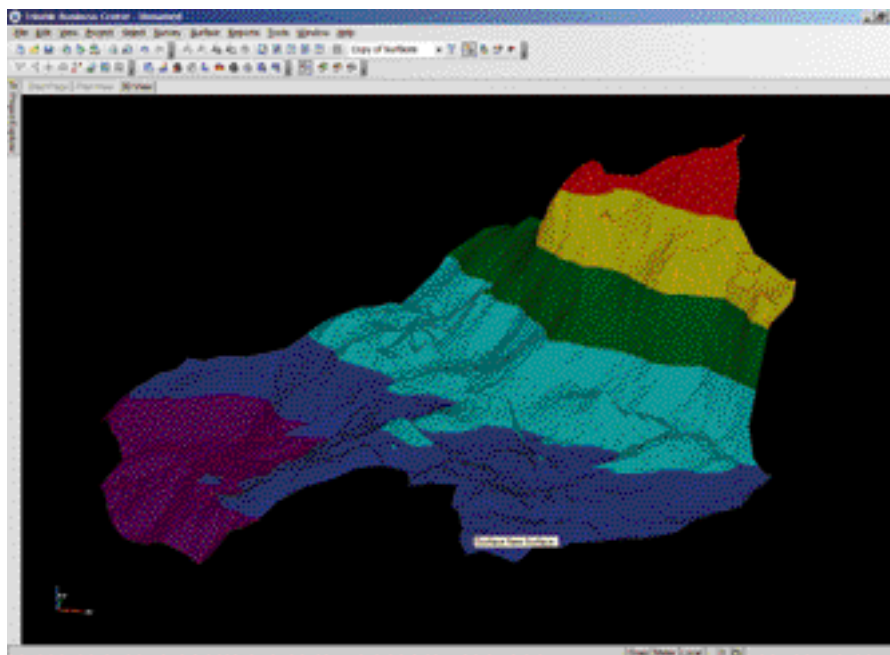
des précisions inférieures au centimètre. Ce logiciel effectue également des réductions de données, des calculs, des ajustements de réseau et des rapports QA/QC.

Il comprend également des outils de correction d'erreur de terrain, des outils de visualisation et de puissantes fonctions de gestion des données spatiales.

Station totale Trimble 5600 équipée du contrôleur Trimble CU

La station totale Trimble 5600 a été modernisée afin de pouvoir être utilisée avec la toute dernière technologie de contrôleur de données. En associant cette station totale à un contrôleur Trimble CU, les utilisateurs peuvent désormais bénéficier de la dernière version du système d'exploitation Microsoft Windows et des logiciels de terrain Trimble. Parmi les nouvelles fonctionnalités offertes, on note les fonctions de Topographie Intégrée (Integrated Surveying) ainsi que la technologie de recherche GPS, qui utilise le GPS pour guider une station totale Trimble 5600 jusqu'à la canne mobile en quelques secondes, ce qui augmente ainsi les performances qu'offre la topographie robotisée.

► Pour plus d'informations : www.trimble.com



■ **Projet de loi relatif au secteur de l'énergie : Les professionnels des énergies renouvelables applaudissent le vote des sénateurs**

Après les débats du 15 septembre 2006 à l'Assemblée nationale sur le projet de loi relatif au secteur de l'énergie, les producteurs d'électricité d'origine renouvelable étaient inquiets. En effet, à l'issue de cette séance, le vote des députés conduisait la loi à maintenir la limitation du bénéfice de la Contribution pour le Service Public de l'Électricité (CSPE). La CSPE est une contribution à la charge de tous les consommateurs d'électricité, qui est redistribuée pour compenser les charges du service public qui incombent à EDF notamment. Ces charges sont constituées par les coûts résultant de l'obligation d'achat, la mise en œuvre de la tarification spéciale de l'électricité comme "produit de première nécessité", la participation au dispositif en faveur des personnes en situation de précarité.

Mais heureusement, les sénateurs ont fait un grand pas en faveur de l'électricité produite à partir de sources renouvelables en votant un article additionnel au projet de loi, dans leur séance du 20 octobre 2006. Cet article étend le bénéfice de la CSPE à tous les fournisseurs d'électricité qui le souhaitent, permettant ainsi de rendre disponible sur le marché l'électricité produite à partir de sources renouvelables, pour tous les consommateurs qui auront fait ce choix. Tout en maintenant le principe de l'obligation d'achat pour l'électricité d'origine renouvelable dans les conditions antérieurement définies, cette mesure n'entraînera aucune charge supplémentaire au titre de la CSPE. En revanche, elle permettra aux fournisseurs qui le souhaitent de s'impliquer dans

la mission de service public de promotion des énergies renouvelables, d'améliorer leur image, de proposer une offre attractive, donc de contribuer à la réalisation de l'objectif de 21 % de consommation d'électricité renouvelable d'ici à 2010⁽¹⁾. Les professionnels des énergies renouvelables – notamment les producteurs et les nouveaux fournisseurs arrivés sur le marché – se réjouissent de cette mesure qui met fin à une situation discriminatoire et rend l'électricité renouvelable accessible à tous. Les règles d'une saine concurrence sont rétablies.

(1) Loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique du 13 juillet 2005, issue de la directive européenne 2001/77 du 27 septembre 2001 et du protocole de Kyoto

■ **EP Center pour la gestion de l'éclairage public connaît un succès grandissant**

EP Center, la solution "full web" de Générale d'Infographie, couvre toute la gestion de l'éclairage public, festif, architectural, sportif ainsi que celle des feux tricolores, de la signalisation verticale ou horizontale ou de la gestion des DR/DICT. Cette solution permet aux utilisateurs de gérer très simplement par Internet en temps réel, via un simple navigateur web, sans aucune installation, l'intégralité de leur patrimoine éclairage public.

La solution permet de recenser l'ensemble des objets : réseaux, ouvrages, équipements. Le module Demande d'Intervention gère la déclaration et le suivi des pannes, le module Maintenance curative et préventive prend en charge la planification, le suivi des interventions, le traitement des pannes et les comptes rendus d'intervention.

Pour les utilisateurs itinérants, EP Center dispose d'un module Terrain fonctionnant sur tablette PC et proposant les mêmes fonctionnalités que la version Internet. Ce module intègre la synchronisation automatique avec le serveur, garantissant ainsi la mise à jour des informations.

Conçue sur un noyau Open Source MapServer, entièrement Intra/Internet, l'offre EP Center est disponible selon plusieurs formules : acquisition complète, développements sur mesure, hébergement externalisé, ou offre de service, globale en simple location.

L'accès sécurisé aux applications est possible à partir de n'importe quel poste connecté à Internet, en mode consultation comme en mode saisie. Ainsi, en partageant l'information avec l'ensemble des intervenants, EP Center répond aux besoins des collectivités, gestionnaires et exploitants quelle que soit leur taille ou celle de leur patrimoine.

► **Pour plus d'informations : www.generale-infographie.fr**



Agenda des manifestations

■ **Dates à retenir à l'ENSG :**

Le 13 janvier 2007 Journée Portes Ouvertes

Le 25 janvier 2007 Forum Cartographie

Le 31 janvier 2007 Forum GPS

Le 1^{er} février 2007 Forum Photogrammétrie

Le 10 mai 2007 Forum SIG
www.ensg.ign.fr

■ **Du 3 au 5 avril 2007 :**

Géo-événement 2007
Paris Expo - Porte de Versailles
www.geo-evenement.org

■ **Le jeudi 15 mars 2007 :**
3^e Forum de la Topographie
Marne-la-Vallée – ENSG
www.aftopo.org

■ **Du 2 au 5 octobre 2007 :**
Le Géocongrès international
Québec 2007 - Histoire de voir le monde
www.quebec2007.ca

■ **Du 27 au 30 octobre 2007 :**
FIG de Saint-Dié-des-Vosges
www.fig-saintdie.com

■ B.P.B. PLACO – le SIG et ses applications dans le domaine industriel

BPB PLACO numéro un mondial des produits à base de plâtre et filiale du groupe Saint-Gobain depuis cette année exploite sur le territoire français 8 carrières dont 5 à ciel ouvert et 3 souterraines. Par ailleurs, au vu de la progression constante de sa production, BPB PLACO se constitue des réserves foncières au droit des sites identifiés comme étant gypsifères. Les différentes phases de vie d'une carrière vont de la prospection d'un gisement par une équipe de géologues, au réaménagement, durant la phase d'exploitation, en passant par l'identification des propriétés et les négociations immobilières. La complexité de gestion de tous les paramètres nécessaires à la réalisation de ces phases a amené BPB PLACO à entamer en 2002, un processus d'informatisation.

Dans un premier temps et de par la complexité liée à plusieurs fusions – absorptions de sociétés par BPB PLACO, le service juridique a opté pour la mise en place d'une base de données à partir du logiciel Legal Suite de l'éditeur du même nom. L'objectif était ici de répertorier dans un outil totalement interactif les contrats et en particulier tous ceux qui concernaient des droits fonciers.

Très rapidement, la problématique de visualisation, de conception et de gestion des données graphiques est devenue évidente. Ainsi, l'élaboration au sein d'un groupe de futurs utilisateurs d'un cahier des charges SIG a permis de mettre en évidence à la fois quelques dysfonctionnements liés aux méthodes en place, mais aussi la nécessité absolue de centraliser les données.

Après consultation de plusieurs éditeurs, le choix s'est porté sur les solutions ESRI, et en particulier sur Arcview et l'application 3D ANALYST. Les couches de données retenues ont été constituées par les données cadastrales, graphiques et alphanumériques données topographiques et photogrammétriques, données urbanistiques et environnementales, données géologiques, données d'exploitation. Ces données émanent pour certaines de l'IGN, pour d'autres du BRGM et pour bon nombre d'entre elles de cabinets de géomètres experts missionnés sur la base d'appels d'offres structurés.



Vue de la carrière de Vaujours à Villeparisis.

La montée en charge des informations a été maîtrisée en interne et à ce jour, deux ans après la validation du cahier des charges, 80% du patrimoine "carrières" est disponible et l'intégration des données "Usine" est en cours.

Dans le même temps, la mise en place d'un serveur dédié a constitué une deuxième étape de centralisation des données en rendant celles-ci accessibles aux utilisateurs d'Arcview. Un interfaçage d'Arcview et de Legal Suite a été étudié et mis en place afin de lier les données contrats de type alpha-numériques aux données Arcview de type graphique. Cet interfaçage autorise aujourd'hui de nombreuses requêtes rendues très aisées et permettant une excellente maîtrise de l'ensemble des problématiques journalières liées à la vie des carrières.

La communication faite en interne autour du SIG et l'intérêt avéré nous ont conduit à diffuser de manière sélective

l'information par le biais d'un site Intranet basé sur l'éditeur ARCIMS et de permettre à d'autres services du groupe des visualisations et des investigations qui favorisent une bonne connaissance indispensable de notre patrimoine de la part des responsables de services ou de sites industriels.

L'apport considérable du SIG associé à des bases de données externes et couplé à des logiciels complémentaires tels que CORALLIS autorise aujourd'hui un suivi des processus industriels liés à notre matière première principale, le gypse, et permettra peut-être dans un avenir proche d'étendre cette maîtrise à nos produits finis à base de plâtre. Bernard Bour, chargé du développement foncier estime cette rapide évolution due en grande partie à un partenariat efficace et amical avec ESRI France.

► Pour plus d'information : www.bpbplaco.com



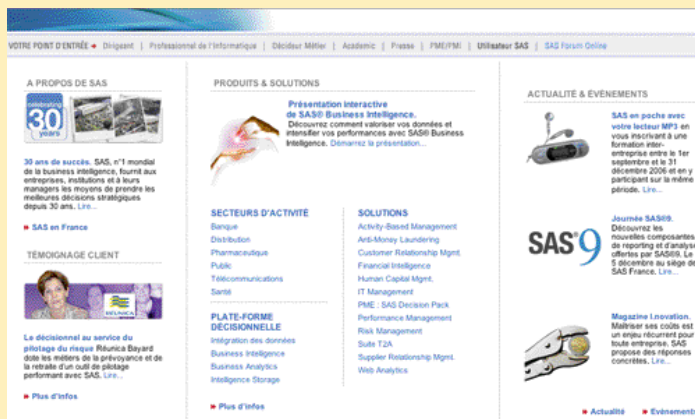
Vues de la carrière de Cormeilles.

■ SAS et ESRI : des solutions géo-décisionnelles pour un pilotage avisé

SAS et ESRI apportent conjointement des solutions permettant la spatialisation de l'information dans un référentiel unique pour toutes les entreprises ou organismes d'études ou de recherche ayant recours au SIG. Les apports du décisionnel permettent de piloter les différentes activités de l'entreprise en se basant sur des indicateurs métiers, d'analyser les impacts et par conséquent d'avoir une meilleure visibilité pour prendre de bonnes décisions. Associé au SIG, le décisionnel offre une dimension géographique dans toutes les analyses, grâce à une restitution cartographique dynamique et conviviale.

Ces solutions sont utilisées dans les domaines du géomarketing (déploiement d'infrastructures, analyse d'implantation commerciale, de clientèle, géodatamining, sectorisation de la force commerciale, optimisation d'actions de marketing direct) dans les analyses de risques naturels, industriels ou environnementaux, dans les analyses de potentiels économiques, dans les études socio-démographiques : santé, sécurité, aménagement du territoire...

Ainsi la solution "SAS® Bridge for ESRI", solution client serveur, permet de relier les environnements décisionnels et géographiques, avec la possibilité d'associer les données



attributaires, numériques et textuelles de SAS et les données spatiales d'ArcGIS. Et la solution "SAS® Enterprise Business Intelligence Server", solution décisionnelle d'entreprise, permet, grâce à son intégration avec ESR ArcGIS Server, une exploration synchronisée des données cartographiques et multidimensionnelles.

► Pour plus d'informations : www.sas.com/france

■ Tripod, un système innovant de relevé d'intérieur et de production automatisée des plans

Créée il y a un an et demi, la société Measurix est titulaire d'un brevet mondial pour son Tripod, un système innovant de relevé d'intérieur et de production automatisée des plans 2D et 3D associant une station totale laser spécifique et un logiciel de DAO optimisés pour effectuer des relevés d'intérieur rapides et précis.

La visée (murs, angles ou plafond) s'effectue sans se déplacer. L'écran de visualisation fait apparaître le plan à mesure du relevé (la codification et son traitement sont instantanés), ce qui évite les erreurs. Le plan de récolement est produit automatiquement pour vérification par l'opérateur.

De retour au bureau, les fonctionnalités de compensation permettent aux utilisateurs de réaliser une interprétation automatisée intégrant des éléments liés à la structure du bâtiment. Les données 2D et 3D peuvent être exportées au format DXF ou DWG.

► Pour plus d'informations : www.measurix.com



■ Optech annonce les options ER (Enhanced Range) et MC (Motion compensation) pour la famille des lasers-3D Ilris

L'option ER permet par le simple appui sur une touche d'augmenter la portée de l'appareil de plus de 40 % au delà de la portée normale, dépassant désormais le kilomètre sur des points naturels à 25 % de réflectance. Elle permet, de plus, d'améliorer la qualité du signal à toutes les distances.

L'option MC offre une interface avec un système de positionnement dynamique et permet donc de scanner depuis un véhicule en mouvement et d'obtenir un nuage de points directement géoréférencé. Ainsi, il devient possible par exemple de scanner les rives depuis un bateau en mouvement. Ainsi, ces deux nouvelles options augmentent encore davantage la modularité de la famille de scanners-3D Ilris, et permettent à l'utilisateur de configurer son laser-3d en fonction de ses applications.

► Pour plus d'informations : www.optech.ca
Maury Informatique
mauryinfo@magic.fr

■ par Raymond D'HOLLANDER

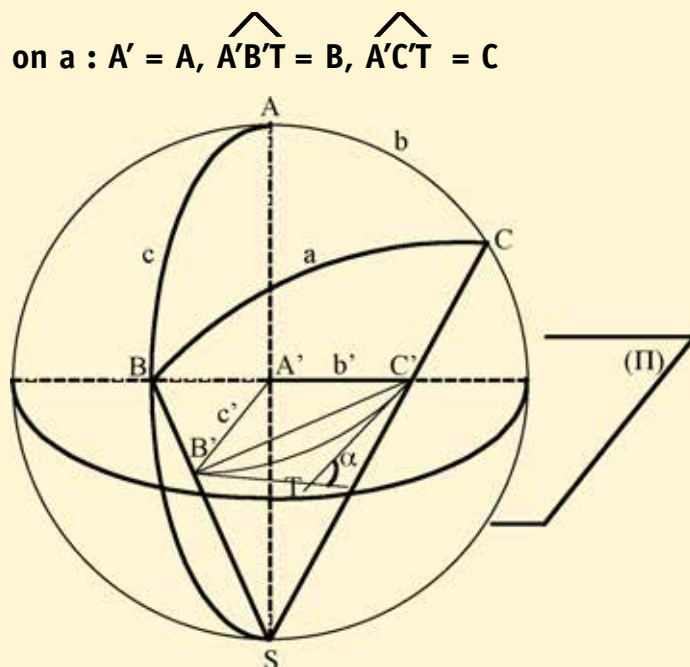
On considère un triangle sphérique ABC tracé sur une sphère de rayon unité, dont la valeur des angles sont A, B, C et la valeur des côtés $a = \widehat{BC}$, $b = \widehat{CA}$, $c = \widehat{AB}$.

On choisit la position de A au point le plus élevé de la sphère et soit AS le diamètre parallèle au grand côté de la page. Désignons par (Π) le plan diamétral perpendiculaire à AS , qui servira de plan de projection stéréographique à partir du point S .

Désignons par $A'B'C'$ les projections stéréographiques de ABC . La projection du triangle sphérique ABC est la figure constituée par les côtés rectilignes $A'B', A'C'$ d'une part et l'arc de cercle $\widehat{B'C'}$ projection stéréographique de l'arc de grand cercle BC . On désigne par a' le côté $B'C'$ et par b' le côté $A'C'$. Soit T le point d'intersection des tangentes en B' et C' à l'arc $\widehat{B'C'}$ et soit α l'angle que font entre elles ces tangentes.

La projection stéréographique étant conforme, on a : $A' = A$, $\widehat{A'B'T} = B$, $\widehat{A'C'T} = C$

1. On considère le triangle rectiligne $A'B'C'$. Evaluer les angles $A' B' C'$ de ce triangle en fonction des angles $A B C$ et α ; déterminer l'excès sphérique du triangle sphérique ABC .
2. Evaluer les côtés $a' b' c'$ du triangle $A'B'C'$ en fonction de a, b, c .
3. Ecrire la relation liant dans le triangle $A'B'C'$ le côté a' en fonction de $b'c'$ et A' .
4. En déduire la première formule fondamentale de la trigonométrie sphérique dans le triangle ABC
 $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$



La solution de cette récréation sera donnée dans le prochain numéro d'XYZ.

DANS LE PROCHAIN NUMÉRO D'XYZ 110 : *Topographie électronique et informatique* (titre provisoire) 1^e partie par Paul COURBON

L'AFT est heureuse d'annoncer la diffusion de l'essai de Paul Courbon qui retrace l'évolution exponentielle des matériels topographiques pendant les cinquante dernières années. Sa contribution sera publiée en quatre parties dans les numéros d'XYZ de 2007.

Le recueil complet de son remarquable travail sera ensuite disponible dans les publications de l'AFT.



- 1 Supposons le problème résolu. Prolongeons le segment $O'A$ d'une quantité égale $AS = O'A = R'$ de sorte que $O'S = 2R'$. Joignons SO coupant la tangente (Δ) au cercle (C) au point I .

Considérons les deux côtés de l'hexagone régulier inscrit dans le cercle (C') AA' , consécutif à AB et $A'B'$ non consécutif à AB . La corde $A'B'$ prolongée n'est autre que la droite (Δ') tangente au cercle (C) en T' et passant par I . Dans ces conditions le triangle IAA' est équilatéral.

Comme $\widehat{I_1} = 60^\circ$, $\widehat{TI T'} = 180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$ et par symétrie $I_2 = I_3 = 60^\circ$. Il en résulte que I_4 vaut $I_4 = 180^\circ - I_1 - I_2 = 180^\circ - 120^\circ = 60^\circ$, de sorte que le triangle IAS est équilatéral. Tous les angles marqués d'un seul trait curviligne sur la figure sont égaux à 60° , en particulier l'angle en S .

Il est donc possible de construire ce point à partir des données. Il se trouve à l'intersection du cercle de centre O' et de rayon $2R'$ désigné par (Γ') et de l'arc capable de l'angle $\hat{S} = 60^\circ$ relatif à OO' . Soit (Γ) cet arc capable dont le centre se trouve à l'intersection de la médiatrice Ju de OO' et de la direction Ov faisant avec OO' l'angle 30° , on a bien en effet $\widehat{O\Omega O'} = 180^\circ - 2 \times 30^\circ = 120^\circ$, angle au centre double de l'angle inscrit $\hat{S} = 60^\circ$. Ayant ainsi construit S il suffit de joindre $O'S$ qui rencontre le cercle (C') en A . La tangente menée par A au cercle (C) au point de contact T est la droite (Δ) cherchée, coupant le cercle (C') en un autre point B et AB est le côté de l'hexagone régulier inscrit dans le cercle (C') .

- 2 Joignons SO qui rencontre (Δ) en I . La tangente IT' au cercle (C) est la droite (Δ') cherchée.

En effet le triangle IAA' est équilatéral $\widehat{IA'A} = \widehat{A'_1} = 60^\circ$. Or $A'_2 = A'_3 = 60^\circ$, de sorte que les points $IA'B'$ sont bien alignés $\widehat{IA'B'} = A'_1 + A'_2 + A'_3 = 180^\circ$.

La droite (Δ') tangente en T' au cercle (C) coupe le cercle (C') en A' et B' . La corde $A'B'$ est un côté de l'hexagone régulier inscrit dans le cercle (C') non consécutif avec AB .

- 3 Evaluons le côté $OO' = d$ du triangle $OO'S$.

a) le côté $OS = OI + IS$; or $OI = \frac{R}{\cos 30^\circ} = \frac{R}{\sqrt{3}/2} = \frac{2R}{\sqrt{3}}$

$IS = R'$ (triangle équilatéral) SA d'où $OS = \frac{2R}{\sqrt{3}} + R'$

b) le côté $O'S = 2R'$

c) dans le triangle $OO'S$ on peut écrire :

$$OO'^2 = d^2 = OS^2 + O'S^2 - 2 OS O'S \cos 60^\circ.$$

Comme $\cos 60^\circ = 1/2$: $OO'^2 = d^2 = OS^2 + O'S^2 - 2 OS O'S$

En remplaçant dans cette relation OS et $O'S$ par leurs valeurs on a :

$$d^2 = \frac{4R^2}{3} + R'^2 + \frac{4RR'}{\sqrt{3}} + 4R'^2 - \left(\frac{2R}{\sqrt{3}} + R' \right) \times 2R'$$

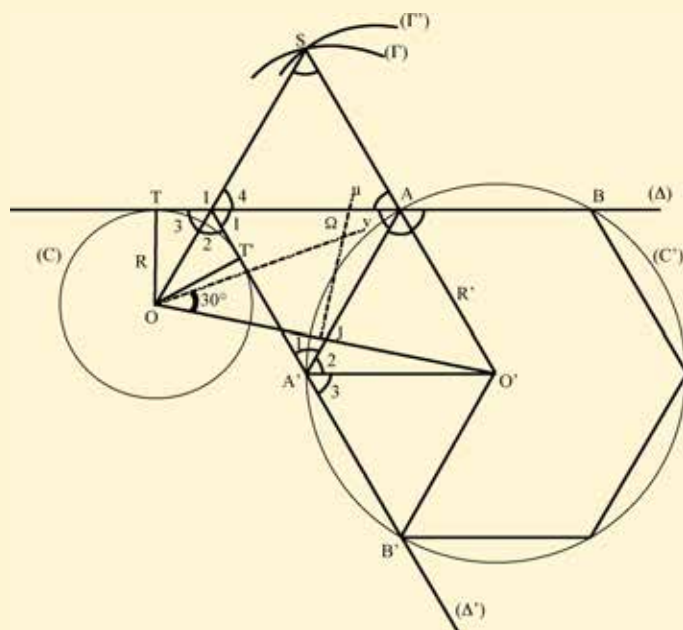
$$d^2 = \frac{4R^2}{3} + R'^2 + \frac{4RR'}{\sqrt{3}} + 4R'^2 - \frac{4RR'}{\sqrt{3}} - 2R'^2 = \frac{4R^2}{3} + 3R'^2$$

ou bien : $3d^2 = 4R^2 + 9R'^2$ c.q.f.d.

- 4 Tous les angles en I ont pour valeur 60° .

$\widehat{TOI} = \widehat{TOI} = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ On a donc

$\widehat{TOT'} = \widehat{TOI} + \widehat{TOI} = 60^\circ$ La corde TT' est bien le côté de l'hexagone régulier inscrit dans le cercle (C) c.q.f.d.



L'espace ensemble : une odyssée

■ Jacques LÉVY

L'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) invite, peu de temps après leur prise de fonction, tous les nouveaux professeurs à exposer une leçon inaugurale ouverte à tous.

Pour les collègues et les étudiants c'est une façon de faire connaissance avec une personnalité et le contenu de son cours.

L'un des derniers arrivés à la Faculté Environnement naturel, architectural et construit (ENAC), Jacques Lévy, professeur de géographie, d'urbanisme et en sciences sociales s'est volontiers soumis au rite. Son approche prospective et philosophique de l'espace, sa réflexion sur celui créé par l'homme méritent que sa leçon dépasse le cercle de l'amphithéâtre de l'EPFL même si ses travaux sont très largement connus aux travers de ses ouvrages et des autres enseignements qu'il a déjà dispensé à Sciences Po et ailleurs. XYZ a le plaisir de publier les extraits choisis de son discours.

"L'espace intersidéral a depuis longtemps été un thème de prédilection de la littérature d'anticipation, le film 2001 : *A Space Odyssey* (Stanley Kubrick, 1968) constituant un point culminant à cet égard. L'espace intérieur a aussi suscité le même intérêt. Dans *Fantastic Voyage* (Richard Fleischer, 1966), la miniaturisation de sous-marins permet à une équipe médicale de s'aventurer dans l'univers à la fois familier et mystérieux du corps humain. Il s'agit d'investigations dans lesquelles l'implication directe de l'homme ne s'impose pas puisque les véhicules automatiques et endoscopes font assez correctement le travail.

La présence humaine est, en revanche, bien nécessaire lorsqu'il s'agit d'explorer un troisième espace, celui que nous habitons ensemble, celui où nous sommes «jetés» du fait même que nous formons société non dans une étendue abstraite mais dans un écoumène. Dans cet espace habité, nous avons à faire à la nature et à nous-mêmes, puisque, de plus en plus, en découvrant les paysages extérieurs, ce sont les œuvres humaines que nous pouvons admirer, critiquer, utiliser, détruire, préserver...

Sommes-nous capables, alors, dans l'espace et par l'espace, de rompre avec la malédiction de l'«insociable sociabilité» que Kant a jugée inhérente à toute vie en société ? Tenter de répondre à cette question constitue un parcours possible pour la pensée et pour l'action. Ce voyage est devant nous, avec ses îles, ses sirènes, ses tempêtes, et nous devons accepter l'idée qu'il n'est

pas un programme, mais un projet à la construction duquel tout le monde peut s'inviter. Si nous sommes prêts à embarquer, dans quel vaisseau, avec quelles cartes, avec quel compas ? [...]

L'espace est un environnement, l'espace nous habite, comme nous l'habitons.

On peut dire que ce n'est pas nouveau, que les hommes ont toujours vécu dans des environnements. Eh bien, je répondrai non. Les hommes ont vécu, soit dans l'immanence d'un monde naturel animé dont ils ne se dissociaient pas, soit sous la coupe de transcendances sur lesquelles ils n'avaient pas prise.

Le concept d'environnement n'est pas un terme banal et pratique pour désigner ce qui nous entoure. C'est un concept fort, récemment dissocié de celui de «milieu», inséparable du fait de sa prégnance, il est en même temps saillant pour la simple raison que nous en sommes responsables. [...]



© Photodisc

Penser l'action sur et dans la complexité : la spécificité de l'urbanisme et du développement territorial par rapport au travail des ingénieurs et des architectes se trouve là. La ville n'est pas une maison en plus grand, elle n'est pas non plus un ensemble de tuyaux de divers formats. Elle comporte une dimension immatérielle et idéale fichée au cœur même de la matérialité. Dans une société – et une ville peut être considérée comme la société par excellence –, les pierres parlent et les paroles déplacent les murs. L'organisation des immeubles interfère sur la composition de la population, qui induit des modes de vie et, partant, un système de transports, définit la place de l'espace public, etc... Les espaces urbains ne sont pas pensables dans un univers aristotélien ou cartésien où tout problème serait individualisable en de plus petits problèmes, aisément résolubles dans le cadre des routines acquises. Lorsque l'on agit sur la ville, il faut admettre, d'emblée, en touchant à la plus petite réalité, qu'on fait bouger l'ensemble du système. De même ce système sur lequel on intervient est constitué d'acteurs et d'objets, c'est-à-dire d'actions présentes et d'actions sédimentées. [...]

C'est pour cela aussi que nous expliquons aux étudiants-architectes qui voudraient, et heureusement, être aussi des artistes : « N'espérez pas signer un acte d'urbanisme ou d'aménagement. D'abord parce qu'il ne sera jamais fini. Ensuite parce qu'il n'a pas d'auteur, sinon la société urbaine dans son ensemble ».

Cette dernière donne réalité aux petites choses d'apparence secondaires : une modification du règlement, la construction d'un équipement, un traitement de sol sur une place, un changement de l'offre de transport, ou tout simplement, une incitation à regarder et à pratiquer autrement l'espace que l'on croyait si bien connaître. Ainsi, s'occuper des piétons, c'est gérer le quotidien, donc le banal, c'est s'intéresser à ce qui se passe de manière inaperçue. Ce n'est ni glorieux, ni spectaculaire. C'est discret, mais fondamental ! » [...]



© Photodisc

Comme citoyens ou comme habitants, ce sont les citoyens qui font la ville, ce sont eux qui décident, au bout du compte, à quoi servira ou ne servira pas la nouveauté qu'on leur propose. [...]

Si l'aménagement concerté s'impose malgré toutes les réticences, c'est tout simplement parce que, sinon, cela ne marche pas... Mais disant cela, on ne renonce nullement à des objectifs audacieux. Donner à voir aux Suisses et les convaincre que la Suisse est urbaine aura peut-être pour conséquence qu'un jour, fatiguée de construire des tunnels pharaoniques pour relier des vallées vides, elle s'intéresse à ses pleins, à sa ville presque unifiée où vivent presque tous ses habitants, cette métropole qui fait un partie de la gigapole européenne et du réseau des villes mondiales, devenu la trame de base de notre écoumène. [...]

Étudier l'espace pour le rendre aménageable par ses acteurs, c'est donc d'abord à cela que je veux me consacrer : c'est « L'espace ensemble » de mon titre. À ce sujet, on dit souvent qu'il est possible de faire n'importe quoi ce qui conduit à l'étalement urbain, au mitage des paysages, aux atteintes à l'environnement naturel, à la fragmentation sociale et la perte de substance du politique. Je souscris à l'essentiel du constat mais pas à l'explication. Si la société fait des choix qui nous paraissent désastreux, c'est parce que ses membres l'ont voulu. L'espace

d'aujourd'hui, c'est déjà en grande partie, le résultat des actions de nos concitoyens d'hier. L'espace de demain, ce sera, pour l'essentiel, l'action de nos contemporains, construite et engagée aujourd'hui. Mais, s'ils ont pu décider d'aller dans une direction, cela signifie que, symétriquement, ils peuvent inverser leur choix et opter pour une tout autre direction – et c'est là qu'intervient notre responsabilité. Nous devons leur proposer des instruments de réflexion et d'information permettant la maîtrise du développement pour qu'on ne soit jamais victimes de leurs décisions comme par le passé, quand, faute de connaître toutes les options possibles et d'en appréhender les conséquences, ces décisions n'ont pas été prises. [...]

Cette proposition est une illustration de la formule d'Emmanuel Kant, qui n'a pas pris une ride : « Les Lumières, c'est la sortie pour l'humanité de l'état de tutelle dont elle est elle-même responsable. » C'est à cette odyssée-là, à ce voyage interminable dont on n'espère sortir plus savant et plus sage, que je me réfère. Une odyssée à laquelle, par le truchement, partiel mais transversal, de l'exploration de l'espace habité, je me propose modestement, avec vous, de participer. "●

► Pour tout renseignement :

Jacques Lévy
Laboratoire Chôros EPFL
<http://choros.epfl.ch>



Le FIG 2006

Les géographes redécouvrent les Amériques

■ Jean-Pierre MAILLARD

Le Festival international de géographie de Saint-Dié-des-Vosges (FIG) reste un grand moment de culture populaire. Cette année encore, en nombre, les tables rondes, conférences, salons et spectacles ont mobilisé l'intérêt des participants souvent conduits, devant tant d'offres, à regretter n'avoir pas le don d'ubiquité.

L'édition 2006 a porté sur le thème "Les géographes redécouvrent les Amériques", choisi pour rappeler que le nom de baptême du nouveau monde a effectivement été donné par le Gymnase de Saint-Dié il y a tout juste cinq cents ans. Ce faisant, le FIG a retenu la meilleure façon de fêter l'anniversaire.

Les terres françaises des Amériques, la Guadeloupe, la Guyane, la Martinique, Saint-Pierre-et-Miquelon ont été invitées en tant que pays, cet outre-mer solidement attaché à la métropole. Invitées aussi pour incarner le FIG 2006, des personnalités de premier plan se sont réunies autour de Christian Pierret, député-maire et fondateur du festival. Avec la présidente Julia Kristeva, on a notamment remarqué Emmanuel Todd, Claude Hagège et Erik Orsenna. On peut regretter que les deux derniers n'aient pas pu honorer complètement leur engagement par un emploi du temps bousculé, temps qui leur a manqué pour répondre complètement à l'attente du public. En revanche leur seule présence a donné au sujet de la langue française, aux Amériques et ailleurs,



toute la dimension qu'il mérite. En citant Boutros Boutros-Ghali, ancien Secrétaire général des Nations Unies, "La francophonie est née d'un désir hors de France", Christian Pierret a souligné que "la langue est un lien remarquable de parenté qui dépasse en force celui d'une idéologie".

Pour Claude Hagège et tous ceux qui se mobilisent contre la concurrence de l'anglais, pour ne pas dire l'hégémonie, défendre le français n'est pas un combat rétrograde, ni une mission impossible, encore moins une prétention démesurée. C'est au contraire un combat humanisme puisque la langue de Molière est porteuse des valeurs du siècle des Lumières et de la déclaration des droits de l'homme et du citoyen. C'est surtout un combat pour assurer une nécessaire pluralité linguistique dans un monde de plus en plus globalisé.

Chaque année, le jury international du FIG décerne le prix Vautrin Lud, le nom du chanoine qui en 1507 fit imprimer l'ouvrage "Introduction à la cosmographie" comprenant la fameuse carte du

monde indiquant pour la première fois le nom "America". Il est considéré comme le Nobel de la géographie puisque cette discipline n'est pas honorée à Stockholm. En 2006, il est attribué à l'un des plus grands climatologues européens, le chercheur suisse Heinz Wanner spécialiste de la pollution atmosphérique en ville. Sa conférence sur le réchauffement climatique, qu'il a replacé à l'échelle de l'Histoire, n'a pas pu accueillir toutes les personnes intéressées, succès oblige.

Sans qu'il y ait de relation de cause à effet, on peut prendre en charge un exposé du programme de la FIG et en même temps écrire dans XYZ. Ainsi, l'an dernier, Michel Kasser a été remarqué à Saint-Dié en traitant les systèmes de références géographiques. Cette année c'est au tour de Laurent Polidori de s'impliquer en présentant la Guyane, plus précisément sa cité de l'Espace, en s'interrogeant : "Kourou, le Houston du Sud ?". Le poids démographique des deux villes étant sans commune mesure, la comparaison apparaît hasardeuse. Pourtant les développements technique, économique et urbain de Kourou sont tels qu'un avenir de la base européenne de lancement des fusées est tracé sans qu'une limite soit aujourd'hui fixée.

L'Institut géographique national (IGN) a présenté le Géoportail, la mise en place des premiers services disponibles très rapidement (téléchargement, applications pour la gestion communale,...) et sa toute prochaine évolution pour la mise en place de la 3D, dès 2007. Le présentateur de l'IGN a vécu les rigueurs du direct car un problème informatique n'a pas permis la mise en marche de la

démonstration. Pour sa part le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) est en charge de l'élaboration et de la mise en place du Géocatalogue. L'outil de consultation en cours de développement doit permettre la recherche de métadonnées et celle du bon équilibre dans le nombre de lots de données décrits – on parle de la prise en compte de mille lots pour la fin de l'année-. La date de la mise en service n'a encore pas été avancée, celui-ci devant de toutes façons considérer le caractère évolutif du Géocatalogue.

La table ronde géomatique *"les systèmes informatiques de géographie : SIG participatifs, SIG et gouvernance"* organisée par SIG la Lettre a mis en valeur le poids grandissant des outils dans la maîtrise des données et souligné, pour l'accès à ces dernières, l'intérêt de la gratuité. En effet, celles-ci, le

plus souvent acquises par l'investissement public, n'ont pas à être payées deux fois par l'utilisateur déjà contribuable. Les intervenants ont aussi considéré la saine concurrence public/privé dans l'exploitation des dites données. Jean Carrière, géographe à l'Université de Québec constate que les SIG participent à l'éducation civique. Décrypter une carte, comprendre comment elle est faite, permet aux jeunes québécois d'être des citoyens plus responsables au moment où leur gouvernement a décidé de mettre en ligne de nombreuses informations, dans un pays où 70 % des familles sont équipées d'un ordinateur relié à Internet. Poursuivant sa réflexion, il s'interroge : *"Qu'est ce qu'une bonne carte ?"*. Pour le géographe, ce n'est pas forcément celle qui respecte à la lettre les principes de la

sémiologie graphique. C'est celle qui permet aux gens de trouver ce qu'ils cherchent, même sans légende !".

Comme chaque année, le salon de la géomatique a constitué une vitrine de la recherche scientifique dans le domaine. Avec des moyens mis à disposition par FranceTélécom, les participants au nombre desquels Météo France, l'ENSG et l'IGN ont répondu aux questions des visiteurs ceux-ci ayant aussi profité de l'exposition de posters scientifiques associée.

Rendez-vous en 2007 au 18^e Festival international de géographie qui se déroulera autour du thème "La planète en mal d'énergies", la Roumanie étant le pays invité. ●

► Pour tous renseignements : www.fig-saintdie.com

Exposition "Villégiatures d'Yerres et de Brunoy"

Du 8 au 19 septembre 2006, dans le cadre des journées du Patrimoine, en partenariat avec la mairie de Yerres, celle de Brunoy et son musée, la société de Géomètres-experts ATGT a présenté au public 30 manifiques plans aquarellés datant des XVIII^e et XIX^e siècles.

M. Jean-Louis Marchebout, Géomètre-expert, a sélectionné les différents plans exposés en collaboration avec M. Gilles Baumont, responsable des archives de la ville d'Yerres.

Cette exposition a été agrémentée de commentaires sur le métier de géomètre et d'une vitrine dévoilant d'anciens instruments : chaîne d'arpenteur, planchette du XVII^e siècle, équerre optique, tachéomètre... Celle-ci s'est déroulée dans la salle de l'Orangerie, à l'intérieur du Parc historique "Caillebotte" peintre impressionniste qui a résidé de 1860 à 1879 à Yerres. Ces archives ont pu, grâce aux géomètres-experts successifs, être conservées et servir à la conservation du patrimoine notamment dans les réhabili-



tations du parc (bâtiments, chalet suisse, kiosque, glacière, allées, pièce d'eau...) effectuées par les architectes en concertation avec le service des monuments historiques. Le vernissage de l'exposition a eu lieu le jeudi 14 septembre 2006 en présence du Député-maire Nicolas Dupont-Aignan, et d'Armel Bertin PDG de l'ATGT. En conclusion, saluons la belle initiative de topographes et de géomètres-experts qui, valorisent leurs archives et jouent un rôle dans la transmission du patrimoine historique des communes. ●



Armel Bertin, Nicolas Dupont-Aignan député Maire de Yerres et Jean-Henri Couedel adjoint à la culture à Brunoy.



Intergeo® 2006 23^e congrès international de la FIG



■ Olivier REIS

C'est à Munich, carrefour économique du sud de l'Allemagne et capitale du Land de Bavière, le plus étendu du pays, que se sont donné rendez-vous les professionnels de la topographie du monde entier durant la deuxième semaine du mois d'octobre 2006, dans une agréable atmosphère d'été indien. Deux événements phares s'y sont trouvés réunis par la grâce d'un organisateur commun, l'association allemande de topographie ou DVW.

Une manifestation de très grande ampleur

En effet, organisatrice d'Intergeo®, manifestation annuelle combinant un salon et un congrès consacrés à la géodésie, à la géomatique et à la gestion du territoire et dont nous nous faisons l'écho dans ces colonnes à chaque édition (la douzième du nom à Munich), la DVW représente également l'Allemagne au sein de la FIG dont elle assure la présidence durant la période 2002 - 2006. Il est donc bien naturel que ces deux manifestations aient été fondues dans un creuset unique cette année, permettant à l'organisateur de clore dignement sa présidence par un événement marquant les esprits. Quelques chiffres pour en donner l'ampleur : les congrès d'Intergeo® et de la FIG ont rassemblé conjointement plus de 2700 participants venus de plus de 100 pays, le salon qui s'est déroulé du mardi 10 au jeudi 12 octobre a quant à lui attiré

près de 19 000 visiteurs dont un quart étaient étrangers, 15 % d'entre eux environ venant par ailleurs d'autres continents. Près de 550 exposants issus de 29 pays différents se sont partagé une surface brute d'exposition atteignant 30 000 m² cette année. Rappelons pour mémoire les chiffres de l'édition 2005 qui s'était tenue à Düsseldorf : 1 600 congressistes, plus de 16 000 visiteurs, 25 000 m² de surface brute d'exposition, 515 exposants en provenance de 24 pays. La progression, nette à tous les niveaux et partiellement due au bon millier de participants au congrès de la FIG, témoigne s'il en était encore besoin de l'importance de ce salon.

Intergeo®, salon international de la géodésie, de la géomatique et de la gestion du territoire

Unité de lieu et coordination étroite ne sont toutefois pas synonymes de fusion pure et simple et cela d'autant moins que les destins des deux manifestations se sépareront à nouveau dès l'an prochain. Le congrès de la FIG et Intergeo® ont donc conservé les caractéristiques qui leur sont propres et comme à son habitude, ce dernier s'est scindé en ses deux volets que sont l'exposition et le congrès.

Placé sous le signe de la "connaissance et de l'action au profit de la Terre", celui-ci a abordé un large éventail de thèmes très différents les uns des autres (infrastructures de géodonnées, standardisation en matière de géodonnées de base, relevé laser terrestre, aménagement du territoire, évaluation foncière, place des SIG dans l'enseignement et les processus économiques, perspectives d'avenir des métiers de la géomatique, innovations dans le domaine des techniques topographiques du bâtiment, géodésie (gravimétrie et systèmes/cadres de référence), marchés potentiels ouverts par l'information géographique et Galileo) mais ayant le développement durable comme dénominateur commun. De multiples nouveautés tant au niveau des produits que des technologies ont en outre fait l'objet de présentations. Au total, on dénombrait près d'une centaine de communications sur l'ensemble des sujets évoqués, de sorte que les participants avaient bien souvent l'embarras du choix, à condition cependant de maîtriser la langue allemande. Notons par ailleurs que diverses sessions plénières combinées Intergeo / FIG ont eu lieu, en anglais celles-ci, portant sur la gestion des risques de catastrophes naturelles, la géodésie et le changement climatique ou les informations géographiques à la demande.



La perspective dans laquelle elles s'inscrivaient restait donc dans la droite ligne de celle du congrès, à savoir le développement durable.

Venons-en à présent à l'exposition qui a vu sa surface brute croître de 20 % entre les éditions 2005 et 2006, laquelle a également enregistré un nombre record d'exposants et de sous-exposants, bien que les entreprises présentes ne soient pas toutes indépendantes les unes des autres. Un examen attentif du catalogue fait par ailleurs apparaître quelques données intéressantes au premier rang desquelles l'écrasante majorité d'exposants allemands ou supposés tels (en effet, toutes les sociétés multinationales, et elles sont tout de même quelques unes, sont représentées par leur filiale allemande), de sorte que les petites et moyennes entreprises allemandes du secteur topographique constituent toujours le socle sur lequel s'appuie Intergeo®. Soulignons ensuite la modestie de la présence française (8 sociétés au total) même si elle reste comparable à celle des Britanniques (10) ou des Italiens (5) mais également à celle des Australiens (7) ou des Canadiens (7), ce qui est tout de même plus surprenant. La présence des Etats-Unis semble plus conséquente que lors des éditions précédentes (14 sociétés directement représentées), celle de la Russie étant à peu près équivalente. La nouveauté vient plutôt des pays d'Europe centrale et orientale (19 sociétés ou organisations dont une forte présence croate - peut être qu'Intergeo® East, déclinaison printanière d'Intergeo® pour le sud-est de l'Europe depuis 2004 n'y est pas étrangère) et surtout des géants en devenir que sont l'Inde (2 sociétés) et la Chine (8 sociétés). Cette dernière était pour l'essentiel représentée par des constructeurs d'instruments, majoritairement de théodolites, niveaux ou tachéomètres mais aussi de récepteurs GNSS. Plus inattendu, un parc industriel dévolu au secteur de la géomatique, actuellement en cours d'implantation près de la grande ville de Harbin (au nord-est de la Chine), était venu se présenter et vanter les impressionnantes capacités de travail qu'il proposera à terme.

Comme tous les ans, l'exposition accueillait toutes sortes d'acteurs du marché de la géomatique, de la géodésie et de la gestion du territoire. Si certains étaient attendus comme les fabricants d'instruments (niveaux, théodolites, récepteurs GNSS) ou d'accessoires, les éditeurs et développeurs de logiciels (majoritaires, proposant un très large spectre de produits, de la DAO à des SIG de toutes natures, en passant par la cartographie la photogrammétrie, la gestion immobilière ou l'intégration de Google Earth), l'édition spécialisée (avec un centre média en libre service) ou encore des producteurs de géodonnées, institutionnels ou privés, d'autres en revanche étaient plus inattendus, comme la Bundeswehr (forces armées allemandes), des entreprises très spécialisées (dans la commercialisation de papiers spéciaux par exemple), l'université d'Etat de Sibirie, à Novossibirsk, ou encore des instituts géographiques nationaux (comme ceux de Suède, de Serbie ou de Croatie). La proportion non négligeable de stands proposant des relevés laser (matériel ou prestations de services) mérite par ailleurs d'être signalée. Deux nouveautés sont aussi à porter au crédit de l'édition 2006 : un forum destiné à promouvoir les transferts de connaissances et qui mettait quotidiennement l'accent sur un thème différent (logistique et transport, cyberadministration, infrastructures de géodonnées au niveau international) de même qu'un espace "open source" réservé aux projets et aux solutions en matière de logiciels ouverts dans le domaine de la géomatique.

Concluons enfin ce tour d'horizon de l'exposition par un bref changement de perspective et oublions un peu le contenu technique pour nous arrêter sur la gestion de l'espace imparti aux exposants et leur stratégie de communication. Force est de constater que le sérieux et la sobriété étaient généralement de mise, même si un brin de fantaisie (une attraction égayant le stand), une certaine exubérance (une scène proposant un concert quotidien) ou des largesses (distribution de sièges pliables) pouvaient être relevés ici ou là. D'ailleurs, ce dernier type d'initiative rencontre toujours le même succès, éphémère certes, mais garanti.





■ ■ ■ 23^e congrès international de la FIG

Étalé sur six jours (du 8 au 13 octobre), le 23^e congrès international de la FIG a rassemblé plus d'un millier de participants venant de près de 100 pays différents. Ils se sont vu proposer plus de 500 interventions différentes entre les sessions plénières, les ateliers de travail et les sessions techniques mettant à contribution chacune des dix commissions de la FIG (pour mémoire : 1. Pratique professionnelle, 2. Enseignement professionnel, 3. Gestion de l'information spatiale, 4. Hydrographie, 5. Positionnement et mesures, 6. Topométrie d'ingénierie, 7. Cadastre et aménagement foncier, 8. Développement et planification de l'espace, 9. Expertise et gestion immobilière, 10. Economie et gestion de la construction). Il est impossible de résumer en quelques mots la richesse et la diversité des conférences et exposés proposés dont la liste complète occupe plus de 50 pages du programme. Observons cependant que la devise de ce 23^e congrès – "modeler le changement" ("shaping the change" en version originale) – avait pour but de souligner l'importance du rôle joué par les professionnels de la topographie, dans les pays développés et encore plus dans les pays émergents, en matière d'aménagement et de gestion du territoire afin de garantir le développement durable des activités humaines, rejoignant ce faisant la thématique d'Intergeo® en la complétant. Considérer notre profession sous cet angle per-

met également de la valoriser aux yeux du grand public et sait-on jamais, de susciter des vocations.

Un pari réussi ?

La tenue commune, en 2006, d'Intergeo® et du 23^e congrès international de la FIG devrait très certainement profiter à Intergeo® dans les années à venir, en ce sens qu'elle devrait contribuer à accroître son internationalisation, ce qui constituait l'un des buts avoués des organisateurs. En effet, des délégués de plus de 100 pays étaient présents à Munich, la plupart d'entre eux ont visité l'exposition et en ont ramené des impressions chez eux - très favorables selon le sondage réalisé par les organisateurs. Ils souhaiteront donc revenir dès l'an prochain, ce qui, toujours selon ce même sondage, est le cas d'une très large frange des visiteurs du salon, lesquels soulignent par ailleurs le degré élevé d'adéquation entre leurs attentes et ce que les organisateurs leur proposent. En résumé : la réussite de l'événement de cette année ne révélera sa réelle ampleur que l'an prochain.

Quoi qu'il en soit, Intergeo® constitue d'ores et déjà l'une des manifestations les plus importantes du domaine de la topographie et permet, année après année, de prendre le pouls de notre profession et de constater la manière dont elle évolue.

Rendez-vous est donc pris pour Leipzig, où la 13^e édition d'Intergeo® se déroulera du 25 au 27 septembre 2007, afin de vérifier si la tendance à l'internationalisation s'accroît à hauteur des espérances du DVW qui compte par ailleurs lancer une étude avant la fin de l'année 2006 visant à identifier de nouveaux champs d'application pour les technologies existantes des domaines de la géodésie, de la géomatique et de l'aménagement du territoire.

Le 24^e congrès international de la FIG se tiendra quant à lui à Sydney en 2010. ●



Photos reproduites avec l'aimable autorisation de Hinte Messe.

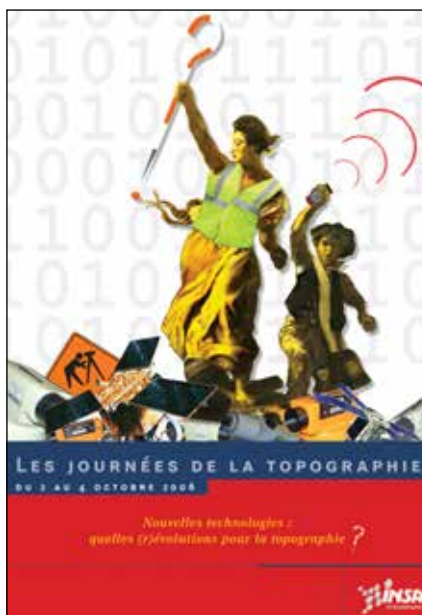
Les étudiants de l'INSA de Strasbourg racontent les Journées de la Topographie 2006

■ **Louis CAUDRELIER et Baptiste BARBIER,**
étudiants en 4^e année ingénieur à l'INSA de Strasbourg

Les 4^{es} journées de la topographie se sont déroulées du 2 au 4 octobre à l'INSA de Strasbourg. Comme chaque année, des présentations orales des Projets de Fin d'Études (PFE) occupaient chaque matinée.

La variété des sujets traités nous illustre encore la diversité de l'enseignement que propose la spécialité Topographie à l'INSA de Strasbourg. Nous avons eu, en effet, le plaisir d'entendre des PFE traitant de laser aéroporté, de photogrammétrie en archéologie médiévale, du réseau TERIA, d'urbanisme, de SIG et de bien d'autres thèmes encore. Les structures encadrant ces PFE sont également très différentes ; certaines sont des organismes de recherche en France ou à l'étranger, des collectivités territoriales ou encore des entreprises privées.

La richesse de ces PFE permet d'éclairer les étudiants des premières années dans leurs perspectives d'orientations professionnelles. Je vais ainsi parler d'un PFE qui m'a personnellement beaucoup intéressé. Il traite d'urbanisme, et plus précisément de l'analyse prospective sur les parties d'aménagement possibles dans une petite commune d'Alsace (Fegersheim) dans le cadre des réflexions sur l'aménagement de la RN83. On commence à parler d'urbanisme en 2^e année de formation en topographie, mais c'est un domaine qui reste peu connu pour la plupart des étudiants. Pour ma part, cette étude m'a permis de découvrir l'urbanisme à travers un cas concret qui s'est avéré très complet.



Le lundi après-midi avait lieu la Tribune des Spécialistes. Cette année le thème était : "Nouvelles technologies : Quelles (r) évolutions pour la topographie ?" Constructeurs, chef d'entreprise, professeur, et géomètres ont exposé leurs points de vue sur ce sujet en se rapportant à leur profession. Nous avons pu découvrir, à travers ce débat, l'évolution des appareils et méthodes topographiques et avons eu un aperçu des futures innovations et problèmes qui en découlent. L'évolution de la profession a été évoquée par M. Gaudet (Président du Conseil Supérieur de l'Ordre des Géomètres-Experts) puis l'évolution de la formation à l'INSA de Strasbourg a été retracé par M. Grussenmeyer (enseignant en spécialité topographie). D'autre part, l'évolution des modes d'acquisition en topographie a été exposée par M. Chazaly, ingénieur topo et jeune chef d'entreprise en lasergrammétrie,

puis le point de vue des constructeurs M. Kadded (chef de produit chez Leica) et M. Cabanel (responsable grands comptes chez Trimble) a permis d'admirer les changements et développements subis par les instruments ces 30 dernières années. Pour terminer, M. Delerba (Ingénieur à la Ville de Nice et actif au niveau du CNIG) a retracé les évolutions dans le domaine de la géodésie. Le débat a attiré un grand nombre de personnes, ce qui était à prévoir au vu des questions abordées. Cette première journée s'est terminée par une présentation de l'OGE aux premières années de topographie suivie d'un vin d'honneur célébré dans une ambiance très conviviale.

Le mardi se tenait un débat concernant la profession de Géomètre-Expert en 2020 dans le contexte Européen. Un rapport d'étape sur la réflexion menée au niveau local par la profession dans le cadre de la mission Géomètre Expert 2020 a été présenté par M. Schaller, Président du Conseil Régional de l'OGE. Puis, les incidences et implications du contexte et des enjeux européens pour les géomètres experts ont été détaillés par M. Francesco Delfini, Directeur général de l'OGE et chargé du suivi des affaires européennes. Enfin,



M. Schaller, Président du Conseil Régional de l'OGE.



Promotion d'ingénieurs topographes 2006.

■ ■ ■ l'engagement de l'Ordre des Géomètres Experts au niveau européen a été abordé par M. Alain Gaudet, Président National de l'OGÉ et également Président de Geometer Europas.

Durant cette même journée avait lieu le Salon des Exposants. Une vingtaine d'entreprises étaient venues présenter leurs produits et pouvaient à tour de rôle prendre la parole sur le Podium des entreprises. Ainsi, les géomètres, ingénieurs et autres professionnels de même que les étudiants ont pu prendre contact avec ces constructeurs ou prestataires de services pour se tenir au courant des dernières nouveautés, pour prévoir des achats, trouver des stages ou emplois... Nous avons pu présenter notre voyage d'étude qui se déroulera à Prague en avril prochain. Ce voyage sera en partie financé par divers travaux effectués pendant nos études et vacances (chantiers de nivellement pour la Communauté Urbaine de Strasbourg en particulier) et par la vente de t-shirts durant ces journées. Les 20 stands installés pour cette manifestation ont été occupés par : l'AFT, ADPR, ATM3D, Azimut, Bornes FENO, Groupe FIT, GEOMEDIA, GEOTOPO-TRIMBLE, IONIC Software, JS INFO, KLT Associates, KUBIT, LEICA Geosystems, MEASURIX, OGE, SITES, STAR-APIC, TECHNO GIS, TPLM-3D.

La journée du mercredi a clos cette manifestation dans une ambiance plus festive avec la remise des diplômes.

Ensuite, a eu lieu la remise du Prix AFT 2005, concours organisé tous les ans

par l'AFT et visant à récompenser les meilleurs PFE des jeunes ingénieurs topographes français diplômés de l'année précédente. Ce concours s'adresse aux écoles d'ingénieurs de l'ENSG, ESGT, ESTP et INSA de Strasbourg. Cette année, l'entreprise TOPCON a co-financé le prix. Tous les lauréats n'étaient pas présents mais certains avaient donné procuration à leur collègue pour leur discours de remerciement. Le premier prix d'un montant de 600 euros a été décerné à Hervé Daudigny (issu de l'INSA de Strasbourg), qui travaille aujourd'hui pour l'armée de l'air, là où il avait effectué son PFE auparavant. Son travail était intitulé : *Proposition de chaîne opérationnelle de reconstruction 3D de sites à partir de*

données spatiales ou aéroportées. Le second prix (400 euros) a été décerné à Sébastien Varea (issu de l'INSA de Strasbourg) pour un article sur la photogrammétrie et la muséologie. Il est aujourd'hui jeune chef d'entreprise. Pour le 3^e prix, deux ex-aequo ont été appelés : Pauline Lucas (INSA de Strasbourg) et Nicolas Janvier (ESGT) qui ont travaillé respectivement sur la création de photomodèles adaptés à l'étude des fronts rocheux et sur la réalisation d'un système de stéréovision mobile routier. Les articles correspondants ont été publiés dans le numéro 108 de la revue XYZ de l'AFT.

Les retombées médiatiques des journées de la topographie furent surprenantes et à la hauteur de l'évènement. En effet, une interview de Monsieur Gaudet, a permis de faire la publicité de cet événement sur *France Bleu*, dans le journal *l'Alsace*, dans le journal *Métro*, et aux informations régionales sur *France 3*. A la suite de ces annonces, un reportage réalisé par *France 3* a porté sur le métier de géomètre-expert. Cette reconnaissance médiatique a permis au-delà de la promotion de cet événement de faire celle de la profession de Géomètre. Ces journées furent encore un franc succès tant pour les étudiants que les professionnels et nous vous invitons déjà aux Journées de la Topographie 2007, car des nouveautés sont déjà en cours de réflexion ! ●

Remise du Prix AFT 2005



Création de photomodèles adaptés à l'étude des fronts rocheux

■ Pauline LUCAS

Les géologues travaillant au sein du bureau d'étude en risques naturels GIPEA (Géomatique Ingénierie Prévention Environnement Aménagement) ont besoin d'un outil leur permettant de visualiser à la fois la géométrie et la nature des fronts rocheux. Ils ont besoin de ces informations pour réaliser leurs études de stabilité et proposer des aménagements.

Il a donc été décidé de réaliser un outil informatique permettant la création d'un photomodèle des parois à étudier. Pour réaliser un photomodèle nous avons besoin de photographies du front et d'un semi de points 3D représentant la géométrie de la paroi. Pour être exploitables les photographies devront être orientées. Pour cela il faut également mesurer des points de calage. Une méthodologie décrivant les étapes d'acquisition de ces données, photographies et points de calage, a été mise au point.

L'outil informatique créé permet tout d'abord, d'orienter les photographies grâce aux points de calage à partir d'un calcul de compensation basé sur les principes de la DLT (Direct Linear Transformation). Puis une autre application traite la triangulation du semis de points 3D par la méthode de Delaunay appliquée aux coordonnées sphériques des points. Le maillage ainsi obtenu est ensuite texturé pour obtenir un photomodèle réaliste du front rocheux. Un module de restitution 3D a également été créé en attendant que les outils prévus pour faciliter l'interprétation géologique et la représentation des aménagements à apporter soient programmés.

Le projet de fin d'études présenté a été réalisé au sein de l'entreprise GIPEA (Géomatique Ingénierie Prévention Environnement Aménagement).

Depuis sa création, GIPEA s'emploie à développer des programmes informatiques pour faciliter l'appréhension et le traitement des données relatives aux risques naturels majeurs et aider à la décision en matière d'aménagement. Son activité est très diversifiée : élaboration de Plan de Prévention des Risques, étude de stabilité de versants, réhabilitation de carrières, études d'impacts, photogrammétrie, etc...

Pour développer ces activités, GIPEA dispose d'employés possédant diverses compétences (informatique, géotechnique, mécanique des roches, topographie, hydraulique).

C'est dans ce cadre de développement des outils de travail que mon projet s'est déroulé. Il avait pour but la

conception d'un outil informatique permettant la réalisation de photomodèles utilisables pour des études géologiques de fronts rocheux naturels (tels que des falaises) ou exploités (tels que des carrières).

L'instrument mis en place doit aider le géologue à étudier la géométrie de la paroi ainsi que la nature et les caractéristiques de la roche.

Le projet avait également pour but la conception d'outils facilitant l'extraction des informations utiles à l'analyse des risques que présente la paroi (mesure de distances, mesure de volumes, extraction de profils, visualisation de plans...).

Pour aboutir au résultat attendu, le projet a été divisé en quatre grandes phases.

Tout d'abord, nous nous sommes intéressés aux données nécessaires à la réalisation d'un photomodèle (photographies, points de calage, modèle 3D)

et aux différentes méthodes pour les acquérir. Cette première étape a permis de créer une méthodologie d'acquisition des données.

Nous avons ensuite étudié les possibilités de transformation du semi de points 3D en un modèle maillé.

Puis, nous nous sommes penchés sur l'utilisation de textures afin d'obtenir un photomodèle réaliste. Cette étape comprend aussi bien l'orientation des photographies utilisées comme texture que le placage de ces textures sur le modèle 3D. Enfin, nous avons recherché les outils qui peuvent être utiles à l'interprétation du photomodèle et étudié les possibilités d'intégration de ces outils dans une application.

Les éléments constituant le logiciel final ont été programmés en C++ sous un environnement Visual C++. Ce choix a été réalisé par l'informaticien de GIPEA pour répondre aux exigences des calculs et pour permettre une adéquation

■ ■ ■

- entre le logiciel créé et les logiciels existants.

Levé : établissement d'une méthodologie

La méthode utilisée pour la représentation de fronts rocheux par un photomodèle doit s'adapter au mieux aux compétences des personnes susceptibles de l'appliquer et aux moyens matériels dont dispose GIPEA.

Nous avons donc choisi des méthodes de prise de vues et de mesure des points de calage répondant à ces critères.

■ Contexte de création de l'outil

Seul le topographe de l'équipe était familiarisé avec les principes de la photogrammétrie. Il a donc fallu mettre en place une méthode d'acquisition des photographies et des points de calage pour permettre aux autres membres de l'équipe de réaliser des photomodèles sans l'aide du topographe.

GIPEA dispose d'un appareil photo numérique, le Nikon D70. Cet appareil a été acheté avant mon arrivée dans l'entreprise, nous avons donc dû nous adapter à ses caractéristiques. (Voir figure 1)

Il est également important de souligner que GIPEA ne possède pas d'appareil de topographie type tachéomètre. Elle doit donc sous-traiter les travaux de lever des points de calage. Cependant, le

choix de la disposition et du nombre de points de calage s'effectuera par un employé de GIPEA qui devra également transmettre au topographe chargé des travaux, ses exigences de levé (méthode choisie, précision attendue...).

■ Prises de vue

Les photographies des fronts rocheux devront, à la fois permettre le placage de texture sur le photomodèle et une éventuelle stéréorestitution.

Pour plus de facilité, une plus grande couverture de la paroi, et en fonction du matériel dont dispose GIPEA, il a été décidé que les photographies seront terrestres et non pas aériennes. De plus, pour pouvoir être utilisées pour les applications définies ci-dessus, elles devront répondre aux critères suivants :

- Chaque zone à étudier par stéréorestitution doit se trouver sur deux clichés constituant un couple
- Le recouvrement entre deux clichés doit être supérieur ou égal à 60%
- Les axes de prises de vues doivent être parallèles ou très peu convergents (entre deux clichés d'un même couple)
- La base de prise de vue doit être la plus possible parallèle à la surface à étudier
- Tous les éléments devant apparaître sur le photomodèle doivent être photographiés (nécessité de compléter le levé prévu pour la restitution afin de couvrir les parties cachées)

Afin d'aider le personnel de GIPEA non familiarisé avec la photogrammétrie, des tableaux récapitulant les conditions de prises de vues à respecter pour répondre aux critères énoncés ont été mis en place. Ils reprennent les paramètres essentiels, c'est-à-dire la distance à respecter entre deux photographies pour obtenir un couple stéréoscopique, la taille de la zone couverte par une photographie, et la taille du terrain représenté par un pixel. Ces tableaux ont été élaborés en fonction de l'éloignement "objet-appareil" et des caractéristiques de l'appareil photo numérique utilisé par GIPEA.

■ Points de calage

Des points de calage seront nécessaires pour orienter les photographies, ils devront être au minimum 6 et ne pas se situer dans un même plan (Conditions d'utilisation de la "Direct Linear Transformation"). Cependant, les fronts n'offrent souvent pas d'éléments caractéristiques facilement identifiables pouvant être utilisés comme points de calage. De plus, les fronts rocheux ne sont pas toujours accessibles, il est donc parfois difficile de matérialiser ces points. Il faut donc adapter les méthodes de levé classiques à ces conditions particulières. Ainsi deux méthodes ont été mises en place :

- Les points sont matérialisés par une trace de peinture avant d'être levés par tachéométrie. Un croquis de repérage est ensuite réalisé et les photographies ne sont prises qu'après matérialisation des points (qui sont ainsi facilement identifiables).
- Les photographies ont été prises et les points de calage doivent être mesurés. Les points nécessaires ont été repérés sur la photographie et le porte prisme est guidé par l'opérateur vers ces points. Les points sont relevés par tachéométrie et l'emplacement du prisme, à chaque mesure, est repéré par une photographie.

Nous avons vu que nous devons disposer de six points de calage minimum par photographie à orienter mais nous en mesurerons toujours plus pour parer à une éventuelle erreur.

Caractéristiques	Valeurs
Nombre de pixels	6.1 megapixels
Résolution max.	3008 x 2000
Sensibilité	ISO 800, 400, 200, 1 320, 600, 1600
Taille du capteur	15.6 x 23.7 mm
Type de capteur	CCD
Objectifs disponibles	35-52 mm
Formats d'enregistrement	JPEG, RAW, RAW + JPEG
Interface	USB
Dimensions	14 x 16.8 x 11.1 cm
Poids	595 g

Figure 1 : Principales caractéristiques de l'appareil photo numérique (Nikon D70)

Triangulation

Les semis de points représentant la paroi à matérialiser dont dispose GIPEA pour réaliser le maillage 3D, sont de deux types : des semis de points irréguliers et des levés par profils. Deux méthodes de triangulation correspondant à ces deux types de données ont donc été mises en place et programmées.

■ Semis de points irréguliers

Nous avons tout d'abord étudié les logiciels existants permettant de trianguler des semis de points irréguliers. Ces logiciels se sont révélés très performants mais trop coûteux pour une entreprise telle que GIPEA ; nous avons donc choisi de créer notre propre application de triangulation.

Nous ne pouvions trianguler directement les semis de points en 3 dimensions, il nous fallait passer à un système de coordonnées en deux dimensions pour pouvoir appliquer la triangulation de Delaunay.

Nous avons tout d'abord tenté de projeter les points sur un plan horizontal. Cette méthode a posé des problèmes dans le cas d'étude de surplombs. En effet, dans ce cas, deux points ayant des coordonnées planes identiques peuvent être associées à des altitudes différentes. Ces points seront situés sur un même un triangle alors qu'ils sont en réalité éloignés.

Nous avons ensuite utilisé les coordonnées sphériques des points. En choisissant pour origine du système de coordonnées

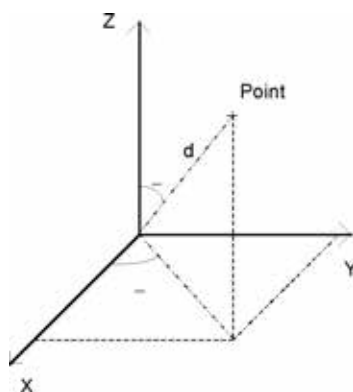


Figure 2 : Utilisation des coordonnées sphériques des points

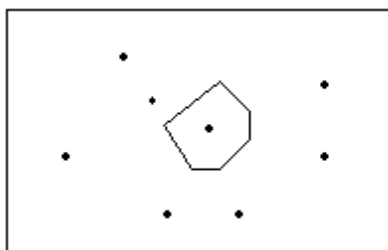


Figure 3 : Polygone de Voronoi d'un point

Source : www.kaddour.com/chap4/chap4.htm.

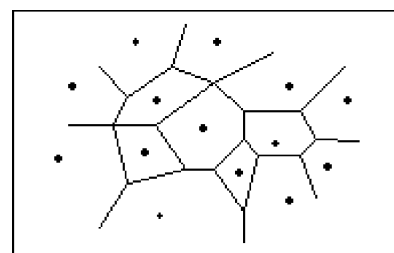


Figure 4 : Diagramme de Voronoi

Source : www.kaddour.com/chap4/chap4.htm.

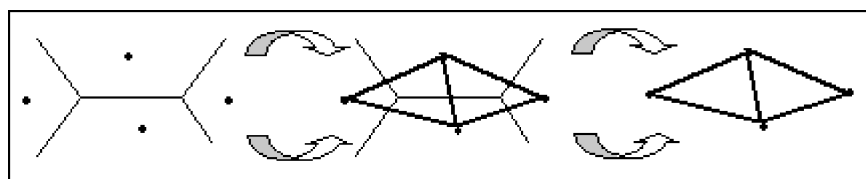


Figure 5 : Construction de la triangulation de Delaunay

Source : www.kaddour.com/chap4/chap4.htm.

données sphériques un point depuis lequel tous les points du semi sont visibles, nous ne pouvons associer à un couple de coordonnées (θ, ϕ) (voir figure 2) qu'un seul point. Le choix du point d'origine est aisé lorsque le semi étudié a été obtenu par tachéométrie depuis une seule station, puisqu'il peut être cette station.

Nous appliquons ensuite la triangulation de Delaunay aux points caractérisés par leurs coordonnées sphériques. Pour obtenir une triangulation de Delaunay, nous utilisons la notion de diagramme de Voronoi qui est l'ensemble des polygones de Voronoi de chaque point.

Le polygone de Voronoi d'un point est l'ensemble des points (x,y) plus proches de ce point que d'un autre point (voir figure 3).

Le diagramme de Voronoi est l'union des polygones de Voronoi de tous les points (voir figure 4).

A partir du diagramme de Voronoi, la triangulation de Delaunay est construite. Pour cela, toutes les paires de points dont les polygones de Voronoi sont adjacents sont reliées par un segment (voir figure 5).

Cette méthode est adaptée à l'étude des fronts rocheux puisqu'elle permet de représenter des surplombs cependant

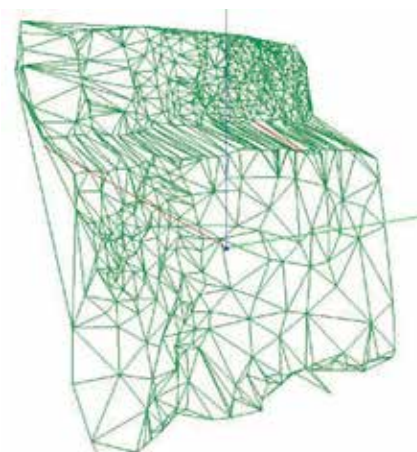


Figure 6 : Exemple de triangulation obtenue avec notre méthode

elle doit être appliquée avec soin car la qualité du résultat obtenu (correspondance avec la géométrie réelle de la paroi) dépend du repère de coordonnées sphériques utilisé

■ Profils

La méthode décrite ci-dessus a été appliquée aux profils dont dispose GIPEA. Nous avons toutefois observé une perte d'informations contenues dans ces profils. Ainsi, une méthode de triangulation spécifique aux profils a été mise en place. Cette méthode consiste à parcourir la liste des profils par paires en les reliant deux à deux, exploitant ainsi la disposition des points en profils successifs.

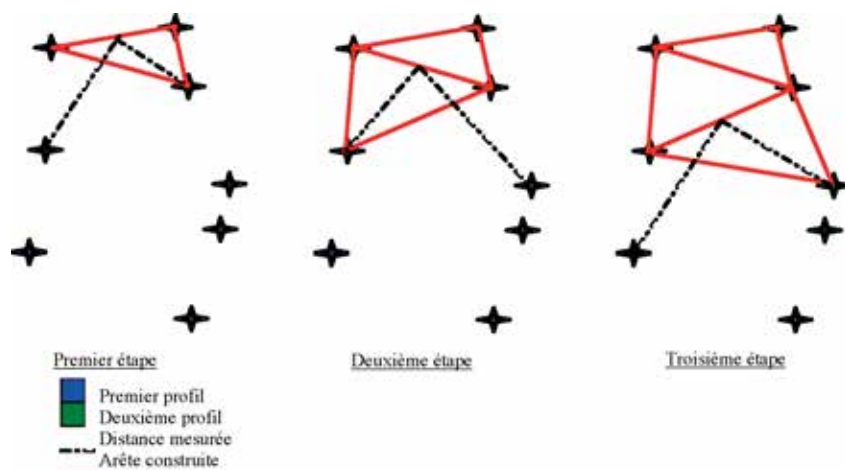


Figure 7 : Méthode de triangulation des profils

Les triangles reliant deux profils sont construits en parcourant des paires de points (un point de chaque profil). En partant des deux premiers points de chaque profil, la première arête du premier triangle est construite, puis les distances du milieu de cette arête avec le point suivant de chaque profil sont comparées. Le point le plus proche est alors retenu pour constituer le troisième point du triangle.

L'arête qui relie ce point au point du triangle appartenant à l'autre profil, sera la première arête du deuxième triangle.

Cette méthode permet de trianguler rapidement des profils sans perdre d'information.

Placage de texture

■ Orientation des clichés

Une seconde application, nommée Orientation/Calibration a été créée et programmée pour calibrer notre caméra et effectuer les orientations interne et externe des photographies de la paroi. Les valeurs des 11 coefficients de la Direct Linear Transformation (DLT) sont déterminées ainsi que les valeurs des paramètres de distorsion (distorsion radiale, distorsion tangentielle et défaut d'orthogonalité et d'échelle). Ces étapes sont réalisées par une méthode de compensation par les moindres carrés basée sur les principes de la "Direct Linear Transformation" (DLT). Pour cela, nous avons besoin des clichés, des

données des points de calage mesurés et des valeurs observées de la focale de l'appareil photo et des coordonnées du point principal. Nous pouvons ensuite calculer les paramètres d'orientation interne (coordonnées du point principal et distance principale) et externe (coordonnées du centre de projection et angles de rotation).

■ Réalisation du photomodèle

Le photomodèle de la paroi peut ensuite être réalisé à partir du modèle 3D de la paroi issu de la triangulation et des photographies orientées. L'étape du placage de texture consiste à chercher une correspondance entre les mailles (triangles) du modèle 3D et une partie de photographie. Pour réaliser cette étape, nous utilisons les résultats de l'orientation des clichés. Nous cherchons pour chaque sommet du maillage (X,Y,Z) le pixel correspondant sur le cliché (xc, yc) en appliquant les formules suivantes :

$$x_c = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} - \Delta x$$

$$y_c = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} - \Delta y$$

Avec :

$$\Delta x = x' (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_1 (r^2 + 2x'^2) + 2P_2 x' y'$$

$$\Delta y = y' (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + 2P_1 x' y' + P_2 (r^2 + 2y'^2) + A_1 x' + A_2 y'$$

$$x' = x - x_0$$

$$y' = y - y_0$$

$$x_0 = \frac{L_1 L_9 + L_2 L_{10} + L_3 L_{11}}{L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2}$$

$$y_0 = \frac{L_5 L_9 + L_6 L_{10} + L_7 L_{11}}{L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2}$$

$$r^2 = x'^2 + y'^2$$

Où :

L1, ..., L11 sont les coefficients de la DLT
K1, K2, K3 sont les paramètres de distorsion radiale

P1, P2 sont les paramètres de distorsion tangentielle

A1, A2 sont les paramètres de correction du défaut d'orthogonalité et d'échelle

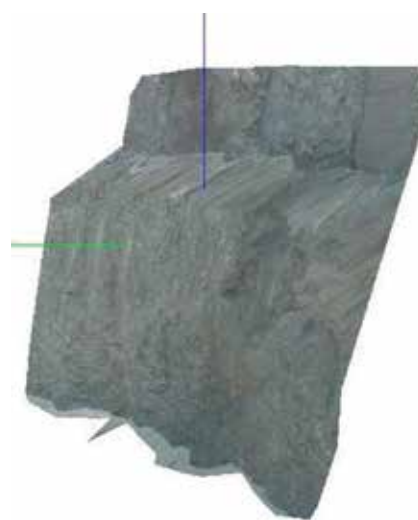


Figure 8 : Photomodèle d'un front rocheux

Notre application permet le placage d'une ou plusieurs texture(s) sur un même modèle 3D. Le choix de la photographie s'effectue en fonction de l'angle de prise de vue. Une photographie prise de face sera privilégiée à une photographie prise en biais.

Le résultat obtenu pourra être visualisé en VRML, pour permettre un déplacement facile, illimité et par toutes les per-

sonnes disposant d'une interface de visualisation adaptée ou sous une application de visualisation réalisée par GIPEA en OpenGL. Cette deuxième option de visualisation a permis d'intégrer au photomodèle des outils présents dans d'autres applications réalisées par GIPEA.

Interprétation du photomodèle

Les géologues souhaitent pouvoir réaliser leurs interprétations directement sur le photomodèle. Les outils d'aide à l'interprétation dont ils avaient besoin ont donc été répertoriés et décrits. Certains de ces outils ont pu être créés et intégrés dans le logiciel de création du photomodèle tandis que d'autres seront programmés prochainement à partir des descriptions que j'ai effectuées.

■ Visualisation des ouvrages de confortement

Les géologues souhaitent pouvoir visualiser les ouvrages de confortement (murs, merlons, filets, clous, ...) qu'ils envisagent de mettre en place pour sécuriser la zone étudiée. La possibilité de visualiser les ouvrages en 3D sur le photomodèle les aidera à dimensionner avec précision les ouvrages et ainsi ils pourront réaliser des estimations de prix également plus précises. De plus, cela leur permettra également de proposer au client les différentes options réalisables et d'évaluer l'impact de chaque ouvrage sur l'environnement visuel.

■ Visualisation des plans

Une application permettant de visualiser des plans a été mise en place. À partir d'une sélection de points (3 minimum) le plan moyen est calculé. Il est tel que la somme des distances des points au plan soit la plus petite possible. Ce calcul est effectué par une compensation par les moindres carrés. Cet outil facilite le travail des géologues puisqu'ils peuvent ainsi situer les couches les unes par rapport aux autres en les représentant chacune par un plan moyen ou encore étudier l'évolution des failles.

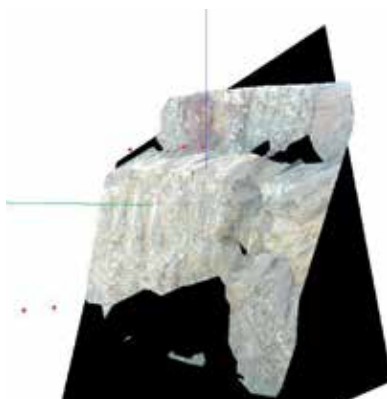


Figure 9 : Exemple de visualisation d'un plan moyen

Le calcul du plan moyen a également été utilisé pour vérifier que les points de calage utilisés lors de l'orientation des clichés ne se trouvent pas dans un même plan.

■ Extraction de profils

Les géologues souhaitent également pouvoir extraire des profils horizontaux et verticaux du photomodèle pour étudier par exemple les trajectoires de chute de blocs. Une première application permettant l'extraction de profils perpendiculaires aux axes du système de coordonnées a été réalisée, elle devra être améliorée pour proposer également l'extraction de profils obliques.

■ Détermination de coordonnées

Pour déterminer les coordonnées 3D des points du photomodèle une application de stéréorestitution a été mise en place. Elle utilise les couples de photographies obtenus grâce à la méthodologie et leur orientation obtenues lors de la création du photomodèle. Cela facilite, par exemple, la détermination de distances.

Conclusion

L'utilisation d'un photomodèle pour les études de stabilité est une grande avancée pour GIPEA qui ne disposait jusqu'à présent d'aucun outil de visualisation 3D des fronts rocheux. Cet outil complètera les méthodes déjà utilisées par les géologues et facilitera leur travail d'interprétation. Il rend également plus aisées les démonstrations et les justifications auprès des clients puisqu'ils peuvent visionner et se déplacer sur les fronts sans être sur le terrain. ●

Contact

Pauline LUCAS
lucas.pauline@gmail.com

ABSTRACT

The geologists working within the engineering and design department in natural risks GIPEA (Géomatique Ingénierie Prévention Environnement Aménagement) need a tool allowing them to visualize at the same time the geometry and the nature of the rock faces. They need this information to make their studies of stability and to propose installations.

It was thus decided to produce a data-processing tool allowing the creation of a photomodel walls to be studied. To carry out a photomodel, we need photographs of the face and 3D points representing the geometry of the rock face.

To be exploitable the photographs will have to be oriented. For that it is also necessary to measure control points. A methodology describing the stages of acquisition of these data, photographs and control points, have been developed. The data-processing tool created allows first of all, to orient the photographs thanks to the control points starting from a calculation of least square adjustment based on the principles of the DLT (Direct Linear Transformation). Then another application treats the triangulation of the 3D points by the method of Delaunay applied to the spherical co-ordinates of the points. The grid thus obtained is then textured to obtain a realistic photomodel rock face. A module of 3D restitution was also created while waiting for that the tools designed to facilitate geological interpretation and representation of installations to be brought are programmed.

Résumés d'articles proposés au prix de l'AFT non primés

Réalisation de modèles 3D texturés type réalité visuelle à partir de données lasergrammétriques et photogrammétriques

■ Vincent FABRY

C'est au sein de la société TPLM-3D que le projet a été réalisé. Elle réalise des prestations topographiques basées sur la technologie laser scanner. La lasergrammétrie ouvre de nombreuses perspectives dans le domaine de l'architecture. L'entreprise souhaitait pouvoir proposer à ses clients des modèles 3D texturés photoréalistes de monuments architecturaux. Le but du projet a été de répondre à la question suivante : comment combiner la lasergrammétrie et la photogrammétrie, tout en répondant aux besoins des clients en termes de rendu photoréaliste de leurs projets ? Le projet s'est déroulé en 3 phases : acquisition des données, mise au point d'une méthode de modélisation, mise au point d'une méthode de texturage. Pour valider ces méthodes, un relevé d'une chapelle romane a été réalisé.

La méthode de modélisation à mettre en place devait être aussi rapide que possible et s'appuyer sur les logiciels disponibles au sein de la société. Après différents tests d'utilisation des diverses solutions de modélisation, trois logiciels ont été retenus, ce qui décompose la méthode en trois phases :

- Création d'un modèle filaire sous Autocad / Cyclone-CloudWorx
- Création de maillages triangulaires 3D sous 3D Reshaper
- Finalisation de la modélisation sous 3D Studio Max

L'orientation interne et externe des photos est calculée par un logiciel développé au sein de TPLM-3D, basé sur la méthode du relèvement spatial. Elle nécessite la connaissance de points de calage, issus d'un levé tachéométrique ou bien du nuage de points. Nous avons également la possibilité de calculer plusieurs photos en même temps par un calcul d'orientation en bloc. L'intérêt d'un tel calcul est de pouvoir introduire des points homologues, ce qui permet d'augmenter la précision des résultats. Les premiers tests de projection ont montré qu'il était nécessaire de corriger les photos de leurs distorsions radiales. La connaissance des coefficients de distorsions, issus du calcul d'orientation interne, a permis de limiter les effets des distorsions, principalement perceptibles sur les arêtes des murs de la chapelle.

Pour texturer le modèle avec les photos numériques de l'objet, nous avons utilisé la technique du "camera mapping". Cette méthode repose sur la connaissance des données d'orientation externe et interne des photos à projeter. Le logiciel 3D Studio Max, dispose d'une fonction de "camera mapping" dont le principe est le suivant : l'utilisateur place et oriente une caméra "virtuelle" dans la scène du modèle 3D à texturer. Cette caméra devra correspondre aux données de la photo à projeter, en terme de focale et de dimension du capteur (pour l'orientation interne), de coordonnées du centre de projection et des angles de la matrice de rotation (pour l'orientation externe). Pour recréer toutes les conditions de prises de vue, et automatiser le placement et l'orientation des caméras dans 3D Studio Max, nous avons développé un plugin codé en langage C++. Le modèle 3D totalement texturé peut à présent être intégré dans un environnement de réalité virtuelle.

Le système laser scanner permet de modéliser un bâtiment dans son ensemble grâce à un relevé haute densité. Associée à la lasergrammétrie, la photogrammétrie architecturale permet d'obtenir un modèle 3D photoréaliste conforme aux attentes des clients. Ce projet a donc permis de constater que le laser scanner terrestre est parfaitement adapté à la réa-

Centralisation des données géographiques au CNASEA et ouverture de la cartographie à la gestion de l'ensemble des aides agricoles

■ Aurélie BERTHY

Cet article traite de la complexité de gestion des aides agricoles européennes. En effet, la Politique Agricole Commune est de plus en plus rigoureuse dans l'octroi des aides et demande aux pays membres un respect accru de la réglementation et un contrôle plus sévère des exploitations. Par ailleurs, la cartographie numérique fait aujourd'hui partie intégrante de la gestion d'une exploitation. Pour assurer les missions qui lui sont confiées, le CNASEA (Centre National pour l'Aménagement des Structures des Exploitations Agricoles), organisme payeur de certaines aides agricoles s'engage donc dans la centralisation des données géographiques et souhaite ouvrir la cartographie à l'ensemble des dossiers d'aides dont il a la charge. L'étude s'intéresse au contexte, aux besoins et à la méthode d'organisation du CNASEA. ●

Calibration du photothéodolite de l'IGN et traitements d'images pour la surveillance d'ouvrages au sein de l'unité des Travaux Spéciaux de l'IGN

■ Stéphanie D02

Le photothéodolite est un instrument peu connu combinant caméra et tachéomètre. Aujourd'hui l'unité des Travaux spéciaux de l'IGN tente de faire renaître cet appareil de ses cendres car il pourrait être un atout majeur dans le domaine de l'auscultation. La surveillance d'ouvrages par la photographie, c'est ce que propose le projet du photothéodolite.

Le faible rapport capteur/focale de la caméra complique la calibration de cet appareil. Les méthodes classiques ne sont pas adaptées à cette configuration. La calibration proposée passe par une détermination du sommet de prises de vues par métrologie. Dans un second temps, il est nécessaire de poser les bases d'un nouvel algorithme de corrélation adapté aux images produites par l'unité des Travaux spéciaux. Il faut donc d'abord procéder à un bilan d'erreurs puis, pour les éviter, proposer les solutions.

Les résultats concrétisent un peu plus ce projet, l'implémentation du programme de corrélation est la prochaine étape que l'unité des Travaux spéciaux doit atteindre. ●

Le sauvetage des églises de Voskopoja (Albanie)

La documentation métrique des fresques pour leur sauvegarde et leur restauration

Figure 1 : Vue générale de l'église Saint-Athanase.



■ Thomas LEROY

Cet article décrit la constitution de la documentation photogrammétrique à destination d'utilisateurs multiples, d'un site patrimonial menacé en Albanie. Un large éventail de techniques, correspondant à la complexité des édifices, a été employé pour restituer les documents. Il faut souligner que le développement depuis plusieurs années déjà, du matériel utilisé pour les applications de photogrammétrie terrestre permet de s'équiper à bas coût et de traiter précisément des sites complexes. De plus, même si les méthodes de restitution des fresques et surfaces courbes sont bien décrites dans la littérature spécialisée, nous devons nous attacher à en banaliser l'usage comme pour les relevés photogrammétriques conventionnels.

■ mots-clés

photogrammétrie numérique, développement de surfaces, redressement d'images, fresques.

Niché dans les montagnes du sud de l'Albanie, Voskopoja a longtemps caché les vestiges de sa gloire passée. Centre de pèlerinage orthodoxe réputé au XVIII^e siècle, le village, alors une ville de 30 000 âmes, abritait de nombreuses églises et un monastère. Six églises restent debout aujourd'hui, dans des états de conservation variés. Comme toute église orthodoxe, elles abritent de nombreuses fresques couvrant intégralement les parements intérieurs.

Celles-ci sont déjà endommagées par l'usure du temps, le vandalisme, les conditions historiques et sérieusement menacées par les infiltrations d'eau.

Découvrant la disparition programmée des trésors de Voskopoja, l'ONG Patrimoine sans Frontières (PSF) décide de monter un comité scientifique pour entreprendre la sauvegarde du site. Des membres de l'Ecole Nationale du Patrimoine (ENP, Paris), du ministère de la culture albanais (IMK), des architectes

■ ■ ■ et historiens de l'art se penchent sur les problèmes de conservation, de diagnostic et de restauration. Tous conviennent que la première étape urgente est une campagne de relevé exhaustive sur les trois églises les plus menacées.

Il s'agit en effet de documenter intégralement les intérieurs et extérieurs pour fournir une base documentaire à tous les intervenants. Il faut évaluer la surface de fresques à restaurer, prévoir les échafaudages, analyser les déformations des églises, comparer les plans aux typologies régionales (Albanie, Grèce, Macédoine), enregistrer l'état existant des fresques (arrêt virtuel des dégradations) pour y reporter les interventions prévues.

Bref, tout manque, les architectes réclament des dessins figurant les structures puisque les volumes intérieurs étant entièrement peints, ils sont très difficiles à évaluer.

Les restaurateurs, eux, ont besoin d'une représentation métrique des fresques la plus lisible possible : arcs doubleaux, dômes, culs-de-four, trompes rendent leur appréciation impossible sans un système de représentation spécifique.

En établissant un enregistrement géométrique et radiométrique complet, on peut constituer une base de donnée permettant de restituer chaque partie des églises en tenant compte des besoins de tous les utilisateurs futurs.

Pour chaque église les documents suivants sont ainsi à produire :

- dessins au trait à l'échelle 1/50^e : vue en plan, coupes longitudinales et transversales multiples de manière à voir chaque parement intérieur (Figure 1).
- images redressées à l'échelle 1/20^e : chaque parement doit être représenté sous forme d'images redressées ou développées, incluant toutes les surfaces courbes (y compris le sol et le plafond).

C'est avec ces spécifications qu'une équipe d'évaluation (PSF, ENP, IMK) et de relevé (Art Graphique & Patrimoine) se rend sur place durant l'été 2003.

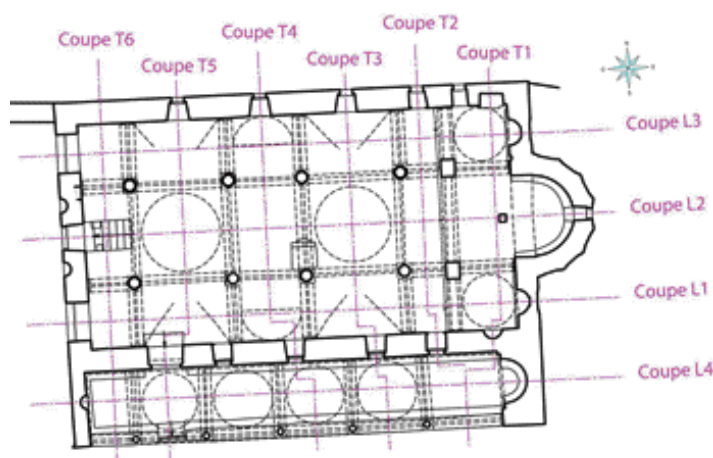


Figure 2 : Plan de repérage des coupes, église Saint-Athanase.

Saisie des données

Le but du relevé étant fixé, il devenait possible de définir le matériel à employer en fonction des contraintes extérieures. A l'époque, en effet, il reste plus de 6 heures de route depuis Tirana pour rejoindre le village, dont l'approvisionnement électrique est aléatoire. L'import de matériel de mesure pose aussi certains problèmes.

Un des objectifs du relevé est aussi de démontrer, s'il était encore nécessaire, qu'on peut arriver rapidement à des résultats très satisfaisants avec du matériel courant.

Nous optons donc pour une station totale sans réflecteur et un appareil photographique Fuji S2 Pro (6 M pixels) muni de focales précalibrées (15 mm, 24 mm, 30 mm) et d'un flash externe puissant. Le générateur de courant a été acheté sur place.

La mission, planifiée en France d'après notre expérience, prévoyait 3 à 4 jours de relevé par église.

■ Prises de vues

Des tables de prise de vue montrant les champs maxima et les distances optimales par rapport aux objets photographiés en fonction des focales utilisées ont grandement aidé au bon déroulement de la mission (tableau 1). Cette table permet de garantir la qualité des images en fonction de leur échelle moyenne d'impression.

Focales	Distance maximale à l'objet	Taille terrain maximale de l'image
15 mm	3.3 m	5.1 m x 3.4 m
24 mm	5.3 m	5.1 m x 3.4 m
30 mm	6.6 m	5.1 m x 3.4 m

Tableau 1 : Paramètres de prise de vues selon la distance focale pour des impressions à l'échelle 1/20^e à 300 dpi (taille terrain du pixel : 1.7 mm).

Cette phase d'acquisition d'images doit être très mécanique pour éviter les oublis et assurer une qualité d'image constante. Toutes les parties ont été photographiées sous trois angles différents, l'appareil photo étant relié à un ordinateur portable où un opérateur s'assurait de la qualité globale de l'image avant de l'archiver suivant le zonage adopté en début de chantier (par exemple T6L1 pour la cellule sud-ouest).

■ Relevé tachéométrique

Le relevé très répétitif est une source bien identifiée d'oubli de données. Pour chaque station d'appareil, une liste des éléments à relever permet de se contrôler et l'emploi d'un système de levé codé a été un gain de temps significatif. Peu ou pas de croquis sont nécessaires et tous les contrôles de marche sont affichés en temps réel.

Le calcul de l'ajustement final, le dernier jour de relevé, permet le contrôle général de la précision et l'évaluation des

manques éventuels sur le levé codé, ce qui donne alors lieu à des compléments manuels ponctuels.

L'interprétation des sections sur place, vue la nature du site, permet de s'affranchir d'une saisie pénible en photogrammétrie convergente. En effet, l'appréhension des volumes sur des surfaces entièrement peintes et sombres est délicate.

Photogrammétrie

■ Ajustement

Etant donnée la diversité des documents à produire, les tâches de bureau sont soigneusement planifiées, les éléments architecturaux sont identifiés et numérotés.

Heureusement, dans la masse d'images saisie, toutes ne font pas l'objet d'un calage photogrammétrique. En fait, seules les positions des images permettant de définir les détails non

mesurés sur place sont calculées ainsi que les jeux d'images qui traitent des plafonds.

Le nombre de points de contrôle mais surtout leur cohérence sur l'ensemble d'une église permettent de s'affranchir d'un ajustement global. Des ajustements locaux comprenant au moins 5 points de calage s'insèrent donc parfaitement dans le système de coordonnées général. On travaille directement avec des images dont l'éloignement moyen est compatible avec l'échelle de restitution.

Les calibrations des objectifs ont été faites en France et contrôlées en Albanie, ce qui n'a pas révélé de différences significatives dues au transport.

■ Surfaces planes

Les parements plans ont été redressés en utilisant une transformation projective à 5 paramètres, ceux-ci étant directement



Figure 3 : Développement photogrammétrique du chevet, à gauche l'image originale, à droite l'image développée.
($R = 1.83$ m, $\sigma_R = 1.1$ cm)

■ ■ ■ surdéfinis par les points de contrôle multiples. Les distorsions des objectifs, importantes pour les courtes focales, sont prises en compte lors de cette opération. Sur un objectif de focale 15mm, on arrive à des distorsions maximales proches du $1/10^{\circ}$ de mm, ce qui correspond sur l'image à une quinzaine de pixels.

Dès l'acquisition sur le terrain cependant, nous avons noté que la structure des fresques serait un problème. En effet les fresques sont peintes sur un mélange de paille et de plâtre frais lissé grossièrement sur la maçonnerie. Les altérations du temps ont aussi provoqués des renflements importants. Aucune surface n'est donc réellement plane.

Pour minimiser cet effet de relief, les photos ont été prises le plus orthogonalement possible aux parois en utilisant la plus longue focale utile disponible.

Les images redressées sont directement connectées au plan moyen défini par les points de contrôle et sont mosaïquées automatiquement par une procédure interne. Il reste alors à apporter la touche finale, c'est-à-dire rattraper les différences radiométriques résiduelles et ajuster les petites discontinuités géométriques dues essentiellement à la planéité imparfaite des parois. Cette tâche est effectuée avec le logiciel *The Gimp*, libre de droits.

Un calque contenant les points de contrôle aide à s'assurer de la précision globale, estimée à 1-2 cm.

■ Surfaces analytiques

Arcs doubleaux, voûtes en berceau, voûtes d'arrête

La représentation développée des parties cylindriques est intuitive, elle permet une représentation plane qui conserve les distances et les surfaces et met à disposition des utilisateurs une vue synthétique d'un élément architectural qui présente de très fortes déformations sur une simple photographie (Figure 3).

Des procédures de développement de cylindres précédemment développées pour le plafond de la Galerie des Glaces à Versailles ont été réutilisées.

Les images développées de cylindres nécessitent la connaissance précise de nombreux paramètres (Figure 4).

• **les 5 paramètres du cylindre** : nous approchons le problème de façon généralisée, ce qui permet de traiter tous les cas de figure, quelque soit la position ou l'orientation du cylindre dans l'espace. Sont nécessaires : un point fixe $P_0 (X_0, Y_0, Z_0)$, trois rotations suivant un référentiel topographique (α, ν, κ) pour orienter l'axe du cylindre (Kraus, 1996), et le rayon moyen. Certains paramètres n'ont pas d'influence, ainsi X_0 , Y_0 , ou Z_0 peut toujours valoir 0 et κ vaut toujours 0. Ces paramètres sont déterminés par un ajustement appliquant le principe des moindres carrés.

• **la position du centre perspectif de l'image à développer**, grâce aux nombreuses prises de vues et à cause des poutres transversales, un ajustement par la méthode des faisceaux

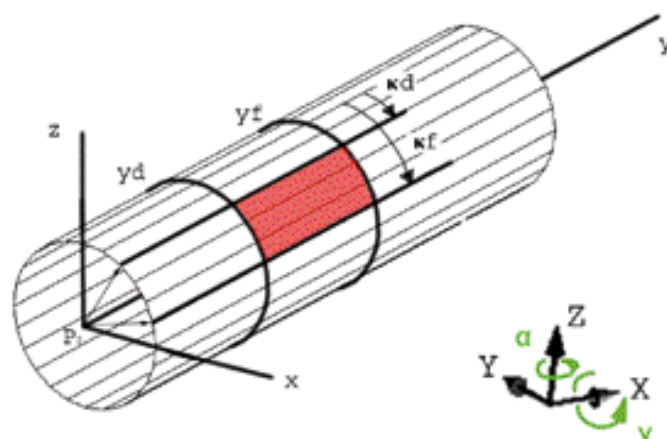


Figure 4 : Paramètres de développement d'un cylindre.

a été préféré à une transformation linéaire directe (DLT).

• **les quatre paramètres de la zone d'intérêt sur le cylindre doivent être connus** : deux angles κ_d , κ_f , et deux distances à P_0 : y_d et y_f

• **taille terrain du pixel développé** pour le rééchantillonnage (1.7 mm et ici interpolation bilinéaire).

On déduit, pour chaque pixel de l'image développée, sa position XYZ qui est basculée dans l'image correspondante par les équations classiques de photogrammétrie. On obtient alors un triplet RVB (Rouge, Vert, Bleu) correspondant à la couleur sur site de ce pixel (Karras, 1997).

On s'aperçoit très vite que plusieurs images sont nécessaires pour documenter complètement une voûte cylindrique ; grâce aux paramètres de zone d'intérêt, on peut aboutir à un mosaïquage quasi automatique.

Evidemment, le passage par une modélisation paramétrique des voûtes induit une approximation. On reste tributaire de la forme réelle de celles-ci.

Comme on l'a vu plus haut, le principe de fixation des fresques crée une imprécision de la surface. Ces imprécisions, vues sous plusieurs angles de prise de vue se traduisent par des écarts parfois importants lors du mosaïquage.

Nous avons appliqué cette procédure aux arcs doubleaux, mais l'étude des résultats de l'ajustement de surface a montré que l'on pouvait être meilleur. En effet, la section des arches ressemble plus à une anse de panier qu'à une portion purement circulaire. Une approche différente a donc été adop-



Figure 5 : Section transversale T4 (vue Est), et le doubleau principal composé de quatre portions circulaires.



Figure 6 : Développement d'une voûte d'arrête.

tée, en exploitant le résultat du dessin des fonds de coupes qui reproduisaient le profil exact des arcs (Figure 5).

On considère qu'un arc peut se modéliser comme une anse de panier extrudée. Grâce à leur faible profondeur (jamais plus de 60 cm), on peut supposer que la direction d'extrusion est perpendiculaire au plan de coupe.

Le développement d'une procédure de traitement multicylindres a donc augmenté considérablement la qualité de notre travail. L'utilisateur n'a qu'à sélectionner le profil dans Autocad et une commande spécifique crée le fichier de paramètres pour le développement. Le programme développe les différentes portions de cylindre et les raboute.

La qualité géométrique des développements de surface y a gagné, en outre cela nous a permis de traiter des formes plus complexes comprenant des portions planes. À terme, toute courbe ayant subi une extrusion droite peut être développée par cette procédure. La longueur d'extrusion est le paramètre sensible qui permet au modèle de s'écarter de la réalité.

Les parties cylindriques devaient aussi être représentées en orthophoto dans les sections longitudinales. Un programme a été créé spécialement pour réduire les développés à une orthophoto, selon leur rayon moyen.

Au total, 18 arcs, 6 berceaux et 4 voûtes d'arrête amenant à des développés en trèfle (Figure 6), ont été réalisés pour la seule église de Saint-Athanase.

Coupoles

Les coupoles devaient être traitées pour être insérées dans les fonds de coupes et dans la vue projetée du plafond.

En tant que surface à double courbure, elles ne sont pas développables sans compromis et il est donc nécessaire de choisir un système de représentation plane de la sphère (projection). Le choix de ce système est crucial, car il permet de conserver certaines propriétés plus ou moins intéressantes suivant les usages futurs.

Les projections conformes conservent les angles, les projections équivalentes conservent les surfaces (cas particulièrement intéressant pour les besoins de quantification des res-

tauteurs), d'autres projections conservent les distances sur des lignes particulières.

Malgré l'intérêt des projections équivalentes, les lourdes déformations induites rendent difficiles l'intégration de ces documents aux côtés des autres productions. Le choix de la projection orthographique a permis l'insertion des coupoles dans les fonds de coupe.

Le traitement mathématique de la projection est assez similaire à celui effectué pour le développement des arcs, le modèle mathématique de la sphère se réduisant à 4 paramètres : coordonnées du centre et rayon. Les résidus de l'ajustement de sphères sur les coupoles n'ont pas révélé de déformation majeure qui nécessite de modifier notre approche.

Chaque coupole est ainsi vue à plat depuis cinq directions différentes (quatre latérales et une vue de dessous). Cependant, pour alléger les calculs et faciliter les exploitations futures, le programme de traitement cartographique développé spécialement pour l'occasion, crée systématiquement une image de transfert, dont les coordonnées cartésiennes (i, j) des pixels correspondent aux coordonnées sphériques (φ, λ). Il s'agit en fait d'une représentation de la sphère avec la plus simple des projections dite "plate-carré". Cette image sert d'image source pour toutes les représentations futures d'une coupole, quelque soit le type de projection envisagé (Guerra, 2000). ■■■



Figure 7 : En haut, modélisation d'une voûte quelconque, en bas, orthophotographie.

■ ■ ■ ■ Autres coupoles

Pour la documentation des surfaces restantes et en particulier de certaines coupoles qui ne peuvent pas, a priori, être réduite à une courbe paramétrique simple, nous avons choisi une méthode purement photogrammétrique qui alliait légèreté de mise en œuvre et rapidité.

Ces surfaces sont documentées par des orthophotos dans cinq directions (cf ci-dessus). Nous avons choisi d'établir une modélisation photogrammétrique des surfaces restantes par un maillage triangulaire. Cette opération a été menée à bien à l'aide du logiciel Photomodeler (EOS Software). En outre, l'habillage photo-réaliste du maillage a été effectué dans le même logiciel. Les ortho-photos ont été créées à partir des modèles 3D texturés produits par cette procédure.

Le procédé est simple mais bien plus long que le traitement des surfaces analytiques, en effet l'approximation de la forme réelle de la voûte nécessite un certain nombre de points pour être réaliste (Figure 7). Cependant, on s'approche au plus près de la réalité et on peut donc créer des documents plus fiables.

Conclusions

Grâce à la complémentarité et à la diversité des techniques mises en œuvre, nous avons pu produire rapidement tous les documents demandés. Les travaux de restauration ont commencé à l'été 2004 et continuent chaque été avec la présence de restaurateurs Français, Grecs, Italiens et Allemands. Les deux autres églises mesurées n'ont pas encore été restituées.

Elles sont complètement enregistrées et s'inscrivent dans un inventaire à une date donnée de ces deux monuments. Leur restitution peut être lancée à tout moment : début de la restauration, dommage important...

Ceci nous amène donc tout naturellement à envisager le problème de la documentation des formes architecturales complexes et de leur préservation. Une campagne photogrammétrique et topographique "bien ficelée" permet de créer un enregistrement métrique d'un édifice sans coût prohibitif et avec un matériel somme toute basique.

On mise sur quelques paramètres pour parvenir à une méthodologie fiable :

- la maîtrise mathématique du matériel (calibrations des optiques non métriques)
- la flexibilité de la photogrammétrie convergente
- les possibilités de traitement des surfaces analytiques
- la création facilitée de modèles 3D texturés par voie photogrammétrique

Les méthodes de relevé décrites paraissent peut être déjà anachroniques. Cependant, même si l'usage d'un scanner-laser est souhaitable pour l'enregistrement du patrimoine, il est séduisant de penser qu'avec des méthodes traditionnelles nécessitant peu de moyens matériels, et en tout cas des moyens conventionnels, on arrive à des résultats tout à fait probants. Ces techniques sont donc tout à fait accessibles. Le

manque de moyens est une limite mais pas une excuse pour expliquer l'absence de relevés. Les techniques à bas coût sont documentées, il manque une diffusion encore plus large et des techniciens suffisamment formés pour les mettre en pratique.

Pour Art Graphique & Patrimoine, le travail sur Voskopoja continue avec la formation au dessin et à la manipulation des images métriques, des jeunes restaurateurs français. ●

Références

Guerra, F., Miniutti, D. *The cartographic projections for the representation of double curved surfaces*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam, 2000, pp. 533-538.

Karras, G. E., Patias, P., Petsa, E., Ketipis, K. *Raster projection and development of curved surfaces*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXII, Part 5C1B, Göteborg, 1997, pp. 179-185.

Kraus, K. *Photogrammetrie, Band 2 Verfeinerte Methoden und Anwendungen*, 1996, Dümmler Verlag, Bonn.

Leroy, T. *Saving Voskopoja, complete photogrammetric coverage of three Albanian painted churches*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVI-5/C34, Torino 2005, pp. 414-419.

Contact

Thomas LEROY

ingénieur topographe ENSAIS

Art Graphique et Patrimoine

15-15bis avenue J. Jaurès - F-94340 Joinville le Pont

www.artgp.fr

Email: t.leroy@artgp.fr

ABSTRACT

Keywords: Digital Photogrammetry, Image Unwrapping, Rectification, Frescoes.

This paper gives an overview of the way to produce exhaustive multi-user documentation of an endangered site in Albania through photogrammetric applications. The complexity of the structures to be documented has led us to use a large range of available photogrammetric and survey techniques. The development of low-cost photogrammetric material: softwares, cameras, personal computers, offers the possibility to achieve quickly the survey and restitution of complex architectures and frescoes. Though methods to document frescoes are already well described in the literature, we have to spread their use by convincing the users of their utility, and to find ways to perceive unwrapped documents as the classical photogrammetric documentation.

Conversion altimétrique des hauteurs ellipsoïdales par GPS

■ A. ZEGGAI - S.A BENAHMED DAHO - B. GHEZALI - A. AYOUAZ - H. TAIBI - R. AIT AHMED LAMARA

L'objectif de ce travail est de déterminer avec quelle précision on pourra transformer une altitude ellipsoïdale en altitude orthométrique dans une zone test située dans le nord-ouest de l'Algérie. Dans ce contexte, un ensemble de 34 points GPS nivelés, ainsi que le modèle local du géoïde gravimétrique calculé par la division de Géodésie (Centre National des Techniques Spatiales), à partir des données gravimétriques terrestres validées et fournies par le Bureau Gravimétrique International (B.G.I), ont été intégrés dans cette comparaison. Ce géoïde de résolution 5'x5'a été calculé par la méthode de collocation rapide sur le territoire national entre les limites [20°, 37°] en latitude et [-10°, 7°] en longitude en utilisant la technique de retrait restauration [Benahmed Daho, 2000]. Par ailleurs, et afin de minimiser les dispersions entre les ondulations interpolées à partir du modèle du géoïde gravimétrique avec celles dérivées à partir du GPS et du nivellement, nous avons testé les modèles paramétriques à quatre et cinq paramètres pour en déduire le modèle optimum dans la zone d'étude. La précision des résultats obtenus, après adaptation, est de l'ordre du ppm et qui reste tributaire de la qualité et de la densité des données intégrées dans cette adaptation.

■ mots-clés

nivellement, géoïde, altitude orthométrique, altitude ellipsoïdale, GPS, collocation.

L'exécution, sur une large échelle des lignes de nivellement, oblige à tenir compte de tous les effets qui interviennent (courbures terrestres, réfraction atmosphérique, défaut de parallélisme des surfaces de niveau,...). Les erreurs, qui proviennent des instruments et des opérateurs, donneront des fermetures importantes dès que les cheminements s'étalent sur une vaste étendue d'un territoire.

La méthode la plus précise pour la mesure d'une position verticale sur une courte ligne de base, reste le nivellement classique direct (nivellement géométrique de précision). Pour des longs cheminements en terrains accidentés, son utilisation deviendra plus difficile, son coût sera élevé et perdra rapidement de précision [Zeggai 1996].

A cette technique de nivellement, s'est substituée une nouvelle technique, basée sur l'utilisation du GPS (Global Positioning System) qui permet de s'affranchir de toutes les contraintes classiques tout en offrant un gain en temps, précision et en coût de revient.

Néanmoins, le GPS ne permet pas de fournir directement les altitudes orthométriques. En effet, l'altitude obtenue par la technique GPS est une hauteur ellipsoïdale, purement géométrique, c'est à dire la distance entre le repère au sol et l'ellipsoïde de référence. La transformation de cette composante en hauteur orthométrique exige nécessairement l'information sur l'ondulation du géoïde de précision compatible à celle obtenue par le GPS (centimétrique). En d'autre terme, la détermination des altitudes orthométriques par GPS nécessite la

combinaison du géoïde, des données issues du GPS (altitudes ellipsoïdales) et du nivellement de précision (altitudes orthométriques). La précision des résultats reste tributaire de la qualité du modèle du géoïde (local ou global), des coordonnées des points exprimées dans le système géodésique et (WGS 84), ainsi que du réseau de nivellement national (NGA), de la densité et la répartition géographique des points.

Principe du nivellement par GPS

Les hauteurs mesurées par nivellement classique font référence à une surface équipotentielle de pesanteur qui est le géoïde, tandis que ces hauteurs mesurées par GPS font référence à une surface géométrique qui est l'ellipsoïde WGS84.

Théoriquement, l'ondulation du géoïde (N) est liée aux altitudes ellipsoïdale (h_e) et orthométrique (h) par la relation :

$$N = h_e - H \quad (01)$$

Les quantités h_e et N sont exprimées dans le même système de référence. L'équation (01), montre que pour chaque point, d'une part, la normale et la verticale au géoïde sont confondues (déviations de la verticale faibles), et d'autre part, les courbures de la verticale et de la normale sont faibles. La relation est vraie à 01 mm près, donc en première approximation linéaire et par conséquent les trois grandeurs sont parfaitement liées.

La figure 1 illustre la relation entre les trois grandeurs fondamentales du nivellement.

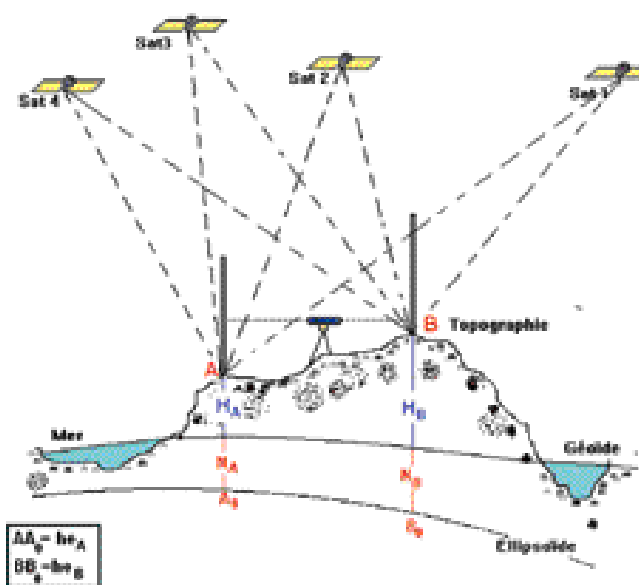


Figure 1 : Relation entre H, he et N.

■ ■ ■ En pratique, cette relation n'est jamais satisfaite à cause de plusieurs facteurs dont les principaux sont :

- Les erreurs aléatoires dans les altitudes h, H, N
- Les inconsistances des datum inhérents aux différents types d'altitudes
- Les effets systématiques et les distorsions dans les données d'altitudes
- Les hypothèses et les approximations théoriques introduites dans le traitement des données observées.

En général, la plupart de ces discordances sont attribuées aux erreurs de grandes longueurs d'onde introduites par l'utilisation d'un modèle global dans le calcul d'un géoïde gravimétrique qui n'est pas forcément optimal dans la zone en question, aux erreurs systématiques et aux inconsistances des datum inhérents aux différents types d'altitudes. En pratique, ces erreurs sont modélisées et absorbées par l'utilisation d'un *modèle paramétrique de surface de correction* dans l'ajustement combiné des réseaux GPS, nivellement et géoïde.

C'est justement l'objet de l'article de calculer un modèle paramétrique de surface de correction et d'en estimer sa qualité.

Evaluation du géoïde aux points GPS - nivelés : Modèles de surface de correction adoptés

L'évaluation de la qualité d'un géoïde local est basée généralement sur la comparaison des ondulations interpolées à partir de ce modèle avec celles obtenues par l'utilisation conjointe du GPS et du nivellement. Le modèle mathématique d'ajustement combiné des données GPS, nivellement et géoïde, proposé dans cet article, est donné par l'expression suivante :

$$h_{ei} - H_i - N_i^{GRAV} = N_i^{GPS} - N_i^{GRAV} = \Delta N_i = a_i^T x + v_i \quad (02)$$

N_i^{GPS} : Hauteur du géoïde obtenue par nivellement/GPS au point i

N_i^{GRA} : Hauteur du géoïde obtenue par voie gravimétrique au point i

x, a_i^T et v_i représentent respectivement le vecteur de $n \times 1$ paramètres inconnus, le tableau de $n \times m$ coefficients connus et le terme supposé comme étant un bruit aléatoire résiduel [Kotsakis, Sideris 1999]. Les modèles de surface de correction adoptés dans cet article sont les suivants.

■ Le modèle d'évaluation à quatre paramètres

Les modèles les plus utilisés dérivent d'une transformation par similitude à quatre, ou cinq paramètres pour les erreurs issues de grandes longueurs d'onde. Le modèle, à quatre paramètres habituel, appliqué et en coordonnées cartésiennes est comme suit [Jiang & Duquenne 1996] :

$$a_i^T x = \frac{X_i}{r} T_X + \frac{Y_i}{r} T_Y + \frac{Z_i}{r} T_Z + kr \quad (03)$$

Où r est valeur moyenne du rayon de la terre, T_X, T_Y, T_Z sont les translations et k correspond au facteur d'échelle.

Le modèle cartésien peut être représenté en coordonnées géographiques (l, j) de la manière suivante :

$$a_i^T x = \cos \varphi_i \cos \lambda_i T_X + \cos \varphi_i \sin \lambda_i T_Y + \sin \varphi_i T_Z + kr \quad (04)$$

Comme :

$$a_i^T x + v_i = \Delta N_i = N_i^{GPS} - N_i^{GRAV} = h_{ei} - H_i - N_i^{GRAV} \quad (05)$$

D'où le modèle de surface de correction à 4 paramètres [Heiskanen et Moritz 1967] :

$$\Delta N_i = a_0 + a_1 \cos \varphi_i \cos \lambda_i + a_2 \cos \varphi_i \sin \lambda_i + a_3 \sin \varphi_i + v_i \quad (06)$$

Avec : $(a_0, a_1, a_2, a_3) = (k.r, T_x, T_y, T_z)$ les inconnues

■ Le modèle d'évaluation à cinq paramètres

Pour le cas du modèle à cinq paramètres donné aussi par [Heiskanen et Moritz 1967] :

$$\Delta N_i = N_i^{GPS} - N_i^{GRAV} = h_{ei} - H_i - N_i^{GRAV} \quad (07)$$

$$\Delta N_i = a_0 + a_1 \cos \varphi_i \cos \lambda_i + a_2 \cos \varphi_i \sin \lambda_i + a_3 \sin \varphi_i + a_4 \sin^2 \varphi_i + v_i \quad (08)$$

Remarque : L'adaptation se réalise par moindres carrés sur tous les points GPS - nivelés en ajustant les coefficients de transformations (a_0, a_1, a_2, a_3) ou $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4)$. Ces coefficients n'ont pas de signification précise, l'objectif étant seulement de mettre le mieux possible en correspondance les deux surfaces (géoïde obtenu par nivellement/GPS et géoïde obtenu par voie gravimétrique) à l'ensemble des points communs.

En écrivant que $a_i^T x + v_i = \Delta N_i$ sous la forme :

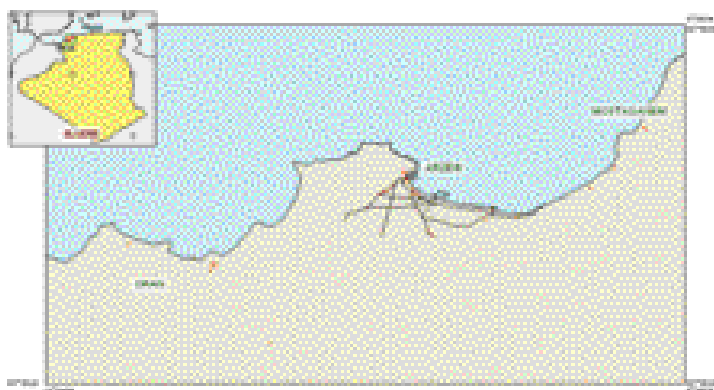


Figure 2 : Réseau GPS /nivellement de la région d'Oran.

$$A.X + V = B \quad (09)$$

Où A est la matrice des coefficients, X le vecteur des inconnues, B le vecteur des observations et V le vecteur des résidus. La solution est donnée par la relation [10] :

$$X = (A^T.A)^{-1}.A^T.B \quad (10)$$

Avec $X = (a_0, a_1, a_2, a_3)^T$ pour 04 paramètres

Et $X = (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4)^T$ pour 05 paramètres

Application : région d'Oran (Algérie)

■ Présentation de la zone de travail

Plusieurs campagnes d'observations GPS et de rattachements aux points de nivellement ont été menées dans la région d'Oran. La zone de travail (figure 2) est située au nord ouest de l'Algérie entre les limites: $35^{\circ}30' \leq \varphi \leq 36^{\circ}07'$ et $-0^{\circ}55' \leq \lambda \leq 0^{\circ}10'$.

Un ensemble de 34 points a été observé par GPS en mode statique (entre 30 mn et 01 heure selon la longueur de base). Le point de référence (principal) de rattachement par GPS se trouve à Arzew. Ce dernier fait partie du réseau ALGEONET (Algerian Geodynamical Network). Le projet ALGEONET, mené conjointement par le CNTS et l'INCT (Institut National de Cartographie et de Télédétection), avait pour objectif la mise en place d'un réseau GPS précis, couvrant essentiellement la partie nord de l'Algérie, pour les applications géodynamiques. Il a été monté en 1998, ré-observé en 2002, après l'extension dès 1995 du projet TYRGEONET (Tyrhenian Geodetic Network - ING Italie) en Algérie.

Tous les points observés par GPS sont en majorité des repères de nivellement ou leurs points excentrés.

Les données utilisées dans le traitement sont constituées de 34 points doubles (30 points doubles après analyse statistique), dont 17 points d'appui et 13 points de contrôle, répartis sur la région d'Oran (Figure 2).

Le modèle de géoïde adopté à travers cette application est le géoïde gravimétrique local calculé à partir des données gravimétriques validées et fournies par le BGI en utilisant la méthode de collocation rapide en combinaison avec la technique de retrait - restauration.

Pour mener à bien le calcul du nivellement par GPS, plusieurs tâches et collecte des données ont été réalisées :

- Opérations de rattachement par nivellement direct (classique) des repères de nivellement non stationnés par GPS.
- Observations et traitement par GPS des repères nivelés ou stations excentrées.
- Collecte de la grille du géoïde gravimétrique local. Cette grille d'un pas de 5'x5' est disponible au niveau de la division de géodésie (CNTS - Arzew).
- Répertoire des altitudes des repères de nivellement.

■ Méthodologie de traitement adoptée

La solution est donnée par la combinaison des hauteurs ellipsoïdales obtenues par GPS, des altitudes orthométriques fournies par le nivellement de précision et du géoïde gravimétrique local.

La méthode suppose la parfaite détermination du nivellement sur les points de référence et des mesures de lignes de bases GPS. La relation [11] ne peut pas être affectée d'aucune erreur.

Les étapes de calcul sont les suivantes :

1^{re} étape : Calcul de l'ondulation du géoïde par GPS/Nivellement

$$N_i^{GPS} = h_{ei} - H_i \quad (11)$$

Avec : $1 \leq i \leq n$ où n représente le nombre de points GPS nivelés.

2^e étape : Interpolation bilinéaire des ondulations du géoïde obtenues par voie gravimétrique sur les points GPS à partir d'une grille de géoïde local :

$$N_i^{GRAV} = \text{Interpolation_géoïde_gravimétrique}(\lambda_i, \varphi) \quad (12)$$

3^e étape : Calcul de la différence entre le géoïde obtenu par GPS/Nivellement et le géoïde gravimétrique local ou le géoïde global :

$$\Delta N_i = N_i^{GPS} - N_i^{GRAV} = h_{ei} - H_i - N_i^{GRAV} \quad (13)$$

4^e étape : Ajustement des paramètres de transformation par la méthode des moindres carrés :

$$X = (A^T.A)^{-1}.A^T.B \quad (14)$$

Avec : $X = (a_0, a_1, a_2, a_3)^T$ Ou $X = (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4)^T$

5^e étape : Evaluation de l'ondulation du géoïde corrigé sur les points nouveaux :

$$N_{\text{corrigé}} = N_{\text{GRAV}} + C \quad (15)$$

Où C est la correction qui représente la fonction des paramètres de transformation (a_0, a_1, a_2, a_3) ou $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4)$ et des coordonnées géographiques (j, l) du point considéré.

6^e étape : Calcul de l'altitude orthométrique des points nouveaux :

$$H = h_e - N_{\text{corrigé}} \quad (16)$$

A partir d'une surface corrigée par GPS/nivellement du géoïde gravimétrique utilisé dans cette application, l'altitude orthométrique peut être évaluée de la manière suivante :

$$H_{\text{ortho}} = H_{e \text{ WGS84}} - (N_{\text{GRAV}} + C) \quad (17)$$

Modèle d'ajustement	Résidus			
	Min (m)	Max (m)	Moy. (m)	RMS (m)
Modèle à 4 paramètres	-0.034	0.047	0.000	0.026
Modèle à 5 paramètres	-0.036	0.042	0.000	0.025

Tableau 1 : Résidus obtenus après ajustement.

■ ■ ■ Avec :

- C : correction à apporter au géoïde gravimétrique, obtenue par le modèle de surface de correction à 4 ou 5 paramètres.
- h_{eWGS84} : hauteur ellipsoïdale (altitude GPS)
- N_{GRAV} : Hauteur du géoïde obtenue par voie gravimétrique.

■ Analyse des résultats obtenus

Le tableau suivant (1) résume les statistiques de l'adaptation du géoïde gravimétrique aux points GPS nivelés sur les 17 points d'appui.

L'écart type moyen des résidus après ajustement des paramètres de transformation est de l'ordre de 2.6 centimètres.

Test d'hypothèse : Le test d'hypothèse consiste à rejeter ou à accepter une hypothèse statistique, appelée hypothèse nulle (H_0). Les observations issues d'une population normale sont acceptées si $\chi^2_{n-m} < \chi^2_{\text{théorique}}$ où χ^2_{n-m} est la valeur de la distribution du (loi du Khi deux) à n-m degrés de liberté et un niveau de signification α .

La probabilité est donc : $\Pr(\chi^2_{\text{observé}} < \chi^2_{\text{théorique}}) = 1 - \alpha$ (18)

$\chi^2 = (n-m) \hat{\sigma}_0^2 / \sigma_0^2$ (19)

Avec : σ_0 écart type a priori pris égale à ± 05 cm en référence aux tests effectués sur 109 points de contrôle [Benahmed Daho, 2003].

Test de Student : L'observation est acceptée si

$(\bar{m} - t \cdot \hat{\sigma}_0 < V_i < \bar{m} + t \cdot \hat{\sigma}_0)$

où t est la valeur tabulée de la distribution de Student.

où $(\bar{m}, \hat{\sigma}_0)$ représentent respectivement moyenne et écart type du vecteur des résidus (V_i).

Suivant la distribution des écarts NGPS -Ngrav (tableau 1), nous constatons que:

- Les écarts ne dépassent pas 4.7 cm en valeur absolue.
- La moyenne des écarts est nulle.

Modèle d'ajustement	Résidus Probabilité=95 % ($\alpha = 5\%$)							
	Degré de liberté	σ_0 à priori	$\hat{\sigma}_0$ à posteriori	$\chi^2_{\text{théorique}}$	$\chi^2_{\text{observé}}$	t-distribution (Student)	Test du khi deux	Test de Student
4 paramètres	13	0.05	0.026	22.3610	3.6058	1.7712	positif	0 observations suspectes
5 paramètres	12	0.05	0.025	21.0250	2.9775	1.7825	positif	0 observations suspectes

Tableau 2 : Tests obtenus sur les points d'appui.

Modèle d'ajustement	Ecart ΔH_{ortho}			
	Min (m)	Max (m)	Moy. (m)	RMS (m)
Modèle à 4 paramètres	-0.063	0.059	0.009	0.035
Modèle à 5 paramètres	-0.061	0.058	0.009	0.034

Tableau 3 : Statistiques des écarts aux points de contrôle.

Les tests statistiques, effectués sur notre zone d'étude, sont regroupés dans le tableau 2.

Le tableau 2 montre que le test du χ^2 avec un niveau de signification de 5%, est positif pour l'ensemble des modèles ; ceci signifie que les résidus suivent la loi normale et que le modèle d'ajustement ne présente pas des distorsions. L'hypothèse initiale (H_0) est donc acceptée avec un risque de 5 %. Le test de Student a révélé qu'aucune observation n'a été rejetée (tableau 2).

Cependant, l'écart quadratique moyen des résidus signifie uniquement que l'ajustement est optimum au sens des moindres carrés entre les hauteurs du géoïde gravimétrique et celles obtenues par la combinaison GPS/Nivellement. Il ne laisse à aucun cas penser que les altitudes orthométriques peuvent être déduites des observations GPS avec une précision de 2.6 cm. A cet effet, afin d'évaluer la précision réelle de l'ajustement, les altitudes orthométriques observées de 13 points de contrôle ont été comparées avec leurs homo-

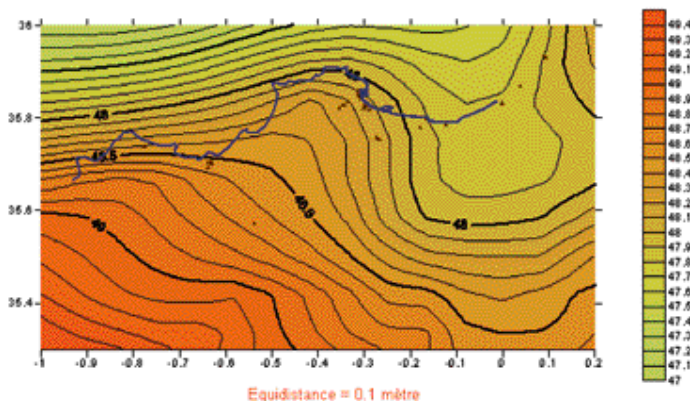


Figure 3 : Surface corrigée du géoïde gravimétrique (région d'Oran).

logues ajustées. Les statistiques de ces écarts sont résumées dans le tableau (3).

L'écart DH_{ortho} représente la différence entre les altitudes orthométriques calculées par les deux modèles (4 et 5 paramètres) et celle obtenue par nivellement de précision. D'après le tableau (3), nous constatons que la moyenne et l'écart type moyen des écarts DH_{ortho} obtenus, par les deux modèles d'ajustement (4 et 5 paramètres), sont identiques.

La figure suivante (3) représente la surface corrigée du géoïde gravimétrique obtenue par GPS/Nivellement au niveau de la région d'Oran.

Conclusion

Les travaux de nivellement par GPS menés par la division de géodésie (CNTS) avec des récepteurs bi fréquences ASH-TECH Z-XII, montrent que les résultats obtenus par l'intégration de données de nivellement de précision et du géoïde gravimétrique local, peuvent atteindre une précision centimétrique.

Le test statistique du χ^2 appliqué dans ce contexte, donne un jugement global sur la validité des modèles paramétriques utilisés. Afin de valider les résultats de l'ajustement et de se prononcer, ainsi, sur la qualité des données intégrées, il est nécessaire d'appliquer d'autres tests reposant sur la conformité des résidus normalisés à la loi normale centrée réduite (test de Tau),...

On notera que la précision sur les altitudes orthométriques déterminées par la technique GPS/Nivellement reste tributaire de :

- la fiabilité des données gravimétriques et du modèle de calcul du géoïde gravimétrique local.
- la précision des mesures GPS et la puissance du logiciel de traitement
- la qualité du réseau de nivellement (NGA) et de la précision hétérogène des altitudes (tout ordre confondu).
- du modèle de surface de correction ou d'adaptation du géoïde aux points GPS - nivelés
- les inconsistances des datum propres aux différents types d'altitudes
- la densité et la répartition géographique des points de référence.

La qualité de la transformation finale entre le GPS et les altitudes orthométriques pour la zone expérimentale est de ± 4 cm en moyenne, des forts pourcentages (plus de 75 %) des écarts se trouvent situés dans l'intervalle $[-3.8 \text{ à } +3.5]$ cm. Le choix du modèle à cinq paramètres dans notre cas d'étude n'améliore rien la précision. ●

Références

S A Benahmed Daho [2000].

The new gravimetric geoid in Algeria.

IGeS Bulletin N°10 - ISSN 1128-3955 - [pp 85-90].

S A Benahmed Daho [2003].

Calcul des hauteurs orthométriques à partir des observations GPS : Cas d'étude : Nord de l'Algérie.

2^e Conférence Régionale (FIG). Marrakech, Maroc, Décembre 2-5, 2003.

W A. Heiskanen , H. Moritz[1967].

Physical geodesy. WH Freen and Co. SAN FRANCISCO 1967.

C. Kotsakis, M.G.Sideris [1999].

On the adjustment of combined GPS/levelling/geoid networks. Journal of Geodesy edition Springer Verlag 1999.

A.Zeggai [1996].

Intégration des données GPS en nivellement.

Thèse de Magister. CNTS ARZEW. juillet 1996.

Zhiheng Jiang and Henry Duquenne [1996].

On the combined adjustment of gravimetrically determined geoid and GPS levelling stations.

Journal of Geodesy edition Springer Verlag 1996.

Contacts

A. ZEGGAI - S.A BENAHMED DAHO

B. GHEZALI - A. AYOUAZ - H. TAIBI

R. AIT AHMED LAMARA

Division de géodésie

Centre National des Techniques Spatiales.

BP 13 Arzew - 31200 Algérie

ABSTRACT

Keywords: levelling, geoid, orthometric one, ellipsoid height, GPS, collocation

The goal of this work is to determine with what accuracy one will be able to transform an ellipsoidal height into orthometric one in a test zone located in the north west of Algeria. In this context a set of the 34 GPS levelled points, as well as the local model of the gravimetric geoid computed by the division of Geodesy (Centre National des Techniques Spatiales), from the validated terrestrial gravimetric data and supplied by the Bureau Gravimétrique International (B.G.I.), have been integrated in this comparison. This geoid, of resolution 5'x5', has been computed by the fast collocation method for the national territory between limits $[20^\circ, 37^\circ]$ in latitude and $[-10^\circ, 7^\circ]$ in longitude while using the remove-restore technique [Benahmed Daho, 2000]. Otherwise, and in order to minimize discrepancies between undulations interpolated from the gravimetric geoid model with those derived from the GPS and levelling, we tested the parametric models using four and five parameters to select the optimum model in the study zone. The accuracy of obtained results, after adaptation, is about ppm and that remains tributary of the quality and the density of data used in this adaptation.

Le GPS cinématique, une solution pour l'enrichissement de la géométrie dans un système d'information routier

■ Hocine NECHNICHE - Abdelkader MENDAS - Omar AYOUAZ - Hbib TAIBI - Kouider BRAHIMI

Dans un but d'enrichissement des bases de données routières, la mise en oeuvre d'un système de levé mobile est une solution avérée. Ainsi, les Laboratoires de Géomatique et de Géodésie du centre national des techniques Spatiales (CNTS - Arzew- Oran) utilisent cette méthodologie pour atteindre la géométrie précise requise par des projets routiers. Le fait de disposer de données crédibles sur le réseau routier, gérées par un Système d'Information Géographique (SIG), est un besoin utile - sinon nécessaire - pour mieux gérer le patrimoine routier. Il est donc indispensable de s'appuyer sur des procédés bien ajustés afin de situer l'ensemble du réseau routier, de réunir et de saisir toute donnée jugée indispensable pour des besoins urgents ou ultérieurs. Cet article présente d'une part la mise en place d'un système d'acquisition de données par Global Positioning System (GPS) et l'utilité de la localisation cinématique par GPS pour la détermination de la géométrie et, d'autre part, l'appréciation de l'utilisation d'un tel système de lever pour la gestion routière afin d'améliorer la saisie de données spatiales dans un Système d'Information Routier (SIR).

■ mots-clés

Système d'Information
Routier - GPS - Base de
données routières - SIG

Contexte

■ Le réseau routier Algérien

Avec une superficie de 2 381 741 Km², l'Algérie est le deuxième plus grand pays d'Afrique et le dixième à l'échelle mondiale. Sa population dépasse les 31 000 000 d'habitants (estimation à la fin 2000). La plus grande partie de la population est concentrée au nord du pays, le long des côtes. La majorité des échanges de voyageurs et de marchandises se font par transport routier. La saturation des deux principaux axes du nord du pays, la RN 4 (Alger-Oran) et la RN 5 (Alger - Constantine) est à l'origine d'un projet d'autoroute Est-Ouest, lancé en 1987.

L'aménagement du territoire et la planification d'infrastructures de transports ont été, pendant longtemps, traités séparément. De nos jours, nul n'ignore les relations et interactions qui existent entre ces deux disciplines. Le développement économique d'un pays demande, comme tout développement d'orga-

nisme vivant, une activation des échanges. Or, il n'existe pas d'échanges qui ne supposent des déplacements de personnes, de biens ou d'idées. Les interactions indispensables à ces échanges reposent sur les communications et plus particulièrement, sur les voies de communications et la mise en évidence des liens étroits qui existent entre l'occupation de l'espace et ces infrastructures.

L'Algérie dispose d'une couverture relativement importante en matière d'infrastructures routières, d'une valeur économique et stratégique importante, avec cependant des insuffisances dans certaines régions notamment des hauts plateaux, du grand sud et une saturation de l'axe est-ouest constitué par la RN5 et la RN4.

Le réseau routier Algérien, qui totalise près de 105 000 km et 3 000 ouvrages d'art, assure à lui seul le plus grand volume des échanges, reflétant ainsi la prédominance du mode de transport

routier par rapport aux autres modes, d'où l'importance et la nécessité de sa préservation, son développement et de sa modernisation.

■ Objectifs du projet

La demande en informations géographiques routières augmente chaque année, notamment depuis l'apparition de nouveaux systèmes tels que les systèmes de navigation pour l'automobile. Afin d'assurer une acquisition productive des données ainsi qu'une mise à jour régulière, des moyens techniques efficaces pour ces tâches sont engagés.

Le réseau routier exige dans chaque pays des financements énormes ; sa gestion et son entretien sont des faits obligatoires même si dans certains pays en voie de développement, cette gestion demeure difficilement abordable. La mise en place d'un système d'information géographique régulièrement alimenté par diverses sources est une opération nécessaire pour la prise

de décision. Cependant, le manque de données reste un fait avéré, couvrir l'ensemble du réseau routier avec une grande précision est un fait difficilement réalisable dans certains pays. L'acquisition de telles données par des techniques de mesure conventionnelles est une opération onéreuse et difficile à mettre en œuvre.

L'usage de solutions se basant sur les techniques GPS est une méthode plus systématique et plus productive, mais elle nécessite aussi un matériel spécifique et – à un degré moindre – la connaissance de points de base stables et précis.

Cette étude s'inscrit dans un contexte de localisation des données routières, plus précisément dans un projet de Système d'Information Routier avec pour objectif d'établir une base de réflexions pour l'adaptation des organismes concernés (directions des travaux publics, ministère des transports...) aux nouvelles technologies de la gestion routière qui exploitent les différents objets par des systèmes d'information géographique adéquats.

A cet effet, un projet permettant l'enrichissement et la mise à jour de la base de données routières de la wilaya d'Oran et sa gestion par un SIR a été réalisé et consiste en la saisie de données spatiales par différentes techniques, à savoir :

- **Levé par GPS** : acquisition des données géométriques en utilisant le GPS cinématique.
 - **Levé topométrique mobile** : sa singularité réside principalement dans l'utilisation de capteurs d'imagerie (éventuellement d'un laser), le concept est de saisir des clichés permettant une restitution photogrammétrique pour localiser les éléments qui nous intéressent.
 - **L'imagerie satellitaire à haute résolution** : évaluer les potentialités de l'imagerie satellitaire à haute résolution spatiale dans le but de substituer les images satellitaires aux cartes topographiques traditionnelles utilisées jusqu'à présent pour la constitution et la mise à jour du SIR.
- Nous développerons principalement



Figure 1 : Phases du projet d'enrichissement de la BDR.

dans cet article la phase d'utilisation de la technique d'acquisition relative à l'utilisation du GPS cinématique.

Projet : Enrichissement de bases de données routières

Le projet se décompose en trois phases : une phase où la technique GPS est mise à profit pour saisir les données géométriques, une deuxième phase où l'on utilise les techniques de la topométrie mobile et une troisième phase relative à l'utilisation de l'imagerie satellitaire à haute résolution.

La figure 1 développe les moyens et techniques de base utilisés dans le projet.

Système d'information routier

■ Ses objectifs

Les Systèmes d'Information Géographique fournissent une dimension spatiale aux Systèmes d'Information (SI) qui sont des systèmes de collecte, de stockage, d'analyse et de diffusion des données ou d'informations qui fournis-

sent au moment voulu sous une forme adaptée, les informations adéquates et appropriées aux utilisateurs.

Le Système d'Information Routier est une évolution de l'ancien Système de Gestion des Routes (SGR), qui profite de la transformation des techniques de communications et de l'information géographique. Il permet de rassembler la connaissance du patrimoine routier et de la partager entre tous les utilisateurs et acteurs concernés (Ministères, Directions, Départements...). La perception du réseau est un des éléments indispensables pour définir les stratégies routières en matière d'investissement, d'exploitation, de gestion ou d'entretien.

■ Ses objectifs

L'objectif principal d'un système d'information routier est d'aboutir à une connaissance parfaite du réseau routier en géométrie et en informations descriptives, ce qui permet des prises de décisions optimisées procurant ainsi un transport sécurisé, confortable et économique. Le recueil et stockage des données relatives aux routes a des

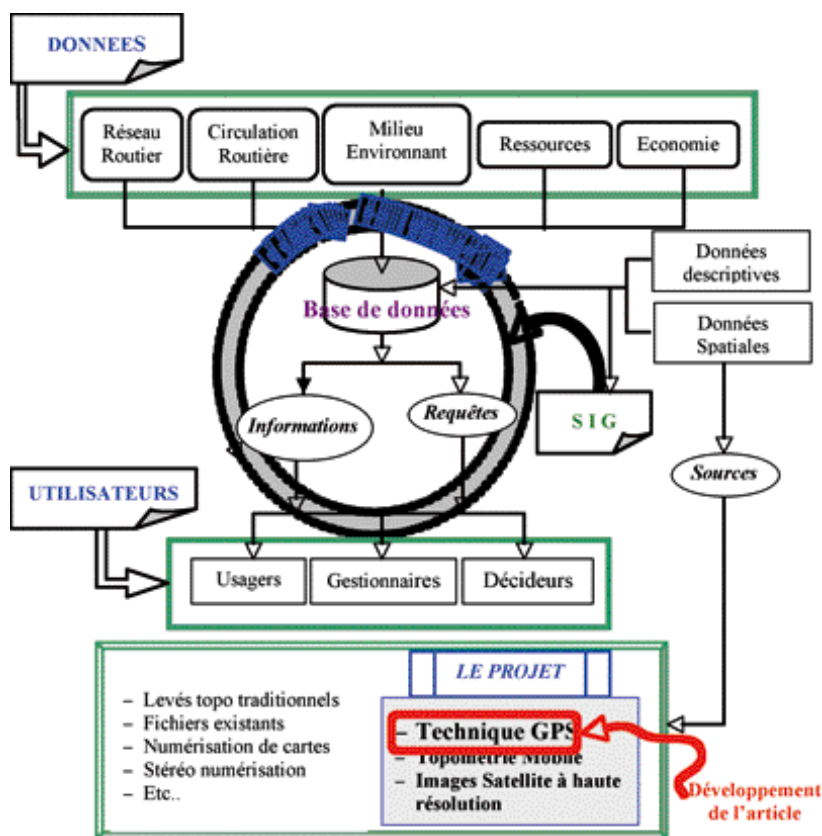


Figure 2 : Schéma du SIR.

sources multiples et diversifiées ; les acquisitions relatives au même point ou à la même section de route, doivent être corrélées ou reliées, la gestion de différentes données dépend du type ou de l'objectif des informations souhaitées. Les données doivent être accessibles à tous les utilisateurs pour toutes sortes d'objectifs.

Le recueil de données implique une large gamme d'activités, en général, les groupes d'informations définis sont :

- l'inventaire de données routières (géométrie et équipement),
- les données de circulation,
- les données d'accidents et de sécurité routière,
- les données d'entretien,
- les données relatives à la chaussée,
- les données financières,
- les données administratives,
- les données météorologiques (température, humidité, etc.),
- les données environnementales (pollution de l'air, niveau de bruit).

Jusqu'à ce jour, les données sont souvent recueillies de façon non coordonnée par les différents organismes rou-

tiers, la clé pour un système d'information routier cohérent est la possibilité de relier une série de données à d'autres fichiers ou à d'autres séries de données et de partager ces informations entre tous les acteurs de la route.

L'intégration de données provenant de recueils séparés peut être réalisée de différentes façons. Néanmoins, un bon système de référence de position est essentiel, les données doivent être bien définies au moment du recueil et être mises à jour régulièrement. On atteint cet objectif en confrontant des investissements différents tant au niveau du projet qu'au niveau du réseau, en coordonnant les différentes activités et en mettant à profit les connaissances et les pratiques utilisées jusqu'à ce jour.

Un SIR comprend une gamme complète d'activités intégrant la planification des investissements, la conception, la construction, l'entretien et l'évaluation périodique ou continue du comportement des usagers de la route. Les catégories de gestion impli-

quées comprennent tant les responsables des décisions ayant trait à la politique et aux orientations pour un ensemble de projets, que les responsables de la mise en pratique et des décisions particulières d'un projet spécifique. Le rôle de la gestion à tous les niveaux est de comparer les options, de coordonner les activités, de prendre les décisions qui s'imposent et leur mise en application d'une manière efficace et économique.

Chaque phase de décision étant importante, le SIR doit développer ces phases, permettre au personnel engagé de les identifier et de s'assurer qu'elles correspondent à la structure de l'organisme en question. Les sollicitations diverses imposent une connaissance parfaite de toutes les données relatives au réseau routier. Une cartographie numérique est un fait important qui permet une représentation fidèle et à jour très appropriée.

■ Ses avantages

Les avantages du SIG étant depuis quelques décennies bien connus et appréciés des pays développés, leurs services sont utilisés dans des domaines extrêmement diversifiés depuis l'aménagement du territoire à l'analyse marketing ou à d'autres techniques. Cette réalité ne reflète pas la situation dans d'autres pays du globe. Dans les pays en voie de développement, l'évolution de la géomatique et particulièrement des SIG se situe encore au stade préliminaire, son utilisation est toujours marginale, ponctuelle et limitée à quelques secteurs, essentiellement la gestion des ressources naturelles et la gestion du territoire et de l'environnement. En Algérie, la plupart des analyses SIG sont effectuées à la demande d'organismes gouvernementaux, l'apport du secteur privé se limite le plus souvent à la fourniture de matériel, de logiciels et quelques fois de cours de formation. Le secteur privé ne fournit que rarement des services d'information géographique.

L'intérêt technique et stratégique apporté par un SIR dans l'élaboration

d'une politique routière est indéniable. La constitution d'une base de données routières permet de connaître précisément le réseau à gérer. Les SIG permettent de produire des informations thématiques localisées très efficaces pour définir l'étendue du réseau, sa qualité, sa fréquentation, son état. Si les décideurs disposent de cartes thématiques simples et de graphes statistiques, ils peuvent améliorer et surtout visualiser la connaissance du réseau routier à gérer.

Par ailleurs, les possibilités de simulations offertes par les outils SIG constituent un intérêt stratégique primordial dans l'élaboration de la politique routière. Ces simulations permettent d'affecter les diverses versions de construction ou de réhabilitation d'une route et d'en mesurer les impacts environnementaux. Le choix d'une politique routière est aussi directement lié à des contraintes budgétaires, le SIR permet de simuler diverses variantes de stratégie financière, d'évaluer les incidences budgétaires optimales et de prévoir le futur du réseau en général, ou d'une route en particulier.

Les SIG sont très appréciés des organismes internationaux avancés dans le domaine de la gestion routière. Les différents projets expérimentés (tels que DRIVE, EUREKA, MAN, etc.) ont démontré leur contribution dans l'amélioration de la transparence du processus d'élaboration de la politique routière. En effet, une information plus complète permet d'établir des critères objectifs de sélection sous la forme d'analyses multicritères.

La dimension géographique associée à un SIR permet de collecter des informations sur tous les éléments intégrés dans la mise en œuvre du réseau, que ce soit les matériaux locaux, l'emplacement des gîtes ou la qualité de ces matériaux. Le prix d'une route est composé, pour une part importante, de frais de transport (eau et matériaux). Une analyse thématique et géographique peut se traduire par de sérieuses économies.

L'utilisateur est le premier bénéficiaire d'un système de gestion routier, mais

l'organisme qui l'utilise acquiert aussi des avantages certains, aidant ainsi la prise de décisions adéquates, assurant une meilleure coordination de ses activités et une amélioration dans le perfectionnement de son personnel.

Il est très important de définir les différentes activités qui composent un système de gestion routier, de définir les avantages possibles découlant de l'utilisation d'un tel système et d'en présenter une vue d'ensemble.

■ Les données spatiales

Les données spatiales posent fréquemment un double problème car elles doivent être traitées par des opérations spécifiques et leur structuration est complexe et variable. Elles permettent de localiser les entités sur le territoire et d'en décrire la forme géométrique à l'aide de points, de lignes, de polygones, ou d'images.

Disposer d'une couverture cartographique numérique précise du réseau routier est une étape fondamentale dans la mise en place d'un SIR. Or, aucun organisme national ne dispose de données routières suffisamment abondantes et précises pour répondre à nos exigences.

Nous avons donc mis en place une mission qui répond à plusieurs objectifs :

- Disposer rapidement d'une cartographie du réseau routier suffisamment précise pour permettre l'exploitation de notre base de données.
- Assurer une mise à jour de données précise et efficace.
- Sensibiliser le personnel des divers services du domaine routier aux nouvelles techniques d'acquisition et de gestion routière.
- Utiliser les nouvelles techniques d'acquisition de données routières qui s'appuient sur de nouveaux concepts, tels que l'utilisation des techniques GPS cinématique, la topométrie mobile et l'utilisation d'imagerie satellitaire à haute résolution.

Ces méthodes, déjà utilisées dans plusieurs pays développés ont démontré leur efficacité et rapidité dans plusieurs domaines.

Principe du système GPS

Le système GPS (Global Positioning System) est un système de radiolocalisation par satellite qui permet le positionnement de tout objet fixe ou mobile au voisinage de la surface terrestre. Il offre un champ d'applications très vaste et des performances plus intéressantes que les techniques classiques compte tenu de plusieurs critères : délais d'exécution très courts, fiabilité des résultats, système tout temps et continu, absence de contraintes d'intervisibilité ou de répartition géométrique, positionnement en temps réel etc...

Le positionnement par GPS est basé sur l'exploitation des données (de code ou de phase) transmises par des signaux des satellites.

On distingue le **positionnement absolu** du **positionnement relatif** (ou différentiel), tant du point de vue des acquisitions et du type de traitement effectué que de la précision des résultats.

■ Positionnement absolu

il est surtout employé pour la navigation où l'on considère la relation entre un récepteur et plusieurs satellites en mesurant les pseudo-distances (code C/A ou P).

(R_i) : Distance géométrique

(X_i, Y_i, Z_i) : Position satellite

$$R_i = \sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + (Z_i - Z)^2}$$

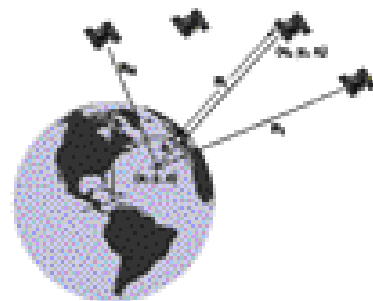


Figure 3 : Le positionnement absolu.

■ Positionnement relatif

La détermination des coordonnées de points inconnus se fait par rapport à celles de points connus. Les distances satellite-récepteur sont enregistrées en

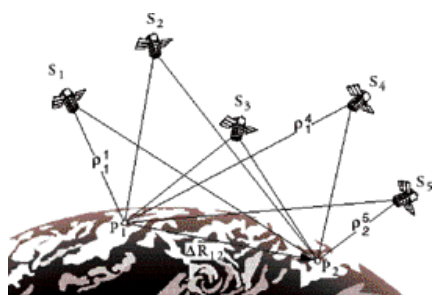


Figure 4 : Le positionnement relatif.

■ au moins deux stations, observant simultanément les mêmes satellites (mesure de phase de la porteuse). Ce type de positionnement permet par différentiation d'éliminer l'influence des erreurs communes à chacun des sites de réception (erreurs d'orbite, de propagation du signal et de décalage des horloges satellite-récepteur). La précision relative obtenue est de l'ordre de 10^{-6} .

Ce type de positionnement peut s'effectuer en mode statique ou dynamique (l'un des récepteurs est alors mobile), en temps réel ou différé.

C'est cette technique de mesure, dans son utilisation la plus précise en mode cinématique qui sera utilisée dans notre projet.

■ Le positionnement cinématique

Le positionnement cinématique consiste techniquement à observer une chaîne de points pour lesquels les ambiguïtés sont communes, il est donc nécessaire de maintenir le contact le long du levé avec au moins cinq satellites (de préférence six ou plus), pour

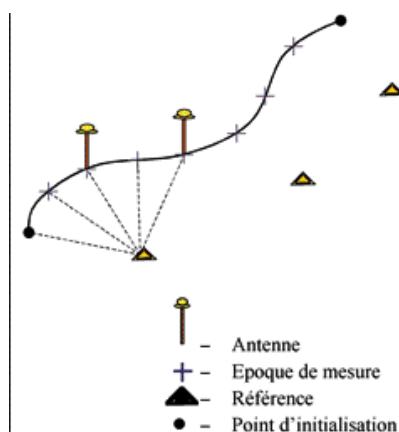


Figure 5 : Mode cinématique.



(extrait de la carte NI-30 XXIV 2 à l'échelle 1/25000 éditée par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection).

réduire l'effet de la mauvaise géométrie des satellites d'une part et la perte momentanée du signal d'autre part. Cette méthode permet une précision centimétrique, mais sa mise en œuvre sur le terrain est limitée.

La principale difficulté réside dans l'obligation de fixer le nombre d'ambiguïtés entières de la phase avant de commencer le levé.

Le principal intérêt est qu'il y a une seule résolution d'ambiguïté pour un nombre important de points. Le récepteur de référence reste fixe sur un point connu tandis que l'autre se déplace librement le long du trajet à lever, après avoir effectué la phase d'initialisation. La technique d'initialisation la plus utilisée est l'initialisation en vol (OTF) qui permet de fixer rapidement les ambiguïtés.

■ Levé par GPS

De nos jours, on peut effectuer à l'aide de récepteurs GPS tel que ASHTECH Z12, un levé de points de détails en mode cinématique où une précision centimétrique – en zone suffisamment dégagée – est largement suffisante pour nos besoins routiers. L'avantage par rapport aux stations totales est de s'affranchir du pointé, de l'intervisibilité entre points de base et mobile, de la nature du relief et la possibilité de travailler en tout temps. Les points levés sont d'abord calculés

en coordonnées géocentriques (système WGS84) puis transformés en coordonnées (E, N, h) dans le système local.

Actuellement, les calculs sont très souvent effectués en post-traitement par le logiciel fourni avec le matériel.

Application au Projet

■ Présentation de la zone du projet

Le projet de levé de route par GPS cinématique réalisé se situe dans la ville d'Arzew (Oran) avec une longueur supérieure à 4 kilomètres, traversant des zones urbaines. Le point de référence choisi est un point précis, observé et calculé dans le cadre du projet international (TYRGEONET) et intégré dans le réseau national (ALGEONET) des points géodésiques de premier ordre entièrement déterminés par GPS.

■ Choix des paramètres de calcul

Les paramètres utilisés lors du traitement des observations GPS par le logiciel WINPRISM sont les suivants :

- Type d'éphémérides : radiodiffusées
- Modèle atmosphérique : modèle standard (Hopfield)
- Type de traitement : L_1 & L_2
- L'écart type a priori est fixé à 40 mm
- Point d'appui fixé lors du traitement : point rattaché au réseau ALGEONET

■ Transformation des coordonnées

La transformation des coordonnées du système WGS84 au système local a été réalisée par un logiciel "TRANSDAT" de la division de géodésie ; les résultats de la transformation se résument en deux fichiers ; un fichier nivellement qui comprend les altitudes des points rattachées au Nivellement Général Algérien ; ce fichier a été utilisé pour l'établissement du profil en long, du plan topographique et du MNT et un fichier des coordonnées UTM et Lambert dans le système local.

■ Résultats

La figure 7 représente le carrefour principal d'entrée d'agglomération d'Arzew dont le levé a été effectué par GPS cinématique

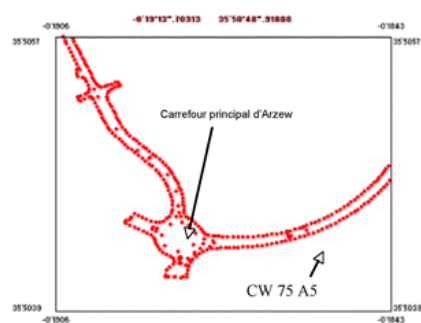


Figure 7 : Extrait du plan de levé par GPS cinématique.

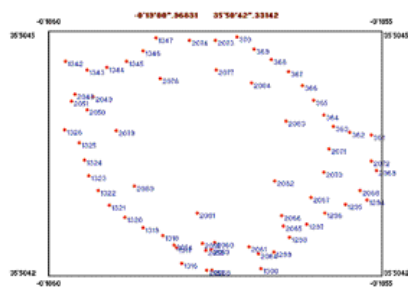


Figure 8 : Agrandissement du rond point d'Arzew (RN 13).

La figure 8 qui représente l'agrandissement du rond point et de ses environs permet d'estimer l'abondance des points constituant le levé (objets linéaires et points de détail), qui ont été observés en mode cinématique et traités.

■ Structure des fichiers

Le fichier des points issu du module de traitement des observations GPS est structuré comme suit :

- Name : code ou nom de point.
- LAT et LON : coordonnées géographiques (N : North, W : West).
- HE : hauteur ellipsoïdique.
- RMS : Root Mean Square (Erreur Moyenne Quadratique)
- PDOP : Position Dilution of Precision

Après une codification appropriée, l'intégration des fichiers à la base de données routières est effectuée. Les extraits des tableaux ci-dessous représentent la structure des fichiers points issus après la transformation.

A travers cette application et les différents tests effectués, le positionnement en mode cinématique utilisé dans de bonnes conditions de géométrie et un nombre suffisant de satellites visibles s'avère adéquat et très pratique dans le levé des objets linéaires avec une précision satisfaisante (de l'ordre du cm).

Une codification particulière est établie pour les différents points saisis, par exemple, les axes de route ont un code particulier, différent de celui des accotements, les applications intégrées tiennent compte de cette codification dans les traitements.

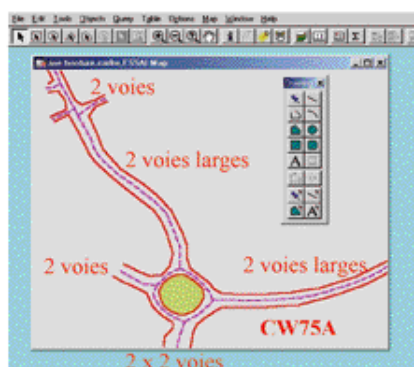
L'intégration des données dans le système d'information géographique nécessite des opérations de structuration géométrique et d'attributs descriptifs, cette structuration s'est faite selon un modèle conceptuel de données pré-établi.

Cette partie du projet consolidera sûrement les prochaines étapes de développement, basées sur l'intégration de ces fichiers dans la base de données routières et leur gestion dans le SIR.

L'intégration de la nouvelle géométrie dans le SIG permet des analyses à jour, donc plus de fiabilité aux utilisateurs. Les applications et les prises de décision se baseront sur des informations plus efficaces.

Name	LAT	LON	HE	RMS	PDOP	Observation
Référence	N 35 51 29.768970	W 0 18 49.708380	75.7812	0	2.2	Pt de base
B001	N 35 51 11.368639	W 0 19 25.605810	72.7919	0.012	2.2	Pt de détail
B002	N 35 51 11.055016	W 0 19 25.725727	72.4667	0.011	2.2	Pt de détail
????	N 35 51 86.024422	W 0 30 68.980776	49.3527	0.031	2.4	Pt trajectographie
????	N 35.51 86.024432	W 0 30 68.981452	49.3555	0.031	2.4	Pt trajectographie

N°Point	X UTM (m)	Y UTM (m)	H(m)	Observation
A500	743147.543	3971328.909	50.938	Pt de détail
B501	743170.893	3971416.693	51.150	Pt de détail
P1	743263.021	3971499.811	49.343	pt trajectographie
P2	743263.019	3971499.811	49.353	pt trajectographie



— Bordure de chaussée
— Axe de chaussée

Figure 9 : Exemple de manipulation de données dans un SIG (MapInfo)

Conclusion et perspectives

Cette application de lever par GPS cinématique a permis de saisir des données d'une façon systématique, une première évaluation a démontré l'intérêt de son utilisation dans un contexte moderne de lever routier en zone dégagée, tout en s'assurant de sa compatibilité avec les méthodes classiques et les exigences générales de la gestion routière. Afin d'approfondir les potentialités d'un tel outil, on se doit d'entreprendre certaines études :

- Analyser de manière ciblée la qualité des données de navigation et de restitution,
- comparer la géométrie de la route déterminée par ce système mobile avec une géométrie de référence issue des méthodes classiques de lever,
- établir un test selon les exigences des normes pour la gestion routière.

Mais, le projet étant plus complexe, sa suite se fera avec l'utilisation de caméras vidéo, intégrant celles-ci en combinaison avec le GPS pour la restitution d'éléments routiers, nos aspirations s'étendent à l'utilisation d'imagerie satellite à haute résolution (SPOT5, 2.5 m) qui s'est avéré concluante dans plusieurs projets internationaux.

Le domaine routier saura certainement profiter de ces nouvelles techniques, ce fait exige une planification réfléchie, précise et détaillée. L'intégration des données géoréférencées dans le SIR permet une gestion globale, systématique et intégrale des objets routiers, de ce fait, l'intérêt à ces pratiques ne sera que croissant. ●

Contacts

Hocine NECHNICHE

Chargé de recherche - Laboratoire de Géomatique - Centre National des Techniques Spatiales
CNTS Arzew - Bp 13 - 31200
Nechniche_Hocine@yahoo.fr

Abdelkader MENDAS

Chargé de recherche - Laboratoire de Géomatique CNTS.

Omar AYOUAZ

Attaché de recherche - Laboratoire de Géodésie CNTS.

Hbib TAIBI

Attaché de recherche - Laboratoire de Géodésie CNTS.

Bibliographie

DUQUENNE F. - WILLIS P. - PEYRET F. - BETAÏLE D. *GPS : Localisation et navigation par satellites. : Les applications autres que la localisation.* pp253-271. HERMES 2005.

EL-SHEIMY N. *The Development of VISAT - A Mobile Survey System for GIS Applications.* UCGE Reports Nr. 20101, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary. . 1996

GILLIERON P.-Y. *Les systèmes de lever topométrique mobiles.* EPFL, Département de Génie Rural, Institut de Géomatique, Unité de Topométrie.

H. GONTRAN - P.-Y. GILLIERON - AND J. SKALLOUD. *Precise Road Geometry for Integrated Transport Safety Systems.* In STRC 05 5th Swiss Transport Research Conference, 2005.

H. NECHNICHE. "modélisation du réseau routier en vue de la constitution d'une base de données routières" Thèse de Magister- CNTS- Arzew-1996.

OGGIER R. ET GILGEN M. *Projet SYRROU : Systèmes de repérage spatial des données routières, Base pour la révision des normes VSS SN 640910 et SN 640911.* EPFL, Département de Génie Rural, Institut de Géomatique, Chaire de SIRS. 2000

PEYRET F. - BETAÏLE D. *GPS : Localisation et navigation par satellites. Le positionnement dynamique.* pp161-252. HERMES 2005

PEYRET F. *Standardization of data flows on earthworks and road pavement sites using information systems. Proceedings of the 19th International Symposium on auto-*

mation and robotics for construction Washington DC, USA, September 23-25, 2002.

J. SKALLOUD - H. GONTRAN - AND B. MERMINOD. *GSM-Distributed RTK for Precise Analysis of Speed Skiing.* In GNSS 2004, 2004.

V. WALTER ET D. FRITSCH. *Structures de données SIG pour système de navigation pour véhicules automobiles.* La conférence canadienne sur les SIG : 6^e conférence internationale. Ottawa, 1994, pp. 489-497.

Remerciements

L'équipe tient à remercier vivement Monsieur H. Gontran, qui par la richesse de ses corrections et ses appréciations a permis à cet article de voir le jour. Qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et nos remerciements les plus sincères pour son aide inestimable.

ABSTRACT

Keywords: Road Information System - GPS - Road database - GIS

To update road databases, the implementation of a mobile mapping system is a proven solution. Thus, the Laboratories of Geomatics and Geodesy at the National Center of the Spatial Techniques (CNTS - Arzew - Oran) use this methodology to precisely determine the road geometry. To dispose of convincing data on the road network that are managed by a Geographical Information System (GIS) is a helpful, otherwise necessary, need to manage road inventories. It is therefore necessary to rely on well-adjusted processes in order to locate the road network, to capture all indispensable data for the urgent or ulterior needs. This paper presents the setting up of a data acquisition system by Global Positioning System (GPS) and the utility of GPS-based kinematic positioning, as well as the assessment of the use of such systems for road management to improve the integration of spatial data in a Road Information System (RIS).

Fiabilité des réseaux géodésiques

Application : réseau cadastral de la ville d'Oran - Algérie

■ Bachir GOURINE - Boualem GHEZALI

L'analyse des réseaux géodésiques est une phase incontournable dans le processus de leur établissement. Elle permet de contrôler la qualité du réseau qui est caractérisée non seulement par la précision mais aussi par la fiabilité et la robustesse du réseau :

- *La fiabilité permet la détection des observations discordantes (outliers) non détectables par l'analyse statistique usuelle.*
- *L'analyse de robustesse est basée sur la combinaison de la fiabilité et de la déformation du réseau. Elle permet une évaluation fine des effets des erreurs d'observations sur les points du réseau, en termes de robustesse en échelle, en configuration et en orientation.*

Le présent article présente ces outils et leur application pour l'analyse des réseaux géodésiques.

Les résultats obtenus lors des tests effectués sur un réseau cadastral de la ville d'Oran (Algérie), comportant 45 points dont 8 points d'appui, sont jugés acceptables en vue de la précision exigée en cadastre (± 5.4 cm). L'évaluation de la fiabilité a permis la détection d'erreurs de l'ordre de 4 mgon dans les observations. La moyenne de leurs effets sur les paramètres du réseau est de l'ordre de 0.6 mgon en orientation et de 6.9 cm en planimétrie. La robustesse du réseau en terme de configuration, d'échelle et d'orientation est, respectivement, en moyenne de l'ordre de 190 ppm, 15 ppm et 12.6 mgon. Dans les zones de faiblesse du réseau, les valeurs de la robustesse sont importantes et ceci est dû au manque de redondance des observations.

■ mots-clés

Réseau Géodésique -
Qualité - Analyse - Précision
- Fiabilité - Robustesse

En géodésie, la phase d'analyse des réseaux géodésiques permet de juger, de valider et de contrôler la qualité des observations et des paramètres géodésiques ajustés. Plusieurs études ont été menées pour instaurer une analyse fiable des résultats de l'ajustement.

Traditionnellement, les réseaux géodésiques sont analysés par des tests statistiques qui concernent les observations aberrantes, le facteur de variance a posteriori, les ellipses d'erreurs absolues et relatives et les résidus ajustés (Vanicek et al., 2001). Tous ces tests sont basés sur l'hypothèse nulle H_0 qui postule que le vecteur des résidus suit une distribution normale de probabilité.

En revanche Baarda formula l'hypothèse alternative H_A qui suppose, au préalable, l'existence d'erreurs indétectables par des tests usuels (cas des observations biaisées). Ses investigations dans ce domaine le menèrent à établir la théorie de la fiabilité (Vanicek et al., 2001).

Une extension de cette théorie, appelée robustesse, vient de conforter l'analyse des réseaux géodésiques. Cette technique est basée sur la combinaison de la fiabilité et de la déformation du réseau, en utilisant le concept du tenseur de déformation définissant le gradient du champ des déplacements.

Fiabilité des réseaux géodésiques

La fiabilité d'un réseau peut être représentée comme étant la capacité d'un réseau de détecter et de résister aux erreurs d'observations non détectables par les tests statistiques classiques. Elle dépend de la géométrie du réseau et de la précision des observations (Seemkooei, 2001). Le but recherché, en terme de fiabilité, est la minimisation de la magnitude des erreurs non détectables dans les observations et par conséquent, la minimisation des effets de ces erreurs sur les paramètres estimés.

Deux éléments essentiels définissent la fiabilité : "Fiabilité interne" et "Fiabilité externe" (Lachapelle et al., 2000).

La fiabilité interne permet de contrôler les observations. Elle comprend plusieurs indicateurs, notamment, la part de redondance (r_i), le résidu standardisé et la plus petite faute détectable (∇_{ii}) dans la i^{e} observation l_i . Cette dernière est exprimée par (Carosio et al., 1995) et (Dominici et al., 1995) :

$$\nabla_{ii} = \sigma_{w_i} \frac{\delta}{\sqrt{r_i}} \quad (1)$$

■ ■ ■ Avec :

- σ_{v_i} : écart-type du résidu de l'observation l_i ,
- r_i : part de redondance de l'observation l_i ,
- δ : paramètre d'excentrement de la densité de probabilité des résidus et il est en fonction des erreurs de 1^{er} et 2^{es} espèce (α, β), (Vanicek, 2001) et (Leick, 1990).

Les parts de redondance des observations sont les éléments diagonaux de la matrice R définie telle que :

$$R = I - A.(A^t.A)^{-1}.A^t.P \quad (2)$$

Où A et P, représentent respectivement les matrices de configuration et des poids des observations.

Les valeurs des parts de redondance sont comprises entre 0 et 1. La valeur 0 signifie que l'erreur sur l'observation considérée ne peut pas être identifiée et la valeur 1 signifie que l'observation est bien contrôlée.

L'indicateur de **fiabilité externe**, noté ∇_x , est l'effet de chaque ∇_{li} sur les paramètres estimés (dx, dy, dV0) des points du réseau. Il est représenté par la relation suivante (Carosio et al., 1995) et (Dominici et al., 1995) :

$$\nabla_x = (A^t P A)^{-1} A^t P \nabla_{li} \quad (3)$$

Un réseau géodésique est dit fiable s'il remplit les critères suivants :

- Possibilité de détection d'éventuelles erreurs dans les observations.
- L'erreur détectée dans une observation doit être petite par rapport à son écart type.
- L'effet d'une erreur sur les coordonnées doit être aussi petit que possible.

Robustesse des réseaux géodésiques

Par définition, la robustesse d'un réseau géodésique est une combinaison de la fiabilité et de la déformation du réseau (Vanicek et al., 2001). C'est une technique plus appropriée pour l'évaluation fine de l'effet des erreurs d'observations sur le réseau. Cette méthode est basée sur le concept du tenseur de déformation qui définit le gradient du champ des déplacements.

Etant donné un champ de déplacement bidimensionnel $U(x, y) = (u, v)^t$ en fonction de la position $X = (x, y)^t$, la matrice du tenseur de déformation E est définie par (Seemkooei, 2001), (Vanicek et al., 2001) et (Michel et al., 2003) :

$$E = \nabla(U) = \frac{\partial U(x, y)}{\partial X} = \begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x}(x, y) & \frac{\partial u}{\partial y}(x, y) \\ \frac{\partial v}{\partial x}(x, y) & \frac{\partial v}{\partial y}(x, y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{yx} & e_{yy} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Cette matrice contient toute l'information sur la déformation, mais reste très difficile à interpréter. Afin de faciliter l'interprétation du tenseur de déformation, différentes grandeurs scalaires peuvent être déduites de la matrice de déformation E, appelées les primitives de la déformation, telles que :

- La dilatation ou tenseur moyen : $\lambda = \frac{1}{2}(e_{xx} + e_{yy})$;
- Le cisaillement total : $\gamma = \gamma_{xy} = \gamma_{yx} = \sqrt{e_{xy}^2 + e_{yx}^2}$

Où τ et υ représentent respectivement les cisaillements pur et simple, définis de la manière suivante :

$$\tau = \tau_{xy} = -\tau_{yx} = \frac{1}{2}(e_{yx} - e_{xy}) ;$$

$$\upsilon = \upsilon_{xy} = -\upsilon_{yx} = \frac{1}{2}(e_{xy} + e_{yx}) ;$$

- La rotation différentielle locale : $\delta\omega = \omega - \Omega$

$$\text{avec : } \omega = \frac{1}{2}(e_{xy} - e_{yx}) ;$$

Ω : représente la rotation globale qui correspond à la moyenne des ω sur les points du réseau.

L'analyse de robustesse utilise les valeurs absolues de la fiabilité externe maximale $|\nabla_{x_{\max}}|$ du réseau comme étant un champ de déplacement local (Seemkooei, 2001). Les gradients du champ de déplacement local sont évalués séparément pour chaque coordonnée x et y afin de déterminer les composantes de la matrice du tenseur de déformation leur correspondant.

L'analyse et l'interprétation des résultats nécessitent la détermination des valeurs maximales des primitives de déformations notées ($\lambda_{\max}, \gamma_{\max}, \delta\omega_{\max}$) qui décrivent, respectivement, la robustesse du réseau en échelle (dilatation), en configuration (cisaillement total), et en orientation (rotation différentielle).

Application

L'application a porté sur l'analyse du réseau cadastral de la ville d'Oran qui est composé de 37 points nouveaux et de 8 points d'appui, Figure 1. Les données géodésiques utilisées lors du traitement et l'analyse de ce réseau sont constituées de 204 observations (194 directions et 10 distances). Les coor-

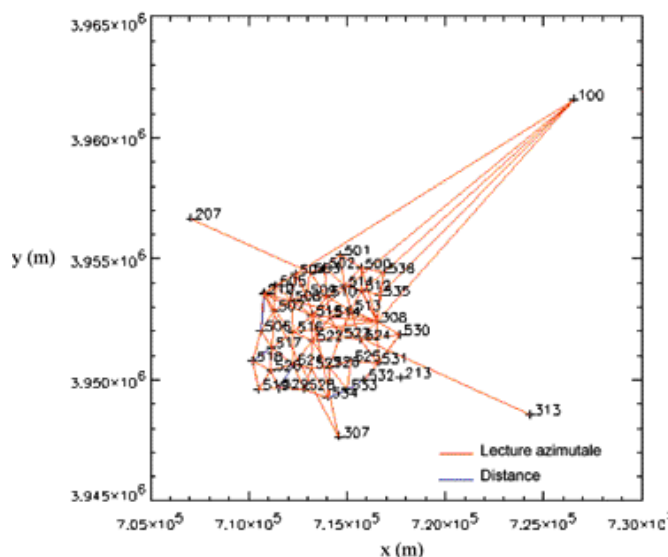


Figure 1 : Configuration du réseau cadastral de la ville d'Oran.

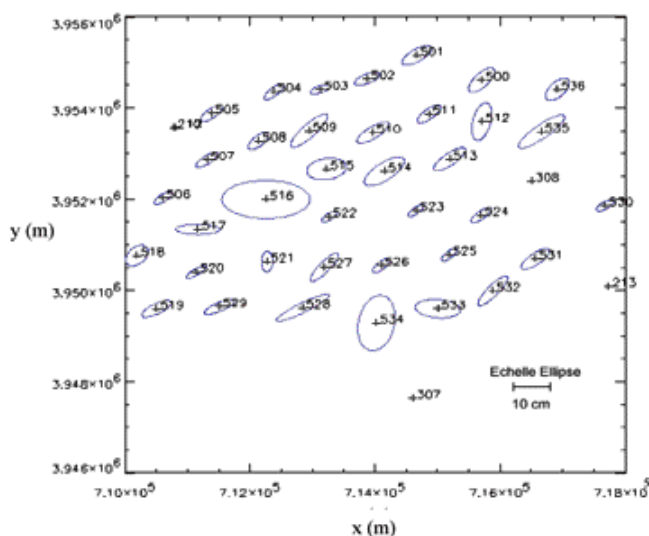


Figure 2 : Ellipses d'erreurs des points du réseau cadastral de la ville d'Oran.

données des points sont exprimées dans le système géodésique Algérien (Nord Sahara 1959), en projection UTM (fuseau 30).

Afin de juger la qualité des paramètres ajustés, nous avons évalué les ellipses d'erreurs des points du réseau, Figure 2. Les dimensions des ellipses d'erreurs sont en moyenne de 5.1 cm. La Figure 2 montre que la majorité des ellipses ont des tailles sensiblement égales, de l'ordre de 4.6 cm. Par conséquent, la précision obtenue sur l'ensemble des points du réseau est homogène et jugée acceptable pour le cadastre.

■ Fiabilité du réseau

Les figures 3 et 4 représentent, respectivement, la magnitude des erreurs d'observations non détectables par les tests statistiques classiques et leurs effets sur les paramètres estimés du réseau.

Les paramètres estimés dépendent essentiellement de la part de redondance des observations impliquées dans leur détermination. Plus la part de redondance d'une mesure est petite (i.e., faible contribution au degré de liberté) plus son influence sur les paramètres estimés devient importante. En d'autres termes, si la part de redondance est proche de 1, la variance des résidus est de l'ordre de la variance des observations; et par conséquent, la variance des observations ajustées tend vers 0. Dans ce cas, le bruit dans les résidus est égal à celui des observations (i.e., les observations sont ajustées avec une grande précision). Par contre, si la part de redondance est proche de 0, alors la variance des résidus est nulle (i.e., la variance des observations ajustées est égale à celle des observations).

La Figure 3a montre que les valeurs de la part de redondance des observations sont en moyenne de 44% et que les erreurs détectées (fiabilité interne) sont de l'ordre de 4 mgon; à l'exception de quelques observations dont la part de redondance est trop faible ($\approx 1\%$) et le seuil de détection d'une faute de l'ordre de 26.3 mgon.

Dans le cadre de la conception des réseaux géodésiques, il est à noter que d'autres indicateurs de fiabilité interne doivent être utilisés, tels que le résidu standardisé et la grandeur probable d'une faute détectée.

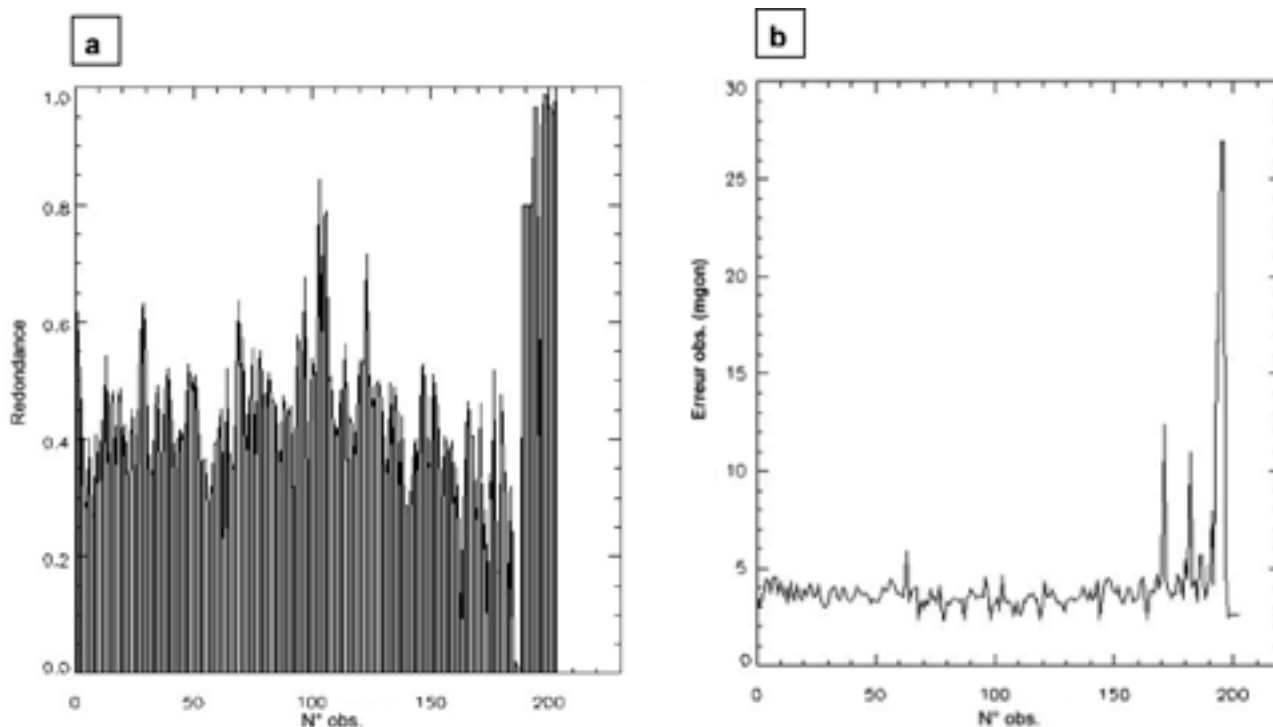


Figure 3 : Fiabilité du réseau (a) redondance des observations (b) fiabilité interne du réseau.

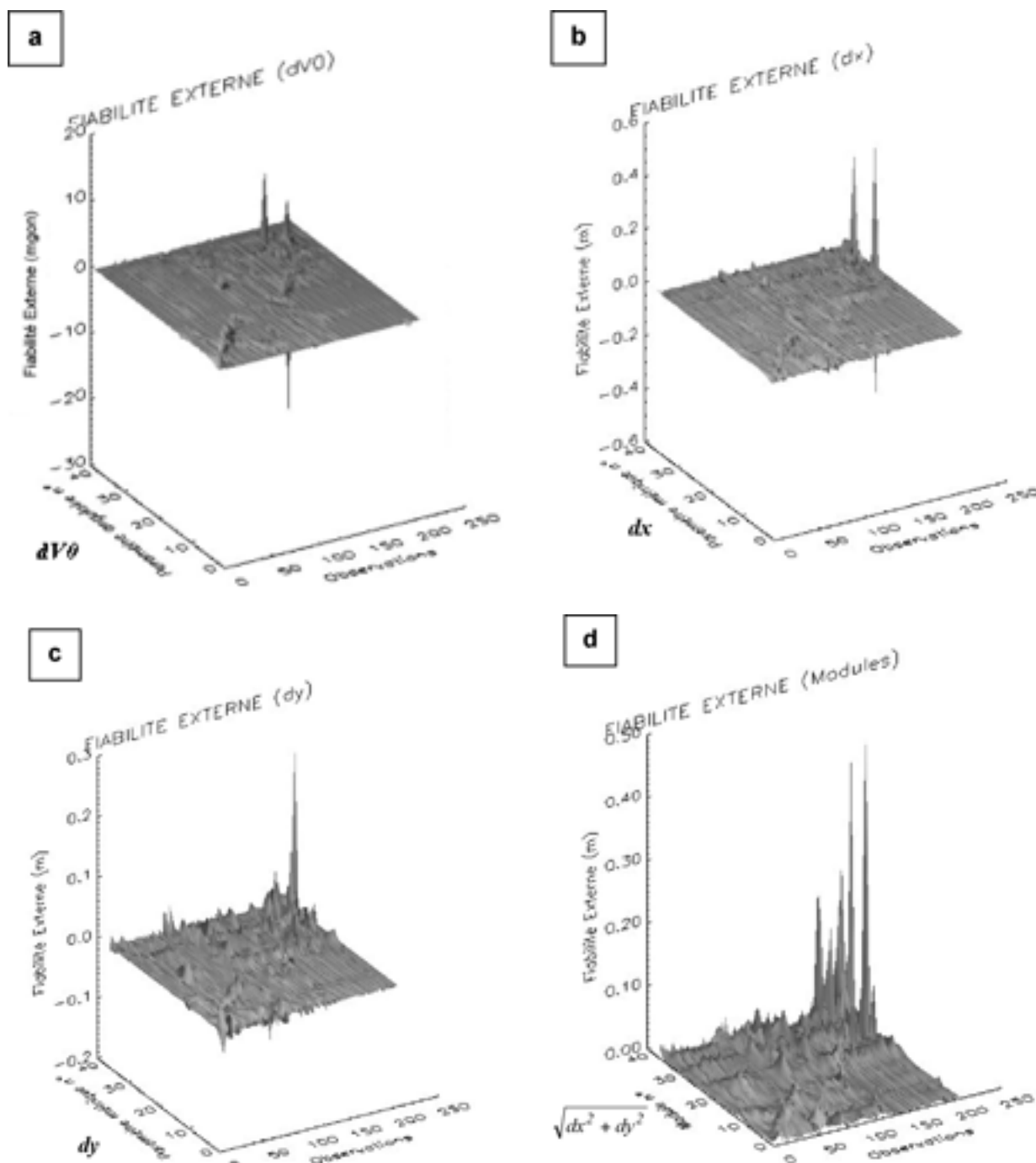
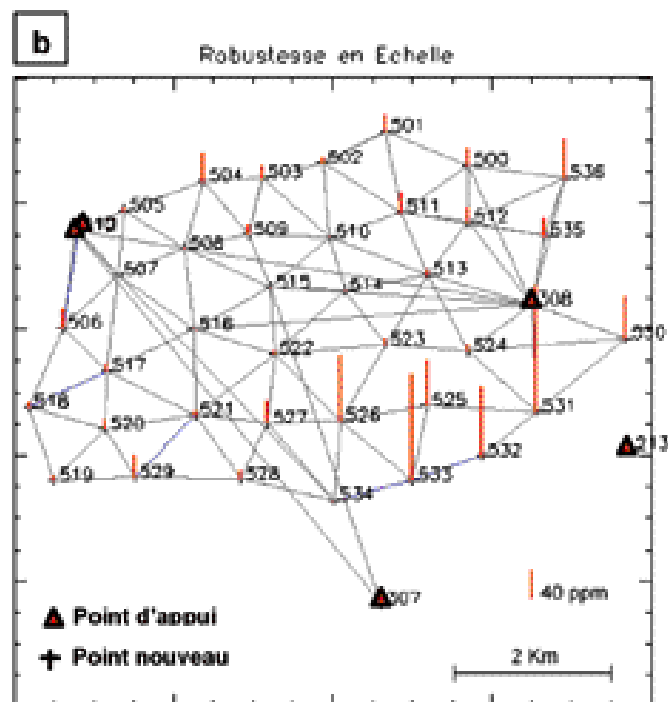
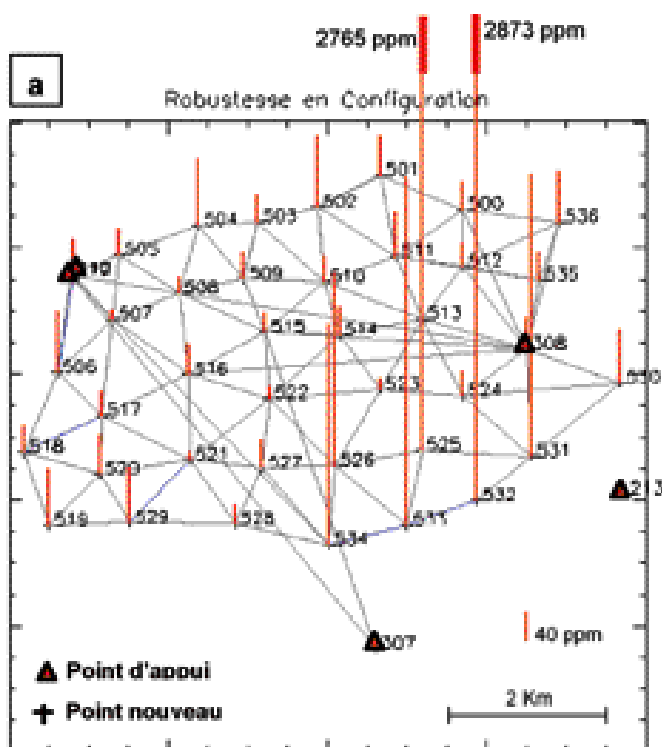


Figure 4 : Fiabilité externe du réseau : (a) en orientation V0 (b) en coordonnée x (c) en coordonnée y (d) en position 2D. Pour chaque graphe, l'axe des X représente le numéro des observations, l'axe des Y représente le numéro des paramètres et l'axe des Z représente les valeurs de la fiabilité externe.

- Afin de satisfaire les critères de fiabilité du réseau, il est recommandé de (Gourine, 2004) :
 - Concevoir le réseau de sorte que les parts de redondance des observations soient semblables, afin que la capacité de détection des erreurs d'observations soit sensiblement identique en tout point du réseau. La fiabilité du réseau repose sur le critère général suivant : $\text{Min}(r_i) \rightarrow \text{Max}$, où r_i représente la part de redondance de la i^{e} observation.

- Disposer d'un lot d'observations n qui soit au moins 3 fois supérieur au nombre de paramètres à estimer p . Par conséquent, la somme des parts de redondance des observations Σr_i (nombre de degré de liberté du réseau $n - p$) sera au moins deux fois supérieure au nombre des paramètres : $\Sigma r_i = n - p \geq 2p$, avec : $n \geq 3p$.

Les statistiques des effets maximaux des erreurs détectées par la fiabilité interne sur l'ensemble des paramètres ajustés



sont représentées dans le tableau suivant :

Fiabilité externe	Min	Max	Moyenne
dv0 (mgon)	-27.0	11.2	0.6
dx (cm)	-47.0	33.0	-1.8
dy (cm)	-12.1	26.3	-0.2
Module $\sqrt{dx^2 + dy^2}$ (cm)	2.1	47.3	6.9

Tableau 1 : Statistiques de la fiabilité externe du réseau

Le tableau (1) et la Figure 4 montrent que les effets maximaux des biais de mesures sur les paramètres du réseau sont en moyenne de l'ordre de 0.6 mgon sur l'orientation et de 6.9 cm sur la position planimétrique.

Dans l'ensemble, ces biais n'exercent pas d'influences significatives sur les coordonnées du réseau, compte tenu de la précision requise en cadastre qui est de ± 5 cm. Seuls les points dont la part de redondance des observations est faible peuvent subir des erreurs importantes.

■ Robustesse du réseau

La Figure 5 illustre la robustesse du réseau en terme de configuration, d'échelle et d'orientation sur chaque point du réseau cadastral. Elle est caractérisée par les valeurs absolues des trois quantités primitives de déformation : cisaillement γ (configuration), dilatation λ (échelle) et rotation différentielle $\delta\omega$ (orientation).

En moyenne la robustesse du réseau est de l'ordre de 190 ppm en configuration, de 15 ppm en échelle et de

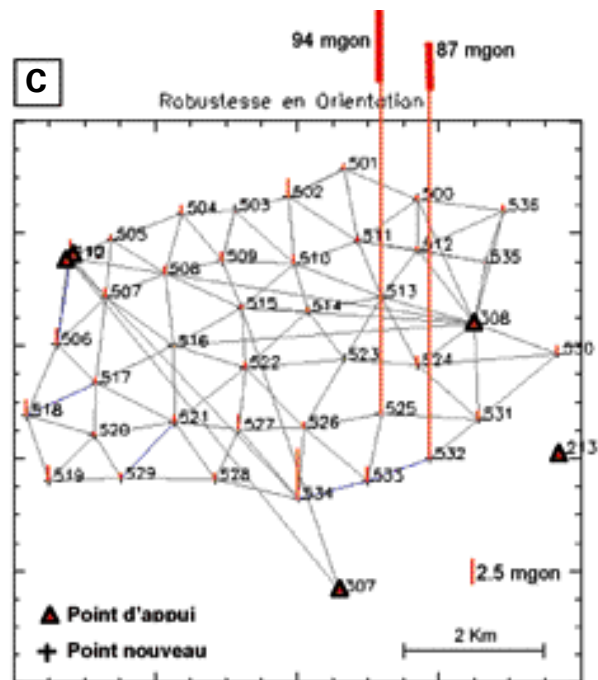


Figure 5 : Robustesse du réseau (a) en configuration (b) en échelle (c) en orientation.

2.6 mgon en orientation. Les points de moindre robustesse, par exemple 525 et 532, Figure 5a et 5c, sont distingués par des valeurs importantes. Ceci est dû à une faible part de redondance des mesures relatives à ces stations et à d'éventuelles observations discordantes. Par conséquent, il est important d'augmenter le nombre d'observations pour ces points (zones de faiblesse du réseau) afin de garantir la robustesse du réseau.

Conclusion

La méthodologie d'analyse des réseaux géodésiques, adoptée dans cet article, présente un avantage dans la mesure où elle permet de quantifier la qualité des réseaux géodésiques en termes de fiabilité et de robustesse conjointement à l'analyse statistique classique. L'évolution de la théorie de la fiabilité a donné naissance à une nouvelle technique dénommée analyse de robustesse qui permet d'évaluer efficacement les effets des erreurs d'observations sur chaque point du réseau en terme de tenseur de déformation. Pour une interprétation facile des résultats, les valeurs des déformations sont exprimées en termes de robustesse en échelle, en configuration et en orientation.

Toutefois, la fiabilité et la robustesse restent tributaires (Gourine, 2004):

- de la part de redondance de chaque observation (géométrie du réseau),
- du nombre de degré de liberté du réseau,
- de la pondération des mesures.

Ces conclusions sont confortées par les résultats obtenus lors des tests effectués sur le réseau cadastral de la ville d'Oran.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Professeur Bertrand Merminod (EPFL, Lausanne) pour l'aide qu'il a apportée dans la correction de cet article et pour ses précieuses remarques faites sur ce travail. ●

Contact

Bachir GOURINE - Boualem GHEZALI

Division de Géodésie
Centre National des Techniques Spatiales
BP 13, Arzew – 31200 ALGERIE
E-mail : bachirgourine@yahoo.com

Références

- [1] Carosio A., Reis O., 1995. *Méthodes géodésiques et modèles mathématiques pour l'implantation des nouvelles transversales alpines*, Revue XYZ n°62, 1^{er} trimestre 1995.
- [2] Corsilla F., 1984. *Tecniche di ottimizzazione delle reti geodetiche*. Publication, Bollettino della società italiana di topografia e fotogrammetria, N°2 - 1984.
- [3] Dominici D., Stoppini A., Unguendoli M., 1995. *Precision and reliability versus surplus measurements in GPS networks*. Publication, Bollettino di geodesia e scienze affini, N°4, 1995.
- [4] Gourine B., 2004. *Ajustement avec contraintes du réseau géodésique national. Application : réseau de base*. Mémoire de magister, CNTS, Arzew, septembre 2004.

- [5] Lachapelle G., Ryan S., 2000. *Statistical reliability measures for GPS*. Communication, IMA workshop on mathematical challenges in GPS, Université de Minnesota, Etats Unis, Août 16-18, 2000.
- [6] Leick A., 1990. *GPS satellite surveying*. Edition John Wiley & Sons, New York, Etats Unis, 1990.
- [7] Seemkoeei A.A., 2001. *Comparison of reliability and geometrical strength criteria in geodetic networks*. Springer Verlag, volume 75, n° 4, Juillet 2001.
- [8] Vanicek P., Craymer M.R., Krakiwsky E.J., 2001. *Robustness analysis of geodetic horizontal networks*. Springer Verlag, volume 75, n°4, pp199-209, 2001.
- [9] Michel V., Person T., 2003. *From geodetic monitoring to deformation tensors and their reliability*. 11th International FIG Symposium on Deformation Measurements, Grèce, 25-28 Mai, 2003.

ABSTRACT

Keywords: Geodetic Network, Quality, Analysis, Precision, Reliability, Robustness.

The analysis of the geodetic networks is an important phase in the process of their establishment. It permits to control the quality of the network which is characterized not only by the precision but also by the reliability and the robustness of the network:

- *The reliability permits the detection of the undetectable gross errors of observations by the usual statistical analysis.*

- *The robustness analysis is based on the combination of the reliability and the deformation of the network. It permits a fine evaluation of the effects of gross errors on the network points, in terms of robustness in scale, in configuration and in orientation.*

The present article presents these tools and their application to the analysis of geodetic networks. The results obtained during the tests carried out on a cadastral network of the town of Oran (Algeria), comprising 45 points with 8 reference points, are considered to be acceptable for the precision required by the cadastre ($\pm 5.4\text{cm}$). The evaluation of reliability has permitted the detection of errors of about 4 mgon in the observations. The average value of their effects on the network parameters is about 0.6 mgon in orientation and 6.9 cm in planimetry. The robustness of the network in terms of configuration, scale and orientation is, respectively, on average about 190 ppm, 15 ppm and 12.6 mgon. In the weakness areas of the network, the robustness values are important and this is due to the lack of redundancy in the observations.

Modélisation 3D au service de l'inspection d'ouvrages portuaires immergés

■ Benoît FRALEU - Yann VINCENOT - Frédéric DENIVET

Souvent qualifiés de "jolis", les modèles 3D ou plutôt 2D+1 générés à partir de données bathymétriques haute densité, type multifaisceaux, n'ont que peu d'intérêts quantitatifs contrairement à leurs homologues 3D réels issus de la lasergrammétrie terrestre. Les modélisations 2D+1 actuelles permettent d'extraire des isobathes, des coupes en travers, et de faire des calculs de différences entre modèles. Ces fonctions répondent bien entendu à la majeure partie des nécessités exprimées dans le domaine de l'hydrographie mais peuvent être optimisées.

En association avec le Port Autonome de Marseille (PAM), une méthodologie nouvelle dans le domaine de l'inspection d'ouvrages portuaires immergés a été développée.

Objectifs

Pour modéliser en 3D les ouvrages portuaires immergés, il a fallu contourner deux limitations associées à la plupart des logiciels utilisés dans le domaine de l'hydrographie :

1. les données issues du traitement sont restituées sous forme d'une grille plus ou moins dense où une seule valeur de sonde est conservée (moyenne, minimum, maximum...), de ce fait un mur vertical n'est défini que par un seul point.
2. les outils de calcul par triangulation disponibles dans ce domaine génèrent le modèle uniquement sur une projection et n'ont donc pas la possibilité de créer des arrêtes dont les angles entre elles sont rentrants. De ce fait, il est donc impossible de modéliser un affouillement.

C'est en partant de cette constatation que l'idée est venue d'associer les possibilités offertes par les logiciels de modélisations 3D de lasergrammétrie avec les données issues de levés bathymétriques multifaisceaux. Le résultat attendu aura la forme de nuages de points non réduits.

Le Port Autonome de Marseille (PAM) a besoin de faire effectuer des contrôles de l'état d'un quai dans le bassin national du port de Marseille. Les figures 1 et 2 montrent à la fois le site et le trajet du navire (en rouge). Cette demande a constitué un test pour la méthodologie proposée.

Présentation des moyens et méthodologie d'acquisitions de données in-situ

■ Moyens

Les équipes d'acquisition de données ont utilisé les équipements standards du port de Marseille :

- Sondeur Multifaisceaux RESON 8101 avec option ouverture à 210°
- Centrale d'attitude inertielle PHINS de IXSEA, hybridée DGPS

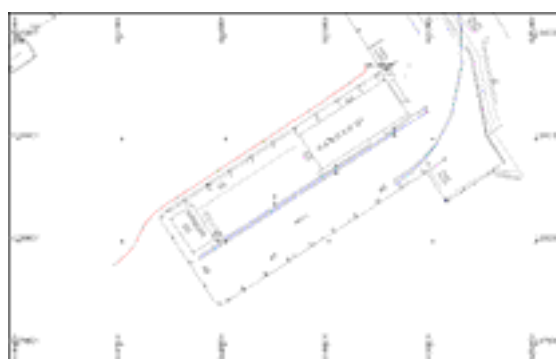


Figure 1 : Plan du poste à quai et trajet du navire.

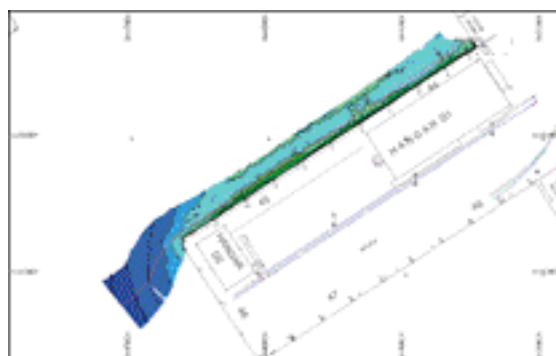


Figure 2 : Isobathes issues du sondage.

- Positionnement DGPS, récepteur TRIMBLE série 5700 (avec station PAM)
- Sonde de célérité SVP14 de NAVITRONICS
- Logiciel d'acquisition et traitement "HYPACK" version 6.2 (pack1)

Le tout est installé sur une vedette Hydrographique.



Figure 3 : Vedette hydrographique "ESCANDAIL" du PAM.



Figure 4 : Vue du poste "hydrographe" à bord de l'ESCANDAIL



Figure 5 : Vue du transducteur Reson 8101.

■ Méthodologie

L'acquisition des données se fait par passes parallèles à l'axe du quai à faible vitesse et à une distance comprise entre 10 et 20 mètres, le but étant d'acquérir un maximum d'information et d'insonifier les affouillements. Il est primordial de trouver un compromis entre densité de mesure et angle d'insonification.

Création du nuage de points

Le logiciel utilisé pour le traitement des données est le module MBMax (Hypack) du logiciel Hypack.

■ Objectif

Comme indiqué en introduction, il est nécessaire d'obtenir à l'issue de l'acquisition des données l'ensemble le plus dense possible de mesures dans toutes les dimensions, le but étant de minimiser les interpolations afin de se rapprocher au plus près du terrain réel.

■ Méthodologie

Pour ce faire, la méthode de traitement est différente de celle classiquement utilisée dans laquelle la phase de suppression des artéfacts est suivie par une réduction du sondage via une grille plus ou moins dense. Cette méthode ne conserve qu'une sonde par coordonnées maille X,Y. Dans ce cas précis il est impossible de réaliser une réduction du sondage, afin d'enregistrer la totalité des mesures, il est nécessaire de s'arrêter au traitement des fauchées sondeurs, une fauchée correspond à une émission/réception acoustique de l'échosondeur (cf. Figure 7).

L'objectif est de conserver les mesures qui définissent le quai dans sa totalité, et particulièrement les affouillements et les déhaussements. Une inspection minutieuse des fauchées est réalisée afin de supprimer les anomalies acoustiques. Celles-ci sont du type : double écho, réflexions sur la surface et multi trajets en pied de quai. La difficulté portant sur la différence entre réalité et artéfacts, plusieurs passages permettent par comparaison des résultats de diminuer les risques d'erreurs. L'ensemble des passes est examiné de cette façon.

A la suite de ce traitement les données conservées sont exportées sous forme de nuage de points dans un fichier texte au format XYZ.

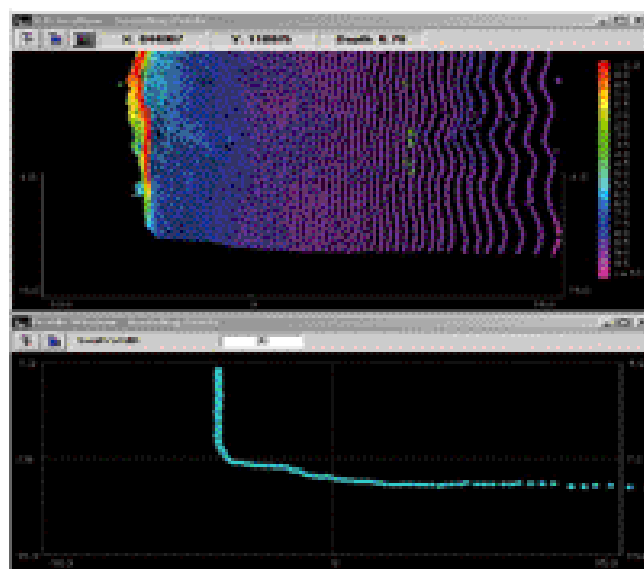


Figure 6 : Fenêtres d'acquisition multifaisceaux.

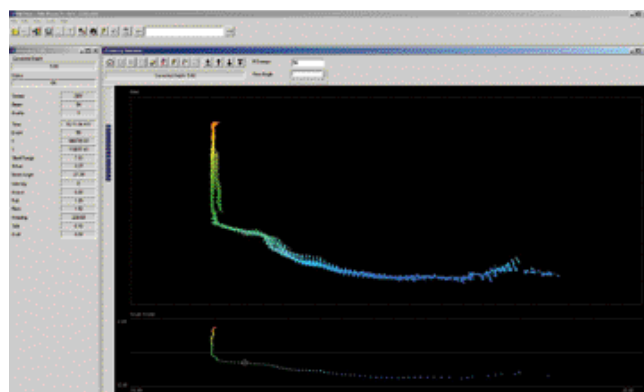


Figure 7 : Fenêtres de traitement de données par fauchées – 50 fauchées consécutives y sont représentées.

Création du model 3D

Le logiciel Polyworks (Innovmetric) est spécialisé dans, la création de modèle 3D. L'extraction d'objets tels que les coupes, la fusion et la comparaison de modèles servent de support de traitement à ce nuage de points.

■ Objectif

L'objectif est ici de créer un modèle polygonal à partir du nuage de points XYZ.

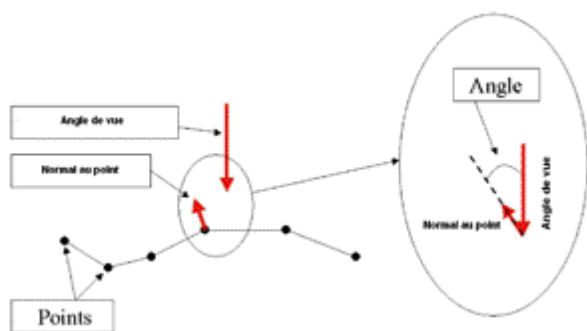


Figure 8 : Définition de l'angle de vue.

■ Méthodologie

Le modèle final sera une composition de sous modèles polygonaux créés avec des angles de vue différents. L'opérateur importe le nuage de points et choisit un angle de vue. Il est indispensable d'effectuer cette opération car contrairement aux données issues de Laser-Scanner, le nuage de points ne contient aucune information sur la direction depuis laquelle la mesure a été faite. L'angle de vue sera choisi dans la direction des faisceaux acoustiques émis par l'échosondeur. Cet angle de vue va influencer la méthode de calcul de la triangulation (voir figure 8). L'angle maximal pour la création d'une arête sera de 89.9° . Cette limite s'explique par la méthode de calcul qui considère qu'un point ne peut être mesuré derrière un autre.

Dans l'exemple du poste à quai, plusieurs modèles sont ainsi calculés :

- un angle de vue perpendiculaire au plan XY (préciser la définition de ce plan) : modélisation du fond du bassin. cf. figure 9.
- deux angles de vue perpendiculaires au quai : modélisation du quai. cf. Figure 10 et 11.

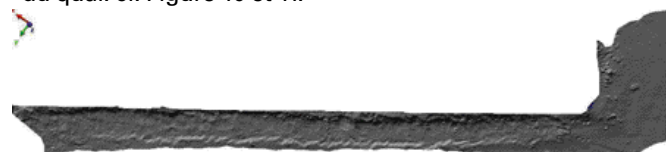


Figure 9 : Angle de vue perpendiculaire au plan XY.



Figure 10 : Angle de vue perpendiculaire au plan XZ face au quai.

Seules les parties des modèles polygonaux correspondant aux angles de vue sont conservées.

L'assemblage des modèles permet de créer le modèle final. Il est bien sûr possible de les affiner légèrement afin de supprimer les défauts éventuels repérés et de combler les trous.

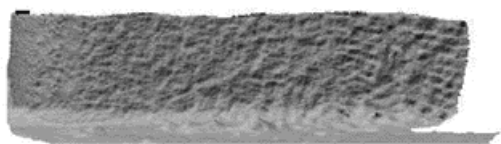


Figure 11 : Angle de vue perpendiculaire au plan YZ face au quai.

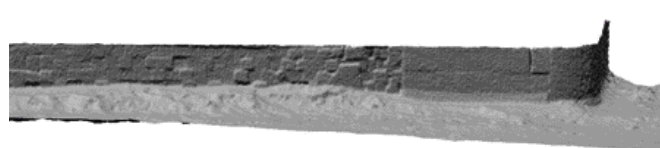


Figure 12 : Résultat d'assemblage des différents modèles polygonaux.

Utilisation du modèle

A partir du modèle polygonal, l'opérateur génère un ensemble d'objets nécessaires à l'interprétation des résultats.

■ Objectifs

L'objectif est d'extraire les informations de type objets et rapport du modèle polygonal simplement exploitable en métrologie. Ces informations sont classifiées selon la nomenclature suivante :

Objets :

- Coupes en travers et en long
- Coordonnées de points remarquables
- Plans
- Polygones
- Vecteurs
- Surface

Rapport :

- Mesures de distances et d'angles
- Rapport de comparaison de points
- Rapport de comparaison de surface
- Calcul de volume (affouillement et gonflement sur un quai)

■ Méthodologie

Création de coupes

A partir du modèle généré, il est possible d'extraire des sections par différentes méthodes. Par deux points ancrés sur le modèle une coupe peut être créée. A partir d'un plan défini par un point et un vecteur, il est possible d'extraire des sections parallèles. L'utilisateur peut ainsi générer des sections le long d'une courbe. Le pas d'échantillonnage de la section est fonction de la résolution du modèle. Pour ce test le pas d'échantillonnage a été défini à 10 cm. La figure 13 montre l'ensemble des sections extraites du modèle. Il devient facile de faire des mesures et des comparaisons sur celles-ci plutôt que sur les modèles 2D+1 traditionnellement obtenus. Un autre apport de cette méthode est de pouvoir exporter ces objets simples vers des logiciels ingénierie.

Points remarquables

Ici les points remarquables sont facilement identifiés. A titre d'exemple, le modèle 3D met en évidence, des affouillements en pied de quai. Le but est de pouvoir cibler des zones pour envoyer des plongeurs effectuer des contrôles plus précis.

Métrologie

Des mesures directes sur le modèle sont réalisées pour déterminer l'importance de l'affouillement et des déchaussements de blocs.

Comparaisons

Afin d'étudier l'évolution du quai dans le temps, un plan de référence est créé. Il est défini dans le cas de l'étude au pied



Figure 13 : Extraction de sections.

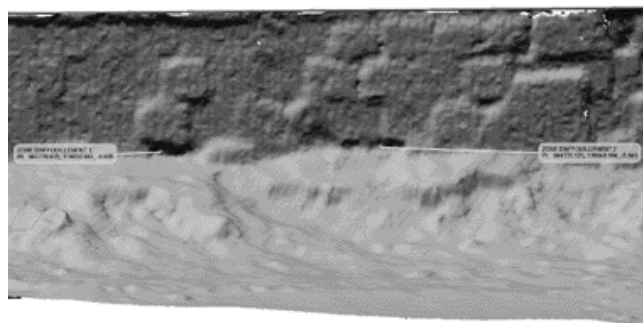


Figure 14 : Points remarquables.

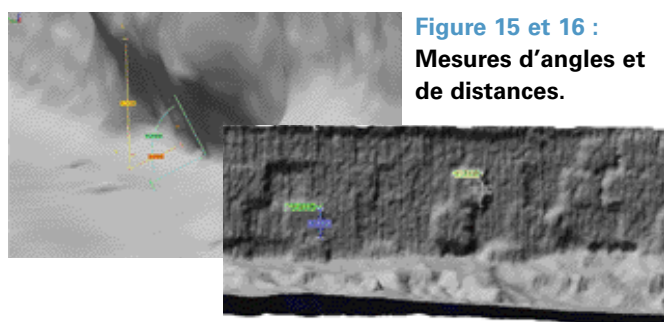


Figure 15 et 16 :
Mesures d'angles et
de distances.

- ■ ■ de quai. Une visualisation des différences en dégradé de couleurs donne un aperçu rapide des déplacements du quai. L'intérêt est de mettre en évidence le fruit du mur ici constaté en dévers, accentué dans le fond du bassin.

Calcul de volume

Afin de quantifier les gonflements du quai et les affouillements, un calcul de volume est fait sur les zones concernées. Cette méthode permet de déterminer à la fois l'ampleur des travaux nécessaires mais aussi en y ajoutant la dimension du temps, l'évolution temporelle de la problématique.

Conclusion et perspectives

Cette application montre bien les intérêts réels que peut avoir la modélisation 3D dans l'inspection d'ouvrages portuaires immergés. Bien entendu il est nécessaire de rappeler que les moyens mis en œuvre pour l'acquisition des données in situ sont très coûteux. Toutefois il est intéressant de noter que la plupart des grands ports de France sont équipés de système équivalent au Port Autonome de Marseille, ou sont en passe de le faire.

Afin d'améliorer le processus, il est nécessaire de concentrer les efforts sur la méthode d'acquisition des données. Plusieurs possibilités sont à étudier : augmentation du nombre de passes, distances différentes au quai, navigation en lacet afin de limiter les faux échos. En multipliant les méthodes de mesures, il sera possible d'une part de réduire les erreurs d'interprétations mais aussi d'augmenter la précision du modèle. ●

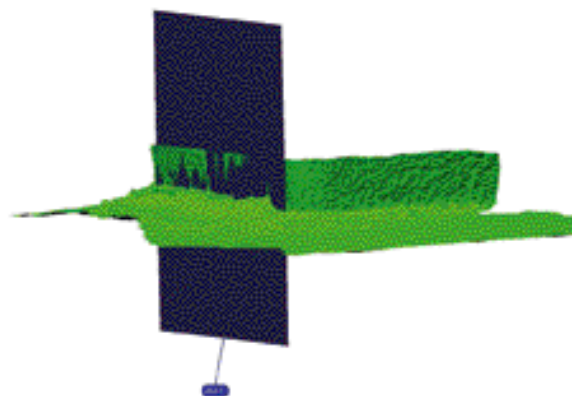


Figure 17 : Comparaison du modèle avec un plan de référence.

Référence

PolyWorks® Modeling & Inspection Software Suite for 3D Digitizers, Reference Guide Version 9.1 for Windows, April 2006
HYPACK® User's Manual Version 4/06

Liens utiles

www.hydroconsult.fr site de la société HydroConsult SARL.
www.polyworks.com site du fournisseur de suite logiciel de modélisation.
www.trimble.com site du fournisseur de GPS.
www.ixsea.com site du fournisseur de la centrale inertielle.
www.reson.com site du fournisseur du système multifaisceaux.

Contacts

Benoit FRALEU - cogérant HydroConsult SARL
b.fraieu.hydroconsult@wanadoo.fr

Yann VINCENOT - cogérant HydroConsult SARL
y.vincenot.hydroconsult@wanadoo.fr

Frédéric DENIVET - chef du service bathymétrie du PAM
f.denivet@marseille-port.fr

HydroConsult

52 rue Jules Viéjo
94430 Chènévières sur Marne

ABSTRACT

Often described as "beautiful", the 3D models, I will say 2D+1, which are generating with high density bathymetric data, like Multibeam data, are not showing a real quantitative interest compared to their 3D homologue issue of terrestrial laser survey.

"2D+1" models are used to extract isobaths, cross-sections, and to compute differences between models. All those functions are useful mostly in all the applications of the hydrographical domains but they could be optimized. In association with the "Port Autonome de Marseille" (PAM), a new methodology in the underwater civil engineering structures inspection has been developed.

Les enquêtes publiques et leur commissaire

■ Jean-Pierre MAILLARD

La convention d'Aarhus de 1998 passée sous l'égide des Nations unies en matière d'environnement prévoit l'accès du public à l'information, sa participation au processus de décision et, pour le citoyen, un accès facilité à la Justice. Signée par la France et l'Union européenne elle contribue à l'inflexion de la réglementation des études d'impact et des enquêtes publiques.

La Loi démocratie de proximité de 2002 a constitué une évolution significative dont on mesure aujourd'hui les effets. Sujet en perpétuelle adaptation, il est proposé de faire un rapport d'étape utile au bénéficiaire des enquêtes et au citoyen qui souhaite y participer.

■ mots-clés

Enquête publique, commissaire enquêteur, tribunal administratif, déclaration de projet, déclaration d'utilité publique, urbanisme réglementaire

L'enquête publique est une formalité prévue par la Loi qui s'insère dans un processus aboutissant à une décision administrative. Sur un sujet donné, pendant une période déterminée, le public, informé par la publicité et le dossier d'enquête, est appelé à exprimer son point de vue au commissaire enquêteur, acteur central du dispositif. Elle n'est en aucun cas un référendum. Si elle suscite ce type d'expression, qui sera bien évidemment observée, celle-ci n'en sera pas moins largement hors sujet car la question posée est relative à un projet, à sa légalité et à la vérification que ses avantages l'emporte sur les inconvénients.

Sa naissance remonte à l'ordonnance du 23 octobre 1958 qui formalise pour la première fois le droit de l'expropriation. Depuis lors, une procédure s'impose à l'Administration quel que soit l'objet de l'opération envisagée. Il existe de nombreux types d'enquêtes publiques car plus d'une centaine de textes législatifs ou réglementaires y renvoient. Elles traitent de sujets divers tels le respect de l'environnement, l'expropriation pour cause d'utilité publique, l'approbation des documents d'urbanisme, la modification des limites territoriales, le classement ou le

déclassement de voirie communale, les autorisations d'exploitation, etc...

Depuis 1958, au fil des législatures, de nombreuses lois ont modifié et complété le cadre d'origine jusqu'à multiplier les enquêtes sur un même projet. Par exemple, celui d'un ouvrage d'importance sera soumis au code de l'urbanisme pour la définition du droit des sols, au code de l'environnement pour l'application de la Loi sur l'eau et enfin au code de l'expropriation pour cause d'utilité publique pour les acquisitions foncières, soit autant d'enquêtes publiques généralement disjointes.

Le regroupement des enquêtes, mieux la mise en œuvre d'une seule enquête sur un même dossier est à l'étude. Ce dispositif aurait l'avantage de centrer la concertation sur le fait générateur et limiterait l'incertitude juridique puisque la multiplicité des enquêtes peut induire autant de possibilités de contentieux à répétition.

On distingue généralement les enquêtes de droit commun et celles relevant de la Loi Bouchardeau du 12 juillet 1983 relative à la réalisation des travaux et ouvrages susceptibles d'affecter l'environnement, la forme de

cette dernière étant utilisée pour l'approbation des documents d'urbanisme réglementaire.

Le propos n'est pas de paraphraser le détail des articles des codes d'ailleurs parfaitement explicites. Il propose d'éclairer, à partir d'une pratique professionnelle, le technicien appelé à préparer le recours à une procédure d'enquête publique ou d'informer le citoyen du cadre général de l'expression démocratique correspondante. Pour faciliter la présentation, la collectivité publique à l'initiative d'une procédure et le maître d'ouvrage dont le projet est soumis à l'enquête sont indistinctement nommés sous le qualificatif "le bénéficiaire".

Sur les 15 000 enquêtes initiées chaque année en France, 10 000 relèvent de la Loi Bouchardeau. Le déroulement de chacune est extrêmement réglementé et il convient de se reporter aux codes qui le décrivent pour vérifier, pas à pas, l'avancement de la procédure de façon, pour le bénéficiaire, à éviter les vices de forme ou, au contraire pour l'opposant à les faire valoir. Statistiquement, sur cent dossiers, 10 % font l'objet de recours et seuls 10 % des recours conduisent à l'annulation.

L'enquête constitue une étape d'un projet élaboré et d'aucuns pourraient penser qu'il est déjà trop tard pour infléchir la proposition. Pour prendre en compte cette critique, la Loi Barnier a institué la Commission nationale du débat public (CNDP) dont le rôle est, en amont, de traiter les plan et programme envisagés avant qu'ils ne deviennent projet. La CNDP intervient directement notamment pour la prise en considération des grandes infrastructures linéaires (autoroute, canal,...) – niveau 1 –, après saisine, cette commission prend position et donne des instructions – niveau 2 – ou des recommandations – niveau 3 –.

La procédure d'enquête publique

■ Champ d'application et objet de l'enquête

En cas d'incertitude sur sa nécessité ou sa nature, il appartient au bénéficiaire de vérifier la soumission de son projet à une enquête publique auprès des administrations concernées ou du conseil juridique de son choix.

Droit commun : l'enquête relative aux projets des collectivités publiques est ouverte à l'initiative du représentant de son exécutif ou du Préfet.

Bouchardeau : les aménagements, ouvrages ou travaux exécutés par des personnes publiques ou privées qui affectent l'environnement sont précédés par une enquête selon qu'ils figurent d'une part à la liste arrêtée par décret et d'autre part au-delà des seuils financiers et critères techniques fixés. La liste comporte actuellement 42 opérations éligibles à l'enquête Bouchardeau sachant toutes les fois qu'une étude d'impact s'impose à un projet, une enquête publique est nécessaire. Les documents d'urbanisme réglementaires sont également concernés par le dispositif.

■ Composition du dossier

Selon la nature de l'enquête, la composition du dossier soumis est différente. Il convient de se reporter aux dispositions réglementaires qui organisent l'enquête et de s'en tenir aux pièces

demandées. En matière juridique, le plus étant souvent l'ennemi de la légalité, le suivi rigoureux des textes est préférable.

Le contenu des dossiers est présenté sous la forme papier bien que la question de la dématérialisation soit déjà posée. Celle-ci peut déjà être mise en œuvre par Internet en parallèle.

■ Déroulement de l'enquête

L'enquête est conduite, dès sa nomination et sous sa seule responsabilité, par un commissaire enquêteur, ou dans le cas d'ouvrages conséquents par une commission d'enquête, qui en est chargée.

Dispositions communes : les enquêtes sont portées à la connaissance du public par voie de presse et d'affichage au moins quinze jours avant le début de l'enquête. L'affichage effectué sous la responsabilité de l'ordonnateur de l'enquête doit être visible à l'extérieur de la mairie et être effectué sur les lieux concernés. Il doit être maintenu pendant toute la durée de l'enquête. Avec les insertions dans la presse, la réglementation n'impose pas d'autre publicité sauf à ce que l'enquête concerne nommément la propriété de personnes physiques (enquête parcellaire, enquête de remembrement,...), ces dernières étant alors à joindre par lettre recommandée avec accusé de réception. Le bénéficiaire serait prudent de faire constater par voie d'huissier la réa-

lité de l'affichage pour éviter toute contestation. L'accessibilité par Internet du dossier soumis concourt bien évidemment à élargir l'information et constitue une initiative positive. En revanche, si une communication vidéo peut aider à la communication, elle doit être indépendante de l'instruction du dossier.

Le bénéficiaire qui, dans sa décision ou son dossier, s'oblige à des initiatives extraréglementaires est tenu de les respecter car, au contentieux, il sera jugé sur "ce qu'on a dit qu'on fera" ;

Le dossier soumis est adressé par le Préfet ou l'ordonnateur aux mairies des communes concernées pour sa mise à la disposition du public pendant la durée de l'enquête selon les prescriptions de l'arrêté correspondant.

L'enquête se déroule dans la mairie du lieu de l'enquête aux heures habituelles d'ouverture. Pour les projets concernant plusieurs communes, voire plusieurs départements la réglementation prévoit une hiérarchisation des autorités responsables et des lieux d'enquête. Les permanences de la commission d'enquête pourront être alors tenues uniquement au niveau du canton ou de l'arrondissement selon l'ampleur du projet.

Les observations du public sont reçues par écrit sur le registre ouvert à cet effet et par lettres adressées au commissaire enquêteur. Les télécopies et les observations orales sont également acceptables dès lors qu'elles parviennent pendant la durée de l'enquête. Ces dernières seront même quelquefois anonymes dans le cas de difficulté de voisinage (lié à l'épandage du lisier par exemple).

Le dossier soumis n'est pas susceptible d'être modifié en cours d'enquête. Il est communicable aux associations de protection de l'environnement agréées, à leurs frais.

Il revient au représentant du siège de l'enquête (Préfet, Sous-préfet, Maire) de clore l'enquête et de transmettre, sous 24 h le dossier complet au commissaire enquêteur sauf à ce qu'il lui appartienne de le faire, selon les textes.



© Photothèque Epamarne

Les enquêtes vont toutes à leur terme car elles ne peuvent faire l'objet de recours. Le cas échéant c'est la décision de l'ordonnateur délivrant l'autorisation qui sera attaquée. Dans cette hypothèse, les éventuelles irrégularités dans la procédure de l'enquête, les manquements possibles du commissaire enquêteur pourront être mis en évidence, jamais avant.

Droit commun : la durée de l'enquête ne peut être inférieure à quinze jours. Le commissaire enquêteur dispose du délai d'un mois à compter de la clôture de l'enquête pour produire son rapport et son avis en prenant soin de rédiger deux documents séparés conformément à la réglementation.

Bouchardeau : la durée de l'enquête est a minima égale à un mois et par décision motivée du commissaire enquêteur peut être prolongée de quinze jours sur notification de la décision à l'ordonnateur qui prend acte et donne suite. Le commissaire enquêteur dispose de six mois maximum à compter de l'ouverture de l'enquête pour produire son rapport et son avis dans les mêmes conditions que pour le droit commun.

Le commissaire enquêteur

■ Désignation du commissaire enquêteur

Sauf pour illégalité appréciée à l'instruction d'un contentieux ouvert sur la décision de l'ordonnateur, cette nomination n'est pas susceptible d'être attaquée car elle procède simplement d'un acte d'organisation.

Droit commun : la nomination du commissaire enquêteur chargé du dossier est le fait du Préfet ou du représentant de l'autorité publique concerné. Le commissaire est choisi sur une liste d'aptitude, le représentant de l'organisme public pouvant désigner une autre personne qualifiée.

Bouchardeau : selon l'importance du sujet, l'enquête est conduite soit par un commissaire enquêteur soit par une commission d'enquête. Le ou les intéressés sont nommés par le Président du Tribunal administratif de façon à garan-

tir plus encore l'indépendance de l'enquêteur. Les commissaires enquêteurs ne doivent en rien être intéressés ou avoir été impliqués à titre personnel ou professionnel par le projet.

Novation significative, la loi du 27 février 2002 relative à la démocratie de proximité renforce le pouvoir du Président du Tribunal administratif en lui transférant notamment la désignation du commissaire enquêteur pour les dossiers d'expropriation relatifs aux ouvrages et travaux entrant dans le champ de la Loi Bouchardeau.

Si nécessaire, il est possible de "dépayer" l'enquête publique en nommant des commissaires d'autres départements pour échapper aux éventuelles pressions qui pourraient s'exercer auprès des locaux.

Un commissaire enquêteur suppléant peut également être nommé pour ce type d'enquête, charge à lui de prendre connaissance du dossier. Cependant son intervention n'est pas prévue dans le processus en présence du titulaire. En revanche, pour pallier l'absence de celui-ci, le remplacement est définitif. Le strict respect de ces dispositions évite les vices de forme et, partant, les contentieux qui aboutissent.

■ Rôle du commissaire enquêteur (ou de la commission d'enquête)

Le commissaire enquêteur exerce une fonction qui ne constitue pas en elle même un métier.

Le commissaire enquêteur dont il convient de respecter l'indépendance, a un large pouvoir d'initiative. Dès avant l'ouverture de l'enquête publique proprement dite, après avoir pris connaissance du projet et, si nécessaire, rencontré le bénéficiaire, il peut faire connaître toutes ses observations même celles de nature à modifier le dossier. Dans ce cas les modifications sont à effectuer avant le dépôt du dossier en mairie car seules des annexes techniques pourront être apportées en cours d'enquête, rien qui soit de nature à changer l'objet et l'économie générale du projet. De même le commissaire enquêteur a un pouvoir de proposition

sur l'organisation de l'enquête (dates, lieux, nombre de permanences,...)

Le commissaire enquêteur cote et paraphe le registre. Il tient les permanences fixées ou s'oblige à prévenir s'il est empêché. Dans ce cas, les noms des personnes qui ont souhaité le rencontrer sont notés à toutes fins utiles.

D'une façon générale, le commissaire enquêteur reçoit tous documents, visite les lieux concernés, entend toutes les personnes dont il juge l'audition utile y compris le bénéficiaire et les représentants des administrations intéressées, même au-delà du terme de la durée de l'enquête ouverte au public. Sauf à ce qu'elles soient prescrites a priori, il peut aussi organiser, sous sa présidence une réunion d'information et d'échange avec le public en présence du maître d'ouvrage. Cela suppose l'accord de ce dernier car il ne revient pas au commissaire enquêteur de présenter encore moins de défendre un projet. Il est d'usage que le commissaire enquêteur, au terme de l'enquête, rende compte au bénéficiaire en lui faisant connaître les observations du public. Le bénéficiaire répond à ces observations et aux questions du commissaire. Les réponses sont annexées au dossier.

Dans un devoir d'impartialité, le rapport relate le déroulement de la procédure, examine les observations et les commentaires. L'avis du commissaire enquêteur doit être motivé de façon suffisante et significative car, au contentieux, l'absence de motivation peut être sanctionnée jusqu'à conduire à l'annulation de la décision administrative.

A partir du jour où le commissaire enquêteur a rendu son rapport et son avis, sa mission est terminée. Avec les pièces du dossier, son rendu est mis à la disposition du public pendant un an à compter de la date de clôture de l'enquête publique.

■ Cadre de l'action du commissaire enquêteur

Pour respecter l'indépendance du commissaire enquêteur, aucun texte ne prévoit l'intervention de l'autorité qui l'a désigné. Toutefois, le commissaire enquêteur trouvera auprès du

■ Tribunal administratif une assistance juridique et des conseils. De même le Président du Tribunal administratif soutiendra le commissaire enquêteur en nommant, à sa demande, un expert ou en décidant le versement à son profit d'une allocation provisionnelle pour ne pas dépendre sur ce point du bénéficiaire.

■ Nomination des commissaires enquêteurs

Les commissaires enquêteurs sont nommés sur une liste d'aptitude par une Commission départementale dont la composition est fixée par le code de l'environnement. Chaque année avant le 1^{er} septembre, les intéressés font connaître au Préfet du lieu de leur résidence leurs candidature, formation, expérience et motivation. L'acceptation de leur candidature fait l'objet d'une publicité dans le recueil des actes administratifs du département.

La majorité des commissaires enquêteurs sont regroupés dans la Compagnie des commissaires enquêteurs dont la principale action porte sur la formation aux droits et devoirs qu'impose la fonction.

Les suites à l'avis du commissaire enquêteur

La décision de l'ordonnateur doit intervenir dans le délai d'un an de la clôture de l'enquête publique. A défaut, le dossier devra faire l'objet d'une nouvelle enquête.

■ Avis favorable

Selon la nature des enquêtes, l'ordonnateur se prononcera par une déclaration de projet (à défaut d'expropriation), le Préfet prendra par arrêté une déclaration d'utilité publique d'acquisitions foncières valant, dans ce cas, déclaration de projet, le conseil municipal actera la désaffectation d'un chemin rural,...

■ Avis favorable avec réserves

Le bénéficiaire doit accepter de lever les réserves et prend un engagement de faire sachant que la modification d'un projet après enquête est possible si son économie n'est pas altérée.

■ Avis défavorable

L'autorisation de mise en œuvre du projet revient à l'ordonnateur qui peut passer outre l'avis du commissaire enquêteur. La décision s'expose alors à l'application du code de justice administrative prévoyant que le juge fait droit à une demande de suspension si elle comporte un moyen propre à créer, en l'état de l'instruction, un doute sérieux quant à la légalité de celle-ci.

A défaut d'une décision de passer outre, le projet est alors suspendu aux conclusions d'une nouvelle enquête ou abandonné. C'est dire l'importance de la consultation de la population.

Le rôle particulier du commissaire enquêteur a été mis en évidence, laissé entrevoir la complexité des procédures résultant de la combinaison de plusieurs codes et souligné la rigueur nécessaire de chacun des acteurs d'un dossier d'enquête publique afin d'échapper aux risques contentieux de forme. La recrudescence des recours, l'acharnement de certains lobbies associatifs à contrecarrer des projets dont l'intérêt économique ou le besoin du plus grand nombre est manifeste oblige à une vigilance toute particulière pour écarter les vices de procédure qui s'imposeraient au juge.

Le sens de l'Histoire est tourné vers une démocratie de participation avec son lot de judiciarisation de la vie administrative au détriment de la démocratie de représentation. Vivons avec notre temps. ●

Bibliographie

Les enquêtes publiques relatives à la voirie communale - Géomètre n°8/9 1995.

Droit des enquêtes publiques
René Hostiou

Dossier "Les enquêtes publiques" -
Géomètre n° 8/9 1998.

Code de l'environnement.

Les enquêtes publiques Procédure et risques contentieux - Ponts Formation
Edition-ENPC 2006.

ABSTRACT

Numerous administrative authorizations, in particular in environmental domains, are preceded by public investigations that inform the citizen on the project and allow his involvement in the decision process. The role of the actors and the procedure of public investigations evolve with French regulations. The article sums up the existing, puts forward the jurisprudence and underline the increasing independence of the commissioner investigator or, if the case arises, of an investigation commission, in charge to conduct the investigation. Finally we analyze the alternatives of the project, according to the opinion of the commissioner investigator, or of the investigation commission.



© Photothèque Epamarne

Un changement de base utile

■ Claude MILLION

La réception des travaux topographiques effectués pour le compte de l'Etat et des différentes Collectivités Publiques a fait l'objet de récentes modifications. On a voulu montrer qu'il était très simple d'appliquer deux ensembles de points l'un sur l'autre, en minimisant les écarts, sans employer des moyens importants ou compliqués en restant conforme à la réglementation.

Depuis la parution de deux décrets, en 2003 et en 2006 fixant de nouvelles règles pour la réception et la validation des travaux topographiques effectués pour le compte de l'Etat et des différentes Collectivités Publiques, le contrôle des opérations topographiques se fait en effectuant la meilleure rotation translation possible entre le groupe des points contrôlés et celui des points de vérification [1]. Après cette transformation ce sont les propriétés statistiques et les valeurs des écarts linéaires entre les points des deux groupes qui servent à déterminer si le travail est recevable ou non. Notre but est de montrer comment calculer simplement cette transformation en l'absence de logiciel de calcul du commerce.

La transformation

Il est classique, et on a déjà montré [2], que cette transformation utilise la méthode de compensation par les moindres carrés, mais sans avoir à utiliser l'algorithme des moindres carrés. La transformation imposée par les arrêtés est la suivante, x, y sont les coordonnées des points d'un réseau et X, Y les coordonnées de l'autre peu importe lequel on verra pourquoi à la fin :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} \quad (1)$$

la transformation classique du premier degré est :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = [N] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix}$$

où les inconnues recherchées sont dans le vecteur a . Une compensation par les moindres carrés commence par la formation de la matrice normale N .

$$N = N^T \cdot N = \begin{pmatrix} n & \Sigma X & \Sigma Y & 0 \\ \Sigma X & \Sigma X^2 & \Sigma XY & \Sigma X \\ \Sigma Y & \Sigma XY & \Sigma Y^2 & \Sigma Y \\ 0 & \Sigma X & \Sigma Y & n \end{pmatrix}, \Sigma d^2 = \Sigma (X^2 + Y^2)$$

tous les Σ sont exprimés de 1 à n = nombre de points, soit Σ_1^n . La matrice vecteur x prémultipliée par devient X^T :

$$X^T \cdot x = \begin{pmatrix} \Sigma x \\ \Sigma x \cdot X + \Sigma y \cdot Y \\ \Sigma x \cdot Y - \Sigma y \cdot X \\ \Sigma y \end{pmatrix}$$

la matrice normale N peut être rendue diagonale si on fait en sorte que $\Sigma_1^n X = \Sigma_1^n Y = 0$ c'est-à-dire si les coordonnées sont rapportées au centre de gravité. On a alors :

$$N^0 = X^0 \cdot X^0 = \begin{pmatrix} n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Sigma d^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Sigma d^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \Sigma_1^n d^2 = \Sigma (X^2 + Y^2)$$

$$\text{et } N^{00} = X^{00} \cdot X^{00} = \begin{pmatrix} \frac{1}{n} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\Sigma d^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\Sigma d^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{n} \end{pmatrix}$$

$$X^{00} \cdot x^0 = \begin{pmatrix} 0 \\ \Sigma x^0 \cdot X^0 + \Sigma y^0 \cdot Y^0 \\ \Sigma x^0 \cdot Y^0 - \Sigma y^0 \cdot X^0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

avec les coordonnées rapportées à leur centre de gravité :

$$x^0 = x - \frac{\Sigma x}{n}, y^0 = y - \frac{\Sigma y}{n}, X^0 = X - \frac{\Sigma X}{n}, Y^0 = Y - \frac{\Sigma Y}{n}$$

on a de même :

$$T_x = \frac{\Sigma x - \Sigma X}{n} \text{ et } T_y = \frac{\Sigma y - \Sigma Y}{n} \quad (2) \text{ puis}$$

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{(\Sigma x^0 \cdot X^0 + \Sigma y^0 \cdot Y^0)}{\Sigma d^2} \\ \frac{(\Sigma x^0 \cdot Y^0 - \Sigma y^0 \cdot X^0)}{\Sigma d^2} \\ 0 \end{pmatrix}$$

on a donc trouvé la solution sans résolution matricielle. Pour quelques points cela est même réalisable sur une calculatrice. Un autre avantage est de mettre en évidence que les inconnues sont "décorrélées", en effet on a aucun terme autre que nul en dehors de la diagonale principale de la matrice normale. La solution d'une inconnue ne dépend pas des

autres. En définitive on écrit :

$$\cos(\theta) = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \sin(\theta) = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

on applique la formule (1)

$$\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X' \\ Y' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix}$$

puis on calcule les écarts

$$x' - x'', y' - y'' \text{ enfin,}$$

$$\sqrt{(x' - x'')^2 + (y' - y'')^2} \quad (5)$$

qui sont les quantités recherchées pour le contrôle. On n'a en fait que trois inconnues T_x, T_y, θ et les translations ont été calculées et on a :

$$\text{tg}(\theta) = \frac{\Sigma x' \cdot Y' - \Sigma y' \cdot X'}{(\Sigma x' \cdot X' + \Sigma y' \cdot Y')} = t \quad (3)$$

on calcule $\sin \theta$ et $\cos \theta$ en fonction de $\text{tg}(\theta) = t$ ce qui évite de calculer $\Sigma_1^n d^2$ qui disparaît.

$$\sin(\theta) = \frac{t}{\sqrt{1+t^2}}, \cos(\theta) = \frac{1}{\sqrt{1+t^2}} \quad (4)$$

Conclusions

En définitive, il suffit d'appliquer les formules 1 à 5, quel que soit le nombre de points comparés. C'est, également, très facile à programmer. Il n'y a donc pas besoin d'utiliser les logiciels du commerce. ●

Références

[1] 2006- Ludovic Andrès

Mise en œuvre de l'arrêté sur les classes de précision. Retour d'expérience de la Ville de Nice in XYZ n°108- 3^e trimestre.

[2] 2002- Claude Million L'application

d'un système de coordonnées dans un autre référentiel in XYZ n°90 - 1^{er} trimestre.

ABSTRACT

The French specifications for the precision the topographic surveys have been drastically changed and are based on a criteria of result and simpler than the old ones. One has to compare the set of points to be checked to a set of check points by applying one set to the other to obtain the best fit only by rotation and translation. We have shown how to compute the mean difference in position very simply and to complain to the new regulations.

François Morellet :

■ Jean-Pierre MAILLARD

Le Parc culturel de Rentilly a été inauguré en septembre 2006 à l'occasion des journées du patrimoine. Jusqu'alors inconnu au-delà des limites de la Seine-et-Marne, le château et son parc à la française se seraient bien passés de la notoriété conférée par un arrêt de la cour administrative d'appel de Paris du 27 janvier 1994.

En considérant "une erreur manifeste d'appréciation" les magistrats ont annulé un permis de construire de plusieurs milliers de m² de bureaux attaché à une partie significative du domaine, permis pourtant délivré sur la base d'un droit des sols positif. A l'époque, un recours pouvait pourtant exister sans que son bénéficiaire n'en ait connaissance. Après cette annulation, l'Administration et les professionnels de l'aménagement en émoi ont demandé et obtenu que la loi soit changée, mais pour Rentilly point de rétroactivité.

les conséquences ont été d'autant plus grandes que le chantier était largement engagé, deux des bâtiments autorisés étant hors d'eau et le troisième déjà pratiquement hors d'air. La décision de justice a stoppé net les travaux. Les constructions inachevées ont alors pris en un instant le statut de ruines et sont devenues immédiatement un espace de jeu pour les grappeurs ou encore les paint-ballers irrespectueux de la propriété privée. Le volet financier n'est pas non plus passé inaperçu jusqu'à comprendre le coût des démolitions effectuées en 2006.

Il faut donc se rendre à l'évidence que distraire 11 ha sur 54 ha d'une propriété homogène d'un site classé et inscrit



constitue une erreur manifeste d'appréciation. Le respect de la décision a conduit la Communauté d'agglomération de Marne et Gondoire (CAMG), déjà propriétaire du parc à l'anglaise et des communs, siège de la collectivité territoriale, à s'appropriier l'autre partie du domaine, le château et jardin à la française, devenue quasi inconstruable pour l'intégrer à un projet culturel d'ensemble incluant les espaces naturels et les locaux existants.

Situé au barycentre des parties agglomérées de Marne-la-Vallée, le Parc culturel de Rentilly, destiné géographiquement à devenir le "Central parc" marnovalois contribue déjà de façon significative à l'identité de la ville nouvelle en soulignant son caractère plus que paysager. De même il rappelle la mémoire de la famille Menier, l'ancien propriétaire du domaine, dont la fortune a été faite grâce au chocolat éponyme. Constitué d'un centre de ressources documentaires, d'un centre d'art, d'ateliers et d'un espace des arts vivants le Parc culturel ne demande qu'à s'enraciner, à profiter aux habitants de Marne et Gondoire et aux lecteurs de tous les horizons franciliens.

La CAMG a confié au FRAC d'Ile de France le soin de choisir les œuvres de l'exposition d'art contemporain d'ouverture intitulée "Etranges mécaniques". On peut regretter que, pour une première, celle-ci soit par trop minimaliste et conceptuelle. Le courant "Abstraction géométrique" y est représenté par François Morellet dont l'accrochage, somme toute assez classique, se révèle finalement l'un des plus accessibles.

"Quatre trames 30°, 60°, 120°, 150° partant d'un angle, maille de 180 cm" et, sous un nouvel éclairage, "On joue les prolongations"

En 1977, François Morellet, a réalisé la peinture présentée dans le centre d'art sur une toile de 1,8 m sur 3 m. Il retient le noir et blanc comme, sans doute, un photographe préfère ce choix plutôt que celui de la couleur pour traiter un sujet précis. A l'origine les lignes sont en toile adhésive, puis finalement peintes en acrylique directement sur le support. Cette œuvre est significative de l'expression de l'artiste qui dessine inlassablement des trames régulières faisant naître, par répétition, des ensembles de compositions unitaires. Il a une préférence pour les lignes inclinées, 60° en particulier – pente idéale pour stimuler l'imagination pense-t-il –, car il trouve la croix du quadrillage orthonormé par trop signifiante. Ainsi on comprend que le tableau constitue en réalité une fenêtre sur une composition bien plus vaste. Cette composition d'origine peut ainsi faire naître de nombreux extraits, charge au créateur d'en fixer les contours en recherchant l'équilibre visuel, l'harmonie esthétique et en aiguillant la curiosité de l'extérieur du tableau.

On peut vérifier le titre de l'œuvre en constatant quatre inclinaisons ordonnées dans le sens trigonométrique et en mesurant l'écartement des deux parallèles à 120° : 1,80 m. Pour sa compré-

l'inclinaison pour la ligne

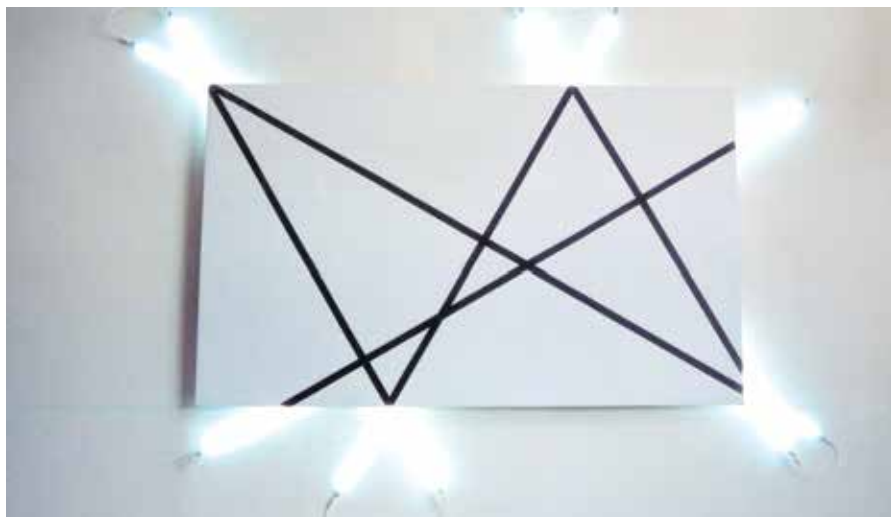
hension François Morellet livre cette clef : *"Ma conduite peut se résumer par en faire le moins possible ou plus prétentieusement trouver des principes qui soient suffisamment souples et précis pour que la limitation de ma responsabilité soit bien évidente et que les spectateurs ne me rendent responsable, plus que je ne le mérite, de ce qui est dû à leur grande richesse d'interprétation"*. Il invite donc chacun à laisser libre cours à sa pensée, y voir, comme pourraient le faire certains lecteurs d'XYZ, la prochaine "Récréation mathématique de Raymond d'Hollander", pour les autres l'épure de l'éclairage d'une scène de théâtre, ou encore le profil en travers schématique du paysage du Cervin... Il appartient donc bien à chacun de se projeter dans la réalisation et profiter de ce qu'elle révèle.

En 2003, à l'occasion du vingtième anniversaire du FRAC, l'œuvre de 1977 a été complétée par un système de néons. En constituant une prolongation, la réalisation électrique, qui pourrait se suffire à elle-même, donne un nouvel éclairage à la peinture dans les deux sens du terme. A défaut d'être fréquent cela montre qu'une œuvre peut évoluer dans le temps.

Le rose pâle des néons égaie le tableau et souligne l'intérêt de ne pas s'arrêter aux limites de la toile, chercher ce qu'il peut y avoir au-delà.

Si on s'intéresse uniquement à l'art contemporain on sera sensible à la naissance d'un nouveau lieu dédié à la création actuelle. Si on pense que l'art ne vaudra jamais plus que l'environnement naturel, on aimera la diversité des parcs et la magnificence des arbres multiséculaires du site classé. Si l'on apprécie en même temps l'art contemporain et la nature, on sera séduit par Rentilly et on saura gré à François Morellet de l'avoir fait connaître. ●

► Pour tout renseignement :
www.marneetgondaire.fr



© Yvette Velay

François Morellet

Né en 1926 à Cholet, aujourd'hui encore fidèle à sa ville natale où il vit et travaille, l'autodidacte François Morellet, après une courte période figurative, parvient à l'abstraction en 1950 sous l'influence de Pierre Dmitrienko. Il pratique alors une peinture déjà très dépouillée, rapidement marquée par l'exemple de Mondrian. Dès 1952, il adopte un langage géométrique composé de formes simples, lignes, carrés, triangles, assemblées dans des compositions élémentaires bidimensionnelles servies par un nombre restreint de couleurs posées en aplats. Il introduit la technicité et les mathématiques dans sa création sans se soucier que celles-ci réduisent forcément la part de spontanéité et, par conséquent, la place de l'ego de l'artiste.

Ses œuvres exécutées dans un concept où le calcul a la plus grande part, sont marquées par les travaux de Max Bill et les entrelacs de l'Alhambra de Grenade. François Morellet entend maîtriser le processus de la création et s'affranchir de la dimension romantique de l'art et de l'artiste. Tous ses choix sont justifiés par un principe établi au préalable, jusqu'à faire intervenir le hasard dans l'attribution des différentes composantes du tableau. Pour lui, une œuvre d'art ne renvoie qu'à elle-même, son titre indiquant la règle de jeu qui a présidé à son élaboration. Jusqu'en 1960, il établit les différents systèmes de combinaisons des formes qu'il emploie (superposition, fragmentation, juxtaposition, interférences...), aboutissant notamment à la création de sa première "trame", ce réseau de lignes parallèles noires superposées selon un ordre déterminé présenté ci-dessus.

Entre 1961 et 1968 il est l'un des acteurs de l'art cinétique avec le Groupe de recherche d'art visuel (GRAV) fondé avec Le Parc, Garcia-Rossi, Sobrino, Stein et Yvaral. Il participe également au mouvement international de la Nouvelle tendance. Il cherche dans ce contexte à créer un art expérimental qui s'appuie sur les connaissances scientifiques de la perception visuelle et qui soit élaboré collectivement. En 1963, François Morellet commence à utiliser des tubes de néon en s'appuyant sur les qualités spécifiques de ce matériau (intensité de l'éclairage, allumage instantané, fabrication impersonnelle).

Après 1970 débute pour lui une troisième période marquée par la création d'œuvres de plus en plus dépouillées, qui jouent avec leur support et l'espace environnant. Il réalise alors un grand nombre d'intégrations urbaines, qui attestent sa parfaite maîtrise dans le maniement des formes et leur adéquation avec l'architecture. C'est dans ce cadre que François Morellet s'exprime encore aujourd'hui.



■ La mesure du monde

Daniel Kehlmann

Vers la fin du XVIII^e siècle, deux jeunes Allemands entreprennent de mesurer le monde. L'un, Alexander von Humboldt, se fraye un chemin à travers la forêt vierge, arpente les steppes, descend l'Orénoque, teste l'effet de poisons sur son propre organisme, compte les poux sur la tête des indigènes, rampe dans des boyaux étroits, grimpe au sommet de volcans, croise des monstres sous-marins ou encore des cannibales sur son chemin. L'autre, le mathématicien et astronome Carl Friedrich Gauss, est incapable de se passer d'une présence féminine mais trouve le moyen, durant sa nuit de noces, d'abandonner le lit nuptial pour aller noter une formule. Il finira par apporter la preuve de la courbure de l'espace, sans jamais quitter sa ville natale de Göttingen.

En 1828, alors qu'ils sont déjà âgés, célèbres et quelque peu bizarres, les deux hommes finissent par se rencontrer à Berlin. Et à peine Carl Friedrich Gauss est-il descendu de sa calèche que les deux hommes se trouvent plongés dans les profondeurs troubles du jeu politique de l'Allemagne post-napoléonienne.

Avec un humour tendre et mordant, Daniel Kehlmann décrit la vie de ces deux génies, leurs aspirations et leurs faiblesses, oscillant en permanence entre le ridicule et la grandeur, l'échec et la réussite. "La mesure du monde" est un jeu raffiné où les faits se mêlent à la fiction, un roman d'aventures philosophique imaginaire, fort et brillant.

Né à Munich, en 1975, Daniel Kehlmann vit à Vienne. Ses romans et récits, traduits dans plus d'une douzaine de langues, ont été couronnés par de nombreux prix littéraires, dont le Prix *Candide* en 2005. Son roman "Moi et Kaminski" (paru en France chez Actes Sud) a connu un grand succès au plan international.

Précédents ouvrages :

Beerholms Vorstellung, roman, 1997

Unter der Sonne, récits, 1998

Mahlers Zeit, roman, 1999

Der fernste Ort, nouvelle, 2001

Wo ist Carlos Montúfar ?, essais, 2005

► La parution de la version française est prévue pour janvier 2007 chez Actes Sud.



■ Photographier le ciel en numérique

Patrick Lécureuil

Pratiquer l'astrophotographie c'est, en quelque sorte, pénétrer dans un monde bien souvent inaccessible à nos yeux. Pour mesurer toute la beauté de l'univers, il faut pratiquer l'astrophotographie. Mais l'astrophotographie est longtemps restée un domaine réservé à des astronomes amateurs bien équipés et possédant une solide expérience dans la pratique photographique et astronomique. Depuis quelques années, le numérique a véritablement révolutionné l'astrophotographie amateur. Aujourd'hui, que ce soit avec une simple webcam ou un appareil photo numérique, il est possible d'obtenir rapidement de spectaculaires résultats, sans pour autant être un astronome amateur aguerri ni lourdement équipé.

L'astrophotographie numérique est indissociable du traitement informatique de l'image. C'est pourquoi le livre est axé autour de quatre grands thèmes concernant la prise de vue : le matériel astronomique, l'appareil photo numérique, la webcam, la caméra CCD. Une part importante de l'ouvrage est consacrée au traitement des images astronomiques. On y apprend pas à pas comment obtenir des images détaillées de Lune, des planètes, des galaxies, des nébuleuses et autres curiosités célestes.

► Editions Vuibert
prix : 26 € – 224 pages
ISBN : 2-7117-7150-4



■ La figure et le Monde Une archéologie de la Géométrie

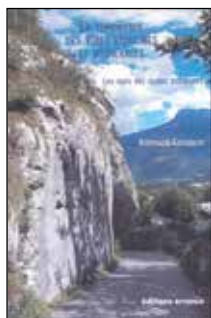
Olivier Keller

Dans l'ouvrage précédent consacré à la naissance de la géométrie (*Aux origines de la géométrie : le Paléolithique et le monde des chasseurs-cueilleurs*) nous étions en compagnie des premiers humains puis des sapiens modernes du Paléolithique. C'était la Préhistoire. Suite et fin de ce récit des origines de la géométrie : nous voici aux débuts de l'Histoire. Nous y fréquenterons les premiers paysans bâtisseurs et certains peuples sans écriture, les scribes mathématiciens et les prêtres védiques, puis, enfin les premiers philosophes grecs contemporains des *Eléments* d'Euclide.

La renaissance néolithique se caractérise par sa nouvelle représentation de l'espace provenant de la découverte des points cardinaux, le rôle prééminent de la direction verticale (observation du ciel nocturne) et la création des figures de base en dimension trois. La mesure et l'écrit triomphent dans les premières sociétés à contrainte étatique ou impériale ; nous leur devons, avec les premiers textes mathématiques, l'ébauche des premiers problèmes liés au calcul des figures "géométriques". La naissance de la philosophie en Grèce antique a enfin fait des mathématiques une théorie, lui imposant pour longtemps le principe fondamental de non-contradiction et une forme générale hypothéticodéductive.

► Editions Vuibert
prix : 34 € – 336 pages
ISBN : 2-7117-5371-9

Le numéro ISBN indiqué pour chaque ouvrage vous permet de le commander en librairie.



■ La toponymie des voies romaines et médiévales les mots des routes anciennes

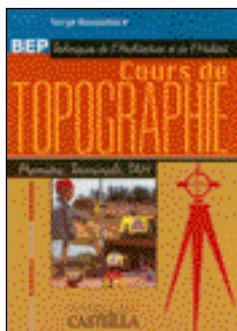
Stéphane Gendron

Si les Gaulois et leurs prédécesseurs avaient établi des axes de communication à travers l'Europe, les Romains furent célèbres pour l'implantation systématique de réseaux routiers dont héritera le Moyen Age. Une route s'avère souvent un monument important aux yeux de la population, plus que les temples ou les théâtres. Elles traversent des territoires, sont utilisées pour la vie de tous les jours, comme elles marquent le paysage. Des constructions humaines, ce sont elles qui ont laissé le plus de mots dans la mémoire du sol et dans le souvenir des hommes. Des milliers de noms dans les campagnes se rattachent aux voies, aux auberges, aux ponts, aux gués. Suivre une voie ancienne ne correspond pas seulement à faire des kilomètres ; c'est aussi une remontée dans le temps. Les noms de lieux appartiennent à l'histoire et nous guident dans différents paysages, de l'époque gauloise à la fin du Moyen Age.

Biographie de l'auteur

Stéphane Gendron est l'auteur d'une dizaine d'ouvrages sur la toponymie régionale. Il a publié *"Les noms de lieux en France"* - Essai de toponymie (2003) aux éditions Errance.

► Editions Errance
prix : 28 € – 200 pages
ISBN : 2877723321



■ BEP techniques du géomètre et de la topographie

S. Bouquillard

Cet ouvrage en deux tomes est conforme au référentiel du BEP Techniques du géomètre et de la topographie.

Ce premier volume, destiné aux élèves de Seconde professionnelle, traite des points suivants : généralités, saisie de données, instruments et méthodes, applications particulières, traitements numériques.

► Editions Casteilla
prix : 25 € – 256 pages
ISBN : 2-7135-2746-5

■ Cours de topographie BEP techniques de l'architecture et de l'habitat

S. Bouquillard

Cet ouvrage est destiné aux élèves du Brevet d'études professionnelles des Techniques de l'Architecture et de l'Habitat.

Organisé en deux parties correspondant aux deux années d'études, il reprend la totalité du programme de topographie en conformité avec le référentiel du BEP. Des exemples d'évaluations et de contrôle en cours de formation, avec corrigés, complètent le cours.

► Editions Casteilla
prix : 20 € – 152 pages
ISBN : 2-7135-2814-3



■ Revue arts et industrie n° 259 juin 2006 INSA Strasbourg

Dans ce numéro Louis Tschaen⁽¹⁾ rappelle la mémoire d'Albert Bauer (1916-2003) Polytechnicien, explorateur polaire, professeur à l'ENSAIS qui a été un exemple pour la qualité de son enseignement. En 19 pages, Louis Tschaen et de nombreux anciens élèves dont René Koecher rendent un vibrant hommage à Albert Bauer éminent glaciologue et *"grand explorateur au sein des explorations polaires françaises créées en 1947 par Paul Emile Victor du temps où les scientifiques portaient pour des missions de 9 mois dans des conditions héroïques"*

Il a participé à plusieurs expéditions au Groenland de 1948 à 1963. En conclusion, Albert Bauer était un personnage atypique, un peu rude et très direct mais sympathique, généreux et très serviable. Dans le prochain numéro d'XYZ, Jean Bourgoïn évoquera ses relations et ses travaux avec Albert Bauer. Plusieurs autres études sont en cours dont l'une porte sur l'histoire du département Topographie de l'INSA.

(1) Louis TSCHAEN a publié de nombreux articles portant sur la topographie, la géodésie et l'astronomie. Il a récemment salué la mémoire de Roger Schaffner dans XYZ.

► Vous pouvez commander le N° 259 juin 2006 en écrivant :
Association des Architectes et Ingénieurs Insa de Strasbourg
Maison de l'Ingénieur
56 Bd d'Anvers 67000 Strasbourg
www.artsindustries.com

REPERTOIRE DES ANNONCEURS - N° 109

AERIAL	2° de couv	GÉOMEDIA	4° de couv	TOPCON	3° de couv
AERIAL	72	LEICA	2	TRIMBLE	1
CAOUSOU	69	Mauray Informatique	13		
ECOLE CHEZ SOI	4	REIS STOLZEL	72		

Cartographie et diplomatie

■ Raymond D'HOLLANDER

"Cartographie et diplomatie" tel est le titre du n° 187 de la revue "Le Monde des cartes" de mars 2006 du Comité français de cartographie. La quasi totalité de la revue regroupe les communications présentées lors du colloque annuel de 2005 de la commission "Histoire de la cartographie" du dit comité. Ce colloque a eu lieu au centre des conférences internationales du Ministère des Affaires étrangères avec pour thème le titre de la revue précitée.

Nous donnons ci-après un bref résumé des communications qui ont été présentées ; dans certaines d'entre elles la topographie y joue un rôle aussi important que la cartographie.

■ La direction des archives et le service géographique du Ministère des Affaires étrangères

Isabelle RICHEFORT, chef du département des Archives historiques du Ministère des Affaires étrangères.

Le service géographique du Ministère des Affaires étrangères a tout naturellement besoin de supports cartographiques destinés à l'usage des diplomates ou en vue de travaux d'études et d'expertises géographiques ou topographiques.

La communication présente un historique de ce service géographique que l'on peut faire remonter à Henri III. Celui-ci en 1589, prit l'initiative de confier à un seul secrétaire d'Etat la correspondance avec les pays étrangers, idée qui fut reprise par Richelieu en 1626. Il s'agissait de centraliser tous les textes de la diplomatie française, Arnaud d'Andilly était chargé de classer les instructions et les dépêches relatives aux ambassades et aux missions. Depuis lors jusqu'à la Révolution française le secrétariat d'état aux Affaires étrangères organise la conservation de ces archives.

En 1712 est créée une académie de formation des jeunes diplomates : "l'Académie politique", qui entretient

des relations étroites avec ces archives. Celles-ci sont rassemblées en 1763 à Versailles dans un nouvel hôtel des Affaires étrangères.

Dans la seconde moitié du XVIII^e siècle on assiste à une politique active de constitution de collections de cartes. L'année 1772 voit la véritable naissance de la collection du service géographique avec l'acquisition de celle de Bourguignon d'Anville, constituée de 9 000 cartes et de 600 manuscrits, collection qui a été transférée en 1927 au Département des cartes et plans de la Bibliothèque nationale de France.

Le 1^{er} janvier 1775 est créé un "bureau topographique pour la démarcation des limites" rattaché directement au ministre. Les limites concernent essentiellement les frontières.

En 1830 ce bureau topographique des limites est réuni avec le dépôt géographique pour constituer le "bureau du géographe" qui sous des appellations diverses poursuit ses activités jusqu'à nos jours.

A l'instigation de Thiers et de Guizot l'historien Auguste Mignet est nommé en 1830 à la tête de la direction des Archives et des chancelleries, comprenant quatre sections. Un rapport de 1831 précise que le nombre de

cartes dont disposait la section géographique s'élevait à 26 000 et que les rapports relatifs à la démarcation des frontières des pays formaient 400 volumes et cartons.

Guizot fit construire entre le quai d'Orsay et la rue de l'Université un bâtiment contenant les archives.

En 1874 fut organisée la communication au public et la publication des textes.

Les archives des Affaires étrangères furent épargnées lors de la première guerre mondiale. Lors de la seconde guerre mondiale, certains documents furent détruits et après le 14 juin 1940 environ 10 000 furent envoyés en Allemagne. Deux mille cartes retrouvées en Pologne en 1976 et un autre lot retrouvé deux ans plus tard furent restitués au ministère.

Aujourd'hui le fonds de la division cartographique compte environ 4 000 cartes dont les plus anciennes remontent au XVII^e siècle.

■ Vision rapprochée des limites, les cartes et "figures" des XV^e et XVI^e siècles

Monique Pelletier, conservateur général honoraire des bibliothèques.

La figuration des frontières de la France sur les cartes a été tardive.

En 1601 Henri IV demande que soient levées des cartes, où sont précisées les limites du royaume, ce qui fut fait avant Vauban dans les régions frontalières par le service des fortifications. Les cartes générales du XVII^e siècle portent aussi les frontières sans qu'on en soupçonne les complexités. Celles-ci sont mises en évidence sur des cartes partielles appelées "figures", dressées à l'occasion de contestations sur des points précis. Ces figures, par-

fois appelées “tibériades”, sont plus proches de vues perspectives que de cartes. La plupart ont été dessinées par des peintres, qui remplacent les arpenteurs, pratique condamnée par des édits de 1555 et de 1575. Ces deux édits créent de nouveaux offices d’arpenteurs pour la réformation des forêts royales. Les figures réalisées pour les procès doivent, en principe, être “accordées”, c’est à dire acceptées par les deux parties.

Monique Pelletier propose l’étude de trois exemples de figures, deux du XV^e siècle et un du XVI^e siècle.

Le premier exemple, bourguignon, date de 1460 et concerne des villages situés en principe dans le duché de Bourgogne, mais proche de la frontière de la Franche-Comté, entre Dijon et Gray. La “figure” représentée en figure 1 de l’article est curieuse. Les deux villages Talmay et Heuilley (graphies actuelles) sont disposés l’un en haut et à droite, l’autre en bas et à gauche. Ils sont représentés par des groupes de maisons accolées, vues du sol et en positions inverses l’une de l’autre, le Nord étant à droite.

De même les arbres sont représentés avec leurs frondaisons, vues du sol. La “figure” comporte la limite entre les deux villages. La figure 2 de l’article représente un extrait de la carte de Cassini sur laquelle ont été portées en jaune les limites actuelles ; on y constate que Talmay qui faisait partie de la Franche-Comté était une enclave dans le duché de Bourgogne.

Le deuxième exemple concerne la seigneurie de Thoisy en Dombes ; il est contemporain du premier (1460) La facture est différente de la précédente. On a affaire à un extrait de carte se rapprochant de l’aspect de la carte de Cassini (figure 5 de l’article), les bâtiments étant représentés par leurs silhouettes, toutefois le relief n’est pas figuré.

Le troisième exemple concerne des enclaves d’Artois et date de 1560. Monique Pelletier fait un historique long et complexe de ces enclaves, illustré par trois “figures” (figures 6 et 8 de l’article).

■ La Guerre et les Affaires étrangères - Réseaux de sociabilité dans les départements ministériels (seconde moitié du XVIII^e siècle)

Patrice RACT, archiviste paléographe, conservateur des Bibliothèques, Université Paris1 Panthéon Sorbonne.

Cet article prend comme point de départ la construction des hôtels de la Guerre, de la Marine et des Affaires étrangères à Versailles à la fin des années 1750. Jusque là dispersés, les bureaux, archives et dépôts de cartes des ces trois ministères se trouvèrent alors regroupés au sein d’une véritable cité administrative qui fonctionna jusqu’à la Révolution.

Outre l’efficacité accrue dans le travail quotidien, la proximité des équipes pendant plus d’une trentaine d’années aboutit à la naissance d’une sociabilité entre les membres des différents bureaux de ces ministères chefs de bureau, ingénieurs, techniciens, traducteurs, interprètes, commissaires, commis, secrétaires. L’auteur donne plusieurs exemples d’alliances familiales internes et de liens d’amitié.

C’est ainsi qu’on peut mettre en lumière la part prise par le personnel de ces ministères dans les ateliers maçonniques de Versailles. Dans la loge du Patriotisme, on rencontre en 1785 sept commis de la Guerre et un commissaire des Guerres, quatre commis des Affaires étrangères, neuf employés de la Marine et deux de la maison du Roi. On y retrouve aussi un ingénieur géographe, ainsi que Goldoni – le dramaturge dont on joue encore les pièces – qui occupe un poste de secrétaire-interprète dans les bureaux de la Guerre et l’abbé Desombes, “aumônier du Roi en l’hôtel de la Guerre”. Sur les 124 membres que comportent la loge, dont 14 non résidents, plus de 20% travaillent dans les hôtels de la Guerre, de la Marine et des Affaires étrangères.

Le reste de l’article est consacré aux ingénieurs géographes. La multiplicité des ingénieurs prenant le titre d’“ingé-

nieur géographe” est assez remarquable dans la seconde moitié du XVIII^e siècle.

Au dépôt de la Guerre existe le bureau des ingénieurs géographes des camps et armées ; au sein de ce même département de la guerre, mais dépendant du Bureau des fortifications travaillent quelques autres ingénieurs, dont le titre est aussi ingénieur géographe. Il y a aussi des ingénieurs géographes des colonies, dépendant du secrétariat d’Etat de la Marine. Enfin, dans le bureau de la géographie, on trouve les ingénieurs géographes des Affaires étrangères. Pour mémoire citons les ingénieurs militaires du génie qui dépendent aussi du département de la Guerre, plus spécialement chargés des levers d’établissement militaires dans les villes de garnison.

L’auteur consacre ensuite deux assez longs paragraphes à l’histoire des ingénieurs géographes des Affaires étrangères.

La fin de l’article s’intitule “Des ingénieurs géographes : pour quoi faire”. L’auteur y évoque les rivalités de ces différents corps et le manque d’uniformité de leur fonction initiale. Côté militaire le Génie prend le pas sur les ingénieurs du Dépôt de la Guerre dès 1776 - 1777, avant la suppression de ces derniers en 1791. Côté civil les ingénieurs des Ponts et chaussées sont également reconnus pour leurs compétences dans le lever des plans.

Enfin dès la Révolution et la création de l’Ecole polytechnique sont formés, après passage dans des écoles d’application, des ingénieurs de haut niveau.

Ajoutons à l’article la renaissance du corps des ingénieurs géographes militaires, formés à l’Ecole polytechnique et subissant une formation complémentaire à l’Ecole d’application des ingénieurs géographes. Ce corps, auquel on doit la triangulation dite des ingénieurs géographes, sera à nouveau dissous et ses ingénieurs versés dans le corps d’Etat major, auquel est associé la carte dite d’Etat major au 1 : 80 000 en hachures.

■ ■ ■ ■ Cartographie et renseignement sur l'Ohio et le Mississipi (1796) : Joseph Warin, Victor Collot et leur voyage

Gilles Antoine LANGLOIS, chargé de cours à l'Université de Paris XII

En mars 1796, donc après l'indépendance des États-Unis, le général Collot, dont l'auteur évoque la biographie, entreprend par l'Ohio et le Mississipi un voyage sans but avoué. On ignore si le général avait un ordre de mission et s'il avait obtenu les autorisations nécessaires.

Aidé de son fidèle adjudant Joseph Warin, géographe confirmé, il relève et dessine de façon très précise les cours de l'Ohio et du Mississipi. Ils parcourent l'Illinois et la Louisiane, lèvent les postes qui s'y trouvent, les concessions, les habitations. Ils prennent des centaines de pages de notes en vue de la rédaction d'un rapport détaillé sur l'état de l'ancienne province française. Le voyage s'achèvera sept mois plus tard par l'arrestation du général à la Nouvelle Orléans et l'embarquement pour Philadelphie sous bonne escorte. Le gouverneur espagnol de la Louisiane le considérait comme un espion.

Plus tard, en 1804, alors que la Louisiane vient d'être vendue aux États-Unis, Collot tente de publier un ouvrage retraçant cette courageuse équipée. Cette publication n'aboutit pas et c'est seulement en 1826 que le "Voyage en Amérique septentrionale" paraît à Paris, en édition française et en édition anglaise, augmentée d'un atlas.

■ Les frontières du central Asia Atlas de Sven Edin : un exemple de dilemme politique

Philippe FORÊT, PhD Institut de cartographie, Ecole polytechnique fédérale de Zurich

L'article décrit le programme d'une expédition sino-suédoise dite S.S.E (Sino swedish expédition) dans les provinces de l'Ouest chinois, comportant parmi ses objectifs la cartographie de la

Mongolie intérieure et du Xinjiang et de leurs frontières.

De nombreuses difficultés ont rendu pénible le travail de terrain, effectué pendant les années 1927-1935 et limité ensuite la diffusion des rapports de l'expédition. L'article cherche à déterminer l'attitude que les cartographes suédois ont pu adopter face à une découverte controversée dans une région hostile.

■ La division géographique du ministère des Affaires étrangères

Eric VAN LAUWE et Jean-Pierre PIRAT, ingénieur divisionnaire et ingénieur des travaux géographiques et cartographiques de l'Etat.

Après l'exposé de l'histoire de la division géographique du Ministère des Affaires étrangères et de son fonds cartographique ancien, les auteurs décrivent les deux principaux secteurs d'activité de la division : la documentation et la réalisation de cartes.

- La documentation acquise par la division est très variée : cartes terrestres, marines, atlas géographiques, guides touristiques. Cette documentation est mise à la disposition des agents du ministère et permet d'effectuer des recherches de tous ordres. Les cartes sont indispensables aux diplomates pour évaluer les situations critiques et trouver des solutions : évacuation d'habitants, aide humanitaire.
- La réalisation des cartes géographiques. Il s'agit essentiellement de cartes au format dossier (format A4) pour pouvoir être insérées dans des dossiers diplomatiques divers. L'appel à la sous traitance a permis de réaliser des cartes en couleur et depuis 1991 toutes les cartes ont été refaites entièrement sur ordinateur. Ces cartes administratives sont au nombre de 250 environ : les 192 états indépendants, les continents et sous-continents. Elles reflètent la position officielle de la France sur les conflits frontaliers entre pays. Plus de 100 000 cartes sont diffusées chaque année pour les besoins du ministère et des

postes diplomatiques à l'étranger.

En 2005, une série de 192 cartes a été mise en ligne sur les sites Internet du ministère. La division produit aussi des cartes thématiques diverses.

L'article est illustré par plusieurs exemples de cartes, dont une carte historique représentant les possessions de la maison de Bourgogne sous les Valois (1363 – 1477).

■ La numérisation de la collection d'Anville à la Bibliothèque nationale de France (BNF)

Catherine HOFMANN, conservateur au Département des cartes et plans de la BNF.

Il s'agit de la collection de Jean-Baptiste Bourguignon (1697 – 1782) confiée en 1782 au ministère des Affaires étrangères qui l'a cédée au Département des cartes et plans de la BNF en 1927. Riche d'environ 10 000 cartes concernant la production européenne du XVI^e siècle au dernier quart du XVIII^e siècle, c'est l'une des plus importantes collections de cartes jamais réunies par un particulier.

Depuis 1984 cette collection a fait l'objet de reproductions sur microfiches ; en 1999 a commencé la numérisation de la collection dans le cadre de plusieurs dossiers de Gallica, la bibliothèque numérique de la BNF, accessible en ligne. Les cartes numérisées sont consultables sur Gallica de plusieurs manières.

■ La question des limites des colonies française et espagnole de Saint-Domingue et la carte de la frontière (1776)

Jean-Louis GLÉNISSON, archiviste paléographe, conservateur en chef des Bibliothèques, directeur de la Bibliothèque municipale classée de Périgueux.

L'introduction signale la particularité exceptionnelle de Saint-Domingue, celle d'une île partagée en deux par une frontière internationale, véritable

paradoxe historique, politique et économique.

Les Espagnols furent les premiers à coloniser l'île dès le début du XVI^e siècle et lui donnèrent le nom d'Hispaniola. Au début du XVII^e siècle des Français s'installèrent sur la côte Nord-ouest de l'île. Le traité de Nimègue (1678) reconnut l'existence de la colonie française dans la partie occidentale de l'île et fixa sa frontière au Nord sur la rivière Rebouc.

Il y eut par la suite plusieurs accords et traités pour définir la totalité de la frontière entre les parties françaises et espagnole : un accord de 1773, le traité de l'Atalaya (1776), le traité d'Aranjuez (1777). L'accord de 1773

reposait sur une carte et des mémoires de Boisfôret de 1772. Pour le traité de 1777 des cartes furent dressées en 1776, notamment par l'ingénieur géographe Calon de Falcourt. L'ensemble de ces cartes porte le nom de carte des limites (carte de la frontière). Cette carte, qui se trouve dans le fonds du service hydrographique et océanographique de la Marine, cédée au département des cartes et plans de la BNF, décrit le tracé de la frontière et indique l'emplacement des bornes. Les conditions dans lesquelles fut levée cette carte sont mal connues.

L'article est illustré par un extrait de la carte de Boisfôret et des extraits de la carte des limites. On y trouve en outre

un tableau d'assemblage des différents composants de cette dernière carte.

Mais la mémoire de cette frontière s'est en grande partie effacée sur le terrain ; toutefois les archives conservées en France permettraient de la restituer en menant une mission sur place pour en retrouver les vestiges. ●

► Vous pouvez commander
le N° 187 (mars 2006 - 25,00 €)
en écrivant :
Comité Français de Cartographie
107 rue la Boétie
75008 Paris



Le Caousou - Toulouse

BTS Géomètre - Topographe

Les inscriptions sont ouvertes à partir de janvier 2007

- ➔ Recrutement post Baccalauréat (série S, STI Génie Civil) sur dossier.
- ➔ Entraînement aux examens et concours.
- ➔ Internat permanent filles et garçons.

3^{ème} année de préparation à l'ESGT

Un minimum de 12 candidats admis est nécessaire pour l'ouverture de cette classe hors contrat.

- ➔ Recrutement post BTS Géomètre Topographe sur dossier.
- ➔ Dossiers à retirer dès janvier 2007.

Journée Portes ouvertes : Samedi 17 mars 2007

Le Caousou



Etablissement d'enseignement privé sous contrat d'association

42, Av. Camille Pujol - Enseignement Supérieur - BP 15210 - 31079 TOULOUSE Cedex 5

Tel : 05.62.47.48.43. - Fax : 05.62.47.48.50.

Site internet : www.caousou.com - Email : d-hombourg@caousou.com

Les relations professionnelles de demain ne se mettraient-elles pas en place au Sri Lanka ?

■ François BODIN

Les dramatiques événements de décembre 2004 ont suscité une vague de générosité planétaire tout à fait nouvelle et encourageante pour l'avenir et puis l'actualité a fini par rebondir sur d'autres événements pour oublier un peu le tsunami et ses victimes.

Faute d'être efficaces dans l'urgence, les topographes deviennent des acteurs indispensables dès lors qu'on aborde les phases de reconstruction et de mise en sécurité des habitants. C'est dans ce cadre qu'une équipe d'élèves de l'ESGT a mis en œuvre son projet d'année en recherchant des sponsors, en allant sur place effectuer des relevés d'un secteur côtier en vue de modéliser les effets d'une nouvelle vague et d'étudier les parades à apporter à ses effets destructeurs.

Le projet a parfaitement été mené avec pour seule ombre le désagrément de ne pouvoir faire participer tous les adhérents de l'association créé à cette occasion et dont le logo orne aujourd'hui cette chronique pour la première fois. L'intérêt de cette mission 2006 réside dans la richesse des contacts successifs qui ont permis son aboutissement. Au départ un contact entre une élève ESGT et des étudiants géomètres canadiens travaillant sur un projet d'aide au Sri Lanka et désireux d'associer d'autres étudiants géomètres à leur opération, contact qui rebondit sur un professeur d'université Sri Lankais, puis sur un expert Hollandais vivant depuis de nombreuses années là-bas, enfin sur un géomètre-expert français devenu partenaire de l'équipe et qui est allé participer aux travaux sur place pendant une bonne semaine...



Rite festif.



2 étudiants, le confrère français géomètre local qui les a rejoint et un assistant sri-lankais.

Le partenariat avec les élèves géomètres Sri Lankais n'a pu aboutir à l'occasion de cette mission mais doit être mis en place pour l'été 2007, à l'image de ce qui se pratique depuis maintenant de nombreuses années sous l'égide de GSF au Bénin et à Madagascar.

Les divers ingrédients d'un cocktail sympathique ont permis, grâce au soutien de nombreux sponsors et aux bourses obtenues par les élèves, de réaliser le programme fixé en terme de qualité de travaux et de délai.

Avec, en prime, la découverte du travail au contact d'un professionnel "accompagnant" ses jeunes futurs confrères, ce qui est aussi un peu rassurant, la joie de partager le quotidien de gens extrêmement chaleureux, de découvrir tous ces petits quotidiens surprenant les habitudes occidentales (conduite, soirées et sortie, importance du religieux, climats et animaux nouveaux...) et le plaisir de découvrir que construire et



Futurs confrères.

aider passent au-dessus des frontières et des strictes spécialités techniques. Saint-Exupéry disait bien quelque chose comme "si tu veux qu'ils se haïssent, jette-leur du grain ; si tu veux qu'ils s'aiment comme des frères, force les de construire ensemble"... un joli programme à poursuivre dont on ne sait pas encore quelles seront ses retombées dans 10 ou 20 ans ! ●