

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

Grands travaux

Le bouclage en souterrain de l'A.86

EVÉNEMENT

Catastrophe d'Enschede



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

Membre de la FIG (Fédération Internationale des Géomètres)

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

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

Juin 2001 • 2^e trimestre

Directeur de la publication Rédacteur en chef

André Bailly
Ingénieur Géomètre ETP

Rédaction et administration AFT

2 avenue Pasteur -
94165 Saint Mandé cedex

Tél. : 01 43 98 84 80

Fax : 01 43 74 72 80

E-mail : aftopo@club-internet.fr

Site internet :

<http://perso.club-internet.fr/aftopo>

secrétariat : tous les jours de 9 h à
12 h et de 14 h à 17 h

Publicité

Robert Chevalier

Comité de Rédaction

Jean Bourgoin
Ingénieur Général Hydrographe ER
Robert Chevalier
Géomètre-Expert DPLG
Pierre Grussenmeyer
Maître de Conférence - ENSAIS
Raymond d'Hollander
Ingénieur Général Géographe - IGN
Jacques Riffault
Directeur Commercial
Robert Vincent
Ingénieur ECP
Dr Pascal Willis
Ingénieur en chef Géographe - IGN

Conception et maquette

Dorothée Picard

Abonnements

Evelyne Mesnis

Autre publication

L'annuaire de l'AFT

IMPRIMERIE MODERNE USHA

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

Dépôt légal

1^{er} trimestre 2001 ISSN 0290-9057

Tirage de ce numéro : 2 500 ex

Abonnement annuel

France Europe (voir terrestre) : 480 F / 73 €
Étranger (avion, frais compris) : 500 F / 76 €

Les règlements payés par chèques payables
sur une baque située hors de France doivent
être majorés de 40 F / 10 €

le numéro 130 F / 20 €

Le bulletin d'adhésion est en page 64

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.

En couverture photo de Benoît Voisin

Editorial 5

Info-Topo

Les informations de la profession 7

Grands travaux



Il est à l'Ouest de Paris une autoroute très
discrète : le bouclage en souterrain de l'A.86
J.J. Morlot 15

Événement

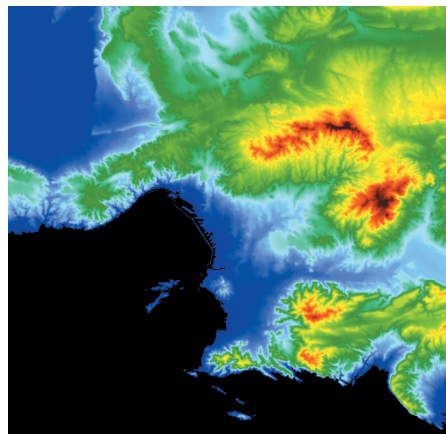
Utilisation des photographies aériennes,
des cartes ou plans et d'un SIG lors
de la catastrophe d'Enschède (Pays-Bas)
Drs. Paul Hofstee et Jean Tariel 24

Technologies nouvelles

Apport de l'altimétrie par laser
aéroporté à la cartographie des estrans :
expérimentation de l'anse de l'Aiguillon
Gérald Barreau, Jacques Populus et
Jacques Fazilleau 31

Imagerie satellitaire

Les satellites d'observation
de la terre au service du développement
des réseaux de téléphonie mobile
L.Laurore 37



Photogrammétrie

Génération de MNT par photogrammétrie
aérienne de petit format : application au
versant instable de Super-Sauze

J.-B. Henry, P. Grussenmeyer, J.-P. Malet
et O. Maquaire 42

Cadastre

Savoir faire français en Argentine

Claire Galpin 51

Géodésie

Organisation du calcul d'un vecteur GPS
exprimé en coordonnées cartésiennes
trirectangulaires géocentriques
en coordonnées bidimensionnelles
sur le géoïde

Claude Million 56

Art et Géométrie

Marino di Teana

«En acier, j'écris ton nom Liberté»

Jean-Pierre Maillard 60

Histoire des sociétés

Une borne qui a de bonnes racines

Michel Primault 62

GSF

A G.S.F le commerce triangulaire
existe toujours...

François Bodin 67

Topographie et histoire

Quand la topographie s'associe à l'histoire
au lycée Jean-Pierre Timbaud de Bretigny

Jean Bret 68

Topo-vécue

Souvenir de mémoire

Claude Million 71

Page 4x4

Renault Kangoo 4x4

«Polyvalence tous azimuts»

Robert Chevalier 75

Les livres

..... 76

Pour la recherche de nos annonceurs
consulter la page 78.

87 une cuvée de printemps

Au printemps, l'AFT et XYZ ont pris leurs quartiers en la noble ville verte de Saint Mandé, quittant la rue de Grenelle antique cœur de la cartographie française aux temps de la carte d'Etat Major.

Ici, à l'IGN jouxtant le bois de Vincennes, se trouvent réunis le plus grand nombre, au mètre carré, de scientifiques, d'ingénieurs et de techniciens de la mesure et de la représentation de la surface terrestre, vous en croisez à chaque détour de couloir.

Ici, c'est la cathédrale de la géodésie, de la topographie, de la cartographie, ici c'est aussi le sanctuaire de la carte dessinée à l'œil et à la main. D'ici, de ces bâtiments, sont parties mille aventures, mille vies, vers les «terra non tabula» de France et du monde les recoins de l'hexagone, les Afrique et les Amériques, les terres froides et les fournaies. En écoutant le vent dans les vieux arbres de la forêt toute proche, on perçoit encore les échos agités des centaines de brigades topo en partance pour les continents à mesurer.

Ces échos, notre revue tente d'en garder la voix dans sa rubrique «topo vécue» que nous vous encourageons à nourrir de vos souvenirs comme le fait dans ce numéro Claude Million qui, par ailleurs, nous gratifie page 56 d'une belle démonstration géométrique. Voyez aussi l'article de Jean Bret «Quand la topographie s'associe à l'histoire au lycée J.P. Timbaud de Brétigny», et celui de Michel Primault «une borne qui a de bonnes racines». A l'opposé dans ce numéro 87 vous allez vous angoïsser pour la tâche hautement responsable et éprouvante des topographes qui œuvrent sur un projet grandiose et périlleux, la jonction définitive des deux bouts de l'autoroute 86. A dix kilomètres du périphérique parisien, à mi-chemin de la Francilienne, elle ceinture la capitale en 78 km dont il manque un tronçon de 10km. La seule façon de préserver l'environnement exceptionnel de cette région est la liaison souterraine (coût x par 10 !), un tunnel sur 10 km, avec les problèmes de géologie, de sécurité (après la catastrophe du Mont Blanc !), de tunneliers de grands diamètres pour grandes profondeurs. La pierre que doit apporter le topo sur ce chantier est d'une finesse extrême : le tracé d'abord, l'implantation en surface des ouvrages et du bâti, le guidage de la machine au plus près de sa route théorique avec des tolérances impensables. L'article de J.J. Morlot nous donnerait presque le frisson.

Ces précautions sont nécessaires, à preuve la catastrophe d'Enschede aux pays bas l'an dernier (explosion d'un entrepôt de feux d'artifices, 22 morts, 900 blessés, 400 maisons détruites) dont Jean Tariel et Paul Hofstee disent que «la consultation d'un SIG, de plans et de photos aériennes aurait permis d'analyser et d'évaluer les risques et les dangers que l'emplacement d'un tel entrepôt pouvait faire courir au voisinage».

Ce numéro fait d'ailleurs une large place à la photo aérienne : «modélisation de versants instables par photogrammétrie aérienne numérique de petit format» ou J-B Henry, Pierre Grussenmeyer, J-P Malet et O. Maquaire nous présentent dans un article musclé des résultats obtenus sur le glissement de terrain de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence), ils y expliquent les moyens choisis, suffisamment légers pour permettre des temps de réponse rapides face à des événements soudains. Et la vue aérienne va même se nicher jusque dans votre téléphone, voir l'article de L. Laurore sur les satellites d'observation au service du développement des réseaux de téléphonie mobile.

Gérald Barreau et Jacques Populus décrivent la première mise en œuvre de la technique d'altimétrie laser aéroporté en zone littorale pour une cartographie des estrans. Cette expérimentation effectuée sur le site de l'anse de l'aiguillon en Charente-Maritime combine et intègre des capteurs de haute précision : récepteurs GPS, système de navigation inertiel et télémètre laser, pour générer des données altimétriques, consacrée à une rénovation du cadastre à l'aide d'images SPOT, fleuron du savoir-faire français.

N'oubliez surtout pas la chronique de Jean-Pierre Maillard «Art et Géométrie», aujourd'hui en acier, j'écris ton nom Liberté, et aussi Claire Galpin pour une mission en Argentine.

Si vous passez la grille du **2 avenue Pasteur à St Mandé**, allez tout droit en face, à «la laiterie» (c'est le nom que donnaient les anciens pionniers cartographes à ce bâtiment en 1954), puis tournez à droite, c'est la laiterie d'à côté, là, au-dessus du courrier, l'escalier étroit qui monte vers le toit transparent où s'installent des ciels d'île de France à la Claude Monet, venez, c'est là qu'on est, on vous y attend ainsi que vos observations sur le nouveau XYZ.

La rédaction

Il est à l'Ouest de Paris une autoroute très discrète : le bouclage en souterrain de l'A.86

J.J. Morlot SOCATOP

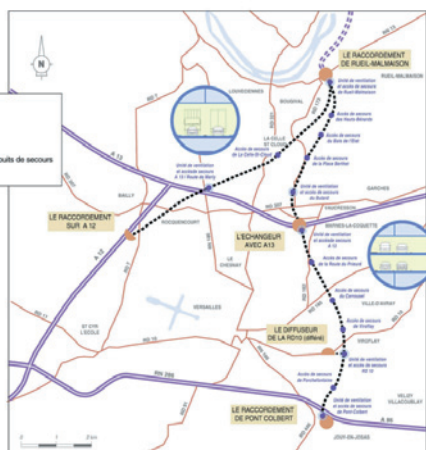


*Le tunnelier du tunnel
Est (VL)*

Un ouvrage qui doit s'intégrer dans un site exceptionnel

Celui qui utilise sa voiture en région parisienne durant la semaine, connaît bien le problème qui se pose en Ile de France. Pour éviter l'asphyxie, il faudra répondre à la demande toujours croissante des déplacements entre banlieues. C'est l'un des problèmes que doit résoudre l'A.86, seconde rocade autoroutière de l'Ile de France, située entre la Francilienne et le boulevard périphérique parisien, à une dizaine de km de celui-ci. Une ceinture de 78 km autour de la capitale, à laquelle il ne manque qu'un tronçon de 10 km pour être bouclée... Mais pas n'importe quel maillon ! A l'ouest, entre Rueil-Malmaison et Versailles, le tracé traverse un secteur résidentiel privilégié, riche en sites et monuments classés. Dès son origine, il jouxte à Rueil le château de la Petite

Le tracé des tunnels de l'A86 Ouest



Malmaison, qui fût l'orangerie de l'impératrice Joséphine. Il poursuit son trajet au cœur des forêts domaniales de la Malmaison et de Fausses Reposes, où l'on trouve le pavillon de chasse de Louis XV, le bois de Saint Cucufa, le bois de Pont Colbert, se faufilant entre golfs, haras, ou arbo-retum. Depuis trente ans que l'A.86 était inscrite dans les schémas directeurs de l'Ile de France, aucune solution n'avait été trouvée jusqu'à sa déclaration d'utilité publique en décembre 1995.

La seule façon de préserver l'environnement exceptionnel de cette région était la liaison entièrement souterraine. Le coût d'un tel ouvrage est environ dix fois plus élevé qu'une autoroute en surface. Aussi, pour financer de tels projets à la fin des années 80, l'État a eu recours à la concession et au principe du péage : Rien à la charge de l'État, rien à la charge des contribuables. C'est l'usager qui paiera pour l'infrastructure qu'il utilisera.

Avec l'apparition des tunneliers de grand diamètre capables de forer en grande profondeur, Cofiroute (1), dont les sociétés de travaux publics actionnaires ont acquis une expé-

rience dans ce domaine, propose un projet en 1988. Ce principe est retenu pour le bouclage de l'A.86 en tunnel. L'État lui concède cette liaison pour soixante-dix ans. Le droit de passage payé par l'utilisateur permettra alors à Cofiroute d'en assurer l'exploitation conformément au contrat qui la lie à l'État, et de rembourser ainsi les emprunts contractés.

Un concept unique au monde

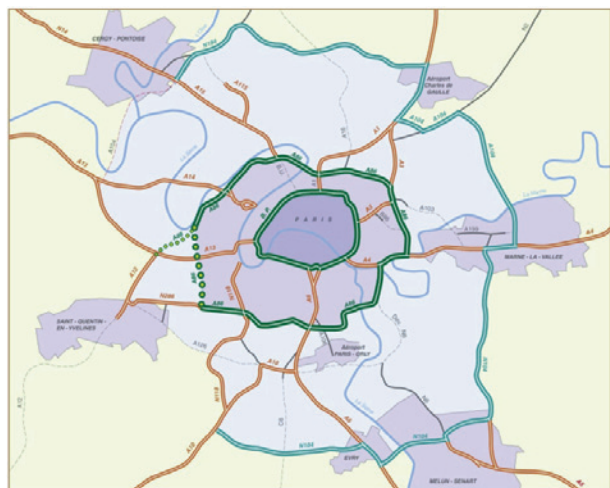
À partir de Rueil, ce n'est pas un mais deux tunnels qui seront construits. Les deux entrées contiguës sépareront le trafic Poids Lourds, qui ne pourra emprunter que le tunnel Ouest.

Le tunnel Est, long de 10,5 km, se raccordera à l'A.86 au sud de Versailles, à Pont Colbert, où l'on construira un échangeur. Un autre point d'échanges sera construit à Vaucresson, à mi-parcours, à l'intersection avec l'autoroute de Normandie (A.13). Celui-ci sera en grande partie enterré.

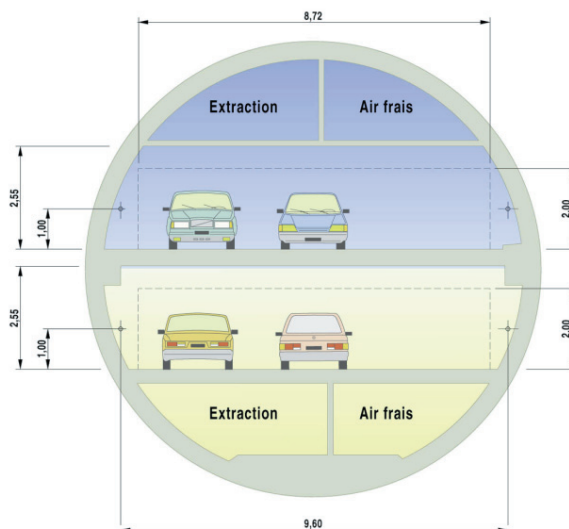
Dans ce tunnel de 10,40 m de diamètre intérieur, la circulation se fera

Dans ce tunnel de 10,40 m de diamètre intérieur, la circulation se fera sur deux niveaux indépendants et étanches - trois voies en direction de Versailles au niveau inférieur, trois voies vers Rueil sur le niveau supérieur. Il sera exclusivement réservé aux véhicules légers. Chaque niveau est séparé en deux espaces, l'un pour le trafic, l'autre pour la ventilation.

Les tunnels de l'A86 Ouest en Ile-de-France



Le tunnel Est - Coupe type



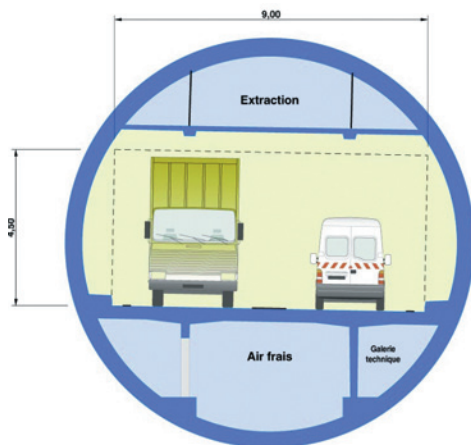
sur deux niveaux indépendants et étanches – trois voies en direction de Versailles au niveau inférieur, trois voies vers Rueil sur le niveau supérieur. Il sera exclusivement réservé aux véhicules légers. Chaque niveau est séparé en deux espaces, l'un pour le trafic, l'autre pour la ventilation. Des puits implantés tous les 1200 m environ relieront le tunnel à la surface, pour l'accès des secours. Ils serviront également de prises d'air frais, ou d'extraction de l'air vicié. À l'intérieur du tunnel, des niches de sécurité, disposées tous les 200 m, seront associées à des refuges plus importants, pressurisés, et équipés d'escaliers pour communiquer d'un niveau de circulation à l'autre.

Le tunnel Ouest, «tous trafics», sera de conception plus classique, avec une circulation bidirectionnelle à une voie dans chaque sens. De plus grand diamètre intérieur (10,90 m), il acceptera des véhicules dont la hauteur pourra atteindre 4,50 m. D'un profil en long en pente douce, il sera relié à la surface par deux puits d'accès de secours et de ventilation. Ce tunnel, long de 7,5 km, et accessible à tous les véhicules, atteindra l'autoroute A.12 au sud du triangle de Rocquencourt près de St Cyr l'École. Le raccordement qui sera construit à cet endroit, sur la commune de Bailly, permettra au trafic de rejoindre un peu plus loin la R.N.286.

Projet optimisé

Les caractéristiques des tracés retenus correspondent à une vitesse de référence de 80 km/h.

Le tunnel Ouest - Section type sur refuge



Le diamètre intérieur du tunnel «VL» a été défini à partir des gabarits routiers calés sur la «ligne rouge», et de la tolérance globale de construction qui a été évaluée à ± 105 mm. La valeur retenue pour le diamètre est de 10,40 m. Elle inclut cette marge de manœuvre de 105 mm.

C'est ainsi que sur les 10 133 m du tunnel Est «VL» (véhicules légers), les rayons de courbure moyens en plan seront de 3300 m, avec des minima de 800 m. En profil en long, les rampes seront comprises entre 0,5 % et 4,5 %, et ses rayons ne pourront être inférieurs à 3000 m – alors que les pentes du tunnel ouest, qui pourra être emprunté par tous types de véhicules, n'excéderont pas 2%. Sur ses 7632 m, les rayons de courbure ne seront pas inférieurs à 900 m en plan, et à 3000 m en profil.

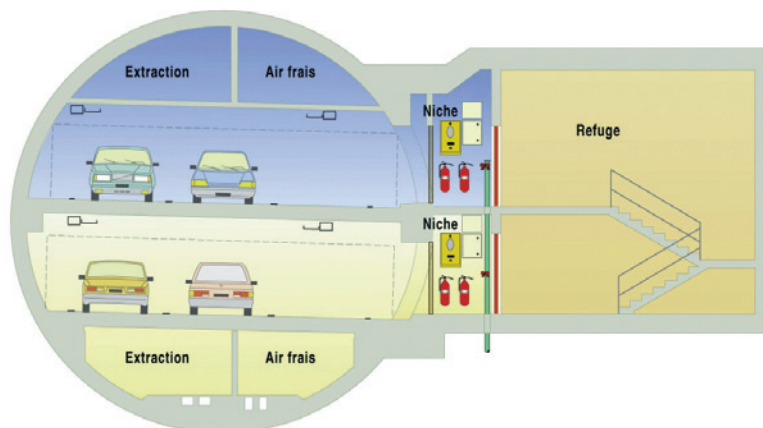
Le diamètre intérieur du tunnel «VL» a été défini à partir des gabarits routiers calés sur la «ligne rouge», et de la tolérance globale de construction qui a été évaluée à ± 105 mm. La valeur retenue pour le diamètre est de 10,40 m. Elle inclut cette marge de manœuvre de 105 mm. Ce qui signifie que le parement du tunnel ne devra en aucun cas se trouver à plus de 105 mm de sa position prévue, faute de quoi nous serions obligés de modifier le tracé, ou de casser... ce qui n'est pas prévu. Évaluée en fonction des retours d'expérience acquise sur les chantiers de tunnels précédents, ce jeu de fonctionnement indispensable combine toutes les

erreurs accidentelles inhérentes aux différentes phases des travaux de topographie, de foration, de pose des voussoirs, de déformation des anneaux. C'est une contrainte importante pour tous les acteurs de la construction, qui devront composer, chacun avec la tolérance qui lui a été allouée (celle réservée à la topographie est de 20 mm). Mais pourquoi donc se pénaliser avec de telles spécifications me direz-vous? Le coût des travaux souterrains est beaucoup plus élevé que ceux exécutés en surface. On peut dire que le prix du cm supplémentaire sur le rayon du tunnel représente un pourcentage non négligeable du coût du projet, et qu'il est certainement comparable à la variation de section qu'il entraîne. Ce qui explique cette tolérance calculée au plus juste.

Les travaux redémarrent

Après un faux départ en 1997, les travaux avaient été stoppés le 20 février 1998 par le Conseil d'État pour non respect par le gouvernement d'une directive européenne relative à la concurrence – le chantier du bouclage de

Le tunnel Est - L'intervention des secours Deux tunnels indépendants reliés tous les 200 mètres

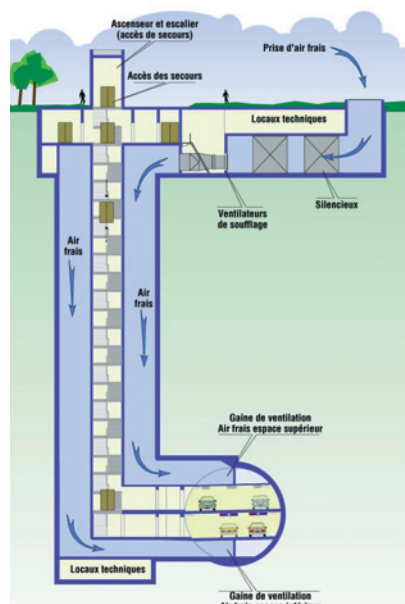


l'A.86 à l'Ouest est de nouveau en cours. Après un appel d'offres européen, l'État a choisi le 3 septembre 1999 la société COFIROUTE pour financer, concevoir, construire et exploiter pendant 70 ans l'autoroute A.86. À son tour, le 22 décembre 1999, COFIROUTE a confié à SOCATOP (2) la conception et la construction clé en main de l'ouvrage pour un montant forfaitaire de 10,4 milliards de Francs T.T.C.

C'est le chantier de travaux publics le plus important actuellement en Europe. Pour réaliser ce projet, les entreprises associées de Socatop (3) ont réuni leurs moyens humains, techniques et financiers.

La première tranche du contrat de travaux est la liaison en tunnel Rueil-Malmaison-A.13 de 4,5 km qui sera creusé de Rueil vers l'autoroute A.13. Les quatre puits de secours et de ventilation associés seront réalisés en parallèle. Nous évoquerons principalement cette partie dont les travaux sont commencés depuis peu (le tunnelier a débuté la foration fin novembre 2000). Dans un deuxième temps, lorsque le percement sera effectué à Vaucresson, le tunnelier sera démantelé pour être remonté sur une plate-forme préparée à cet effet sur l'échangeur de Pont-Colbert, près de Versailles. Il repartira de là en sens inverse pour forer et construire les 5,5 km qui le séparent de l'A.13.

Le tunnels Est - la ventilation Principe d'une unité d'air frais



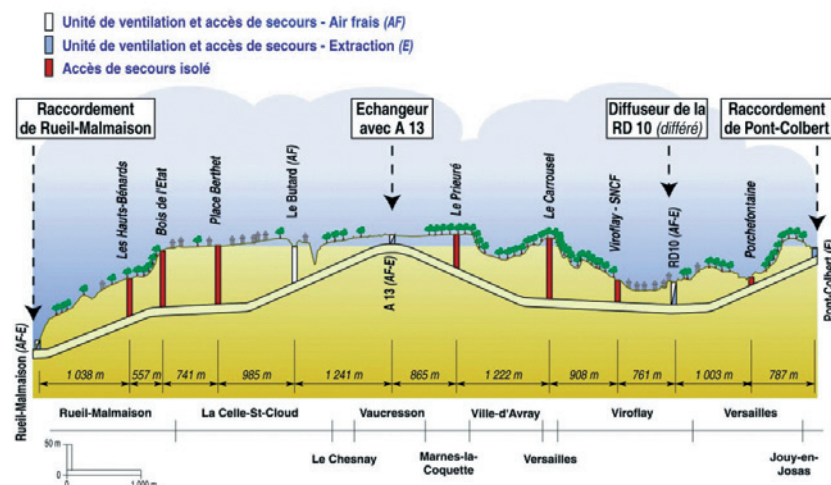
Car non seulement le tunnelier fore, extrait les déblais par une vis d'Archimède, les évacue, mais il a la particularité de poser le revêtement en continu à l'avancement. C'est toujours «une formule 1 à six roues» qui est construite spécialement pour chaque projet, en fonction de la géologie locale.

Le tunnel ouest se fera ensuite. Les dates de mise en service prévues sont 2004 pour Rueil-Vaucresson, 2006 pour le bouclage jusqu'à Versailles, et 2008 pour le tronçon Rueil - Bailly (A.12).

En 1997, pendant que la société Herrenknecht fabriquait le tunnelier en Allemagne, et que les archéologues terminaient leurs fouilles au pied de la colline de la Jonchère à Rueil, les terrassiers préparaient l'emplacement de la future unité de ventilation, et la construction du berceau de la «taupe» à l'abri d'une paroi moulée de 35 m de hauteur. C'est en effet dans ce site du paléolithique où nos ancêtres traquaient les chevaux sauvages, les cerfs et les sangliers, que l'on a posé et assemblé les morceaux métalliques du monstre de 1400 tonnes. Pour reconstituer ce cylindre de 12 m de long et de 11,60 m de diamètre, les pièces du puzzle d'un poids de 40 à 145 t ont été acheminées par voie d'eau : Rhin et Seine jusqu'au port de Gennevilliers, puis A.86 existante jusqu'au chantier. C'est également par la Seine, en bordure de laquelle se trouve le chantier à Rueil, que les voussoirs en béton armé arrivent.

Fabriqués près de Lyon, dans l'usine de préfabrication utilisée pour la construction des tunnels sous Caluire pour le Boulevard Périphérique Nord de Lyon, ces éléments de 10 tonnes fabriqués avec des tolérances de 2 mm, sont chargés sur des trains pour être repris par péniches à Gennevilliers. Stockés sur notre site, puis acheminés jusqu'au tunnelier par groupe de huit, il seront montés dans la jupe du tunnelier pour former un anneau du tunnel de 2 m de longueur. Car non seulement le tunnelier fore, extrait les déblais par une vis d'Archimède, les évacue, mais il a la particularité de poser le revêtement en continu à l'avancement. C'est toujours «une formule 1 à six roues» qui est construite spécialement pour chaque projet, en fonction de la géologie locale. Dans les terrains présentant une bonne cohésion, la machine idéale est un tunnelier «à pression de terre», capable d'évacuer les déblais sur un convoyeur à bande. Alors que dans les terrains instables ou noyés tels que les sables de Fontainebleau, c'est un tunnelier «à pression de boue» qu'il faut, pour assurer la stabilité du front devant la machine, par injection d'une boue bentonitique maintenue sous pression par l'inter-

Le tunnels Est - Profil en long et implantation des émergences



médiaire d'une bulle d'air comprimé. Dans ce cas, on évacuera les déblais par tuyauteries et par pompage.

Ici, les sondages géologiques effectués tous les 500 à 1000 m le long du tracé ont révélé une superposition de couches caractéristiques du Bassin Parisien, tantôt dures, calcaires et marno-calcaires, tantôt argileuses telles les marnes à huîtres, ou supergypseuses, argile verte ou plastique. C'est donc pour la première fois un tunnelier mixte qui a été conçu. Pour s'adapter aux différentes couches traversées, il peut passer du mode «pression de terre» au mode «pression de boue», et ajuster le confinement du terrain devant la roue de coupe pour éviter tout tassement en surface.

La vigilance des topographes

Sur de tels ouvrages linéaires, le topographe a un rôle important à jouer, car l'espace en souterrain est compté. En effet, une augmentation d'un centimètre seulement dans le dimensionnement du rayon du tunnel n'entraîne-t-elle pas une augmentation de section de 0,364 m² pour le tunnel «VL»? soit 3822 m³ de déblais supplémentaires, de béton, d'armatures, un tunnelier et des moules à voussoirs plus grands, des études supplémentaires, etc... c'est-à-dire peut-être 3,5 pour mille du coût global du tunnel ! Soit, méfions-nous des extrapolations, mais on comprend bien que le cm coûte cher, et que de ce fait, les dimensions de l'ouvrage

ont été calculées au plus juste, avec des tolérances très fines (± 5 mm sur certaines structures internes).

Ce qui conduit le topographe à élaborer les méthodes les mieux adaptées, non seulement pour ses activités propres, mais pour chacune des phases de la construction :

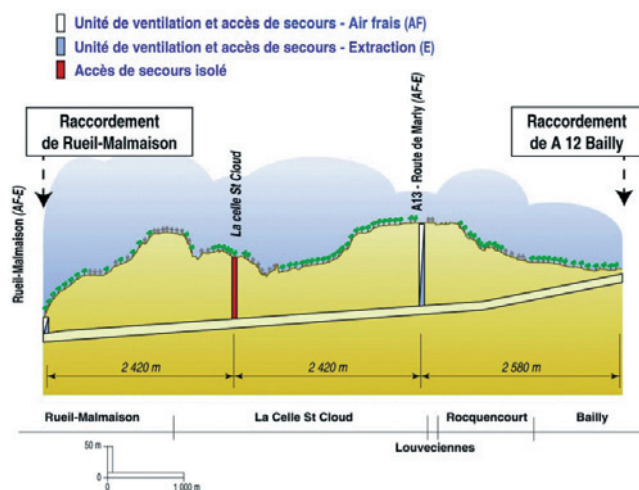
- Guider la machine au plus près de sa route théorique - la «ligne rouge» - de façon à construire le revêtement dans des tolérances géométriques imposées, et à ce que les gabarits, calés sur cette ligne, puissent passer sans se frotter au revêtement... (On sait que la machine ne peut pas reculer, puisqu'elle s'appuie pour avancer sur les anneaux qu'elle met en place),
 - Implanter en surface les ouvrages prévus sur le tracé, et dont les équipements sont liés fonctionnellement avec le tunnel,
 - «Surveiller» toutes les déformations d'ouvrages et du bâti existant en surface, afin de prévenir les désordres éventuels qui pourraient être provoqués par le creusement,
 - Enfin, assurer, après plusieurs kilomètres de foration, un percement «dans le mille», c'est-à-dire au centre de la réservation laissée pour l'arrivée du tunnelier. Le «jeu» prévu dans le tympan correspond souvent à la tolérance de construction imposée tout au long du tracé. Elle est souvent très petite au regard de sa longueur ($\pm 0,10$ m / 4500 m, soit $2,2 \cdot 10^{-5}$).
- Pour le topographe, la tâche est éprouvante, parfois angoissante, d'autant qu'à l'optimisation des dimensions d'ouvrages, on optimise

également le personnel. Disposant de moyens de plus en plus automatisés, il dialogue plus souvent avec ses automates qu'avec l'équipe - elle aussi réduite - qui travaille sur le chantier, ce qui l'oblige à une vigilance de tous les instants.

Néanmoins, les grands projets, trop rares en ce moment en France, sont une chance pour ceux qui peuvent y participer, car les niveaux de qualité requis dans tous les domaines, obligent à se surpasser. Pour atteindre avec succès ces objectifs, on sait qu'il faut mettre en place un canevas d'appui précis sur les dix kilomètres du tunnel «V.L.», où l'on construira des unités de ventilation à chacune des extrémités et au point d'échanges avec l'A.13, deux unités de ventilation intermédiaires, et des puits de secours tous les 1200 m en moyenne, soit douze ouvrages profonds. Pour des raisons de délai, les travaux démarrent toujours sur plusieurs ouvrages simultanément, et notamment aux extrémités du projet. Malheureusement pour le topographe, il est rare de pouvoir utiliser une liaison avec la surface suffisamment à temps pour fermer et contrôler un cheminement en tunnel. Ces travaux annexes, planifiés sur une durée assez longue, se terminent souvent après la sortie du tunnelier. Il est donc indispensable de réaliser des implantations précises dès le départ, car si les diamètres des tunnels sont optimisés, ceux des puits le sont également. Par exemple, l'écart maximal tolérable en plan entre la position des puits (actuellement en construction) et le tunnel qui n'est pas encore fait dans ces zones n'est que de 5 cm.

- Mettre en place des références «solides» en tunnel, en nombre suffisant pour pouvoir réaliser des che-

Le tunnels Ouest - Profil en long et implantation des émergences



Tunnelier au crépuscule

minements de contrôle indépendants, et pour disposer d'observations en surnombre pour compenser les figures fermées.

- Bien connaître la géométrie de la machine, après avoir matérialisé ses axes, et positionner des points fixes par rapport à ses axes (6 petits réflecteurs à prismes ont été fixés de chaque côté du bouclier).

Des opérations bien maîtrisées

. Pour réussir un tel challenge, il est indispensable de mettre en place un système qualité efficace, capable de filtrer toutes les fautes. A partir de spécifications élaborées par la Maîtrise d'Œuvre, le secteur Travaux édite des procédures pour chaque phase de travail. La Maîtrise d'Œuvre tient ainsi le rôle de guide et de veilleur pour que le secteur Travaux puisse se consacrer pleinement à la production. Sur ce projet, cette Maîtrise d'Œuvre est dite «intégrée», puisque constituée de professionnels provenant des mêmes sociétés que celles dont est issu le personnel «Travaux», et qui forment le groupement Socatop, chargé de la conception et de la construction. La connaissance des hommes et des travaux auxquels ils ont participé sur des projets précédents, facilite le contact et le dialogue. Pour cette raison, elle est probablement plus rigoureuse qu'une Maîtrise d'Œuvre traditionnelle, car elle connaît bien les écueils à éviter. Plus qu'un contrôle extérieur, elle peut appréhender les difficultés à l'avance, les évaluer, prévenir et aider le secteur travaux : Équipée d'instruments efficaces (tachéomètre électronique pouvant travailler sans réflecteur jusqu'à 200 m, théodolite et distancemètre de précision, gyrothéodolite, niveau numérique), ses vérifications sur site complètent les opérations de l'équipe topographique du secteur travaux.

Enfin, l'utilisation intensive de l'Intranet de la société facilite les échanges de documents entre les différents secteurs.

Une toile de précision

- En surface, le canevas d'appui est matérialisé, pour la planimétrie, par des piliers en béton armé équipés de supports pour le centrage des instruments - trois par puits, cinq ou six par échangeur - Leurs coordonnées sont déterminées par G.P.S. La précision requise est de ± 4 mm. Les repères de l'I.G.N. seront utilisés pour l'orientation de la figure aux extrémités du projet.

Des opérations de contrôle seront effectuées par méthode traditionnelle : cheminements polygonaux pour relier les repères, plutôt qu'une triangulation difficile à réaliser dans cette région boisée. Quinze kilomètres de cheminements de nivellement de précision ont déjà été faits pour relier les repères du N.G.F. et ceux scellés sur les piliers sur le premier tronçon du tunnel.

Un guidage en douceur

Le guidage du tunnelier se fait à partir d'un cheminement polygonal réalisé à l'avancement à l'arrière du train suiveur, et mesuré avec un tachéomètre de précision, stationné sur des consoles métalliques vissées sur le revêtement. Pour le premier tronçon de 4,5 km, deux cheminements indépendants et croisés, dont les côtés sont de l'ordre de 250 m serviront d'appui pour guider la machine. L'orientation en début de cheminement pourra se faire à l'extérieur, dans l'emprise du chantier de Rueil, sur les points I.G.N. connus, puis la polygonale empruntera la descente qui sert d'accès aux tunnels. Des repères de nivellement scellés tous les 50 m dans le revêtement serviront de références pour l'altimétrie. L'entrée des tunnels se trouve au pied

de la paroi moulée haute de 35m qui retient la colline. C'est à cet endroit que sera construit une des unités de ventilation. Quand on pénètre à l'intérieur du tunnel, on est surpris par son important diamètre. Cet espace est rapidement comblé par les différents ateliers de construction : celui de la dalle inférieure, dont les éléments préfabriqués sur le chantier sont ajustés et réglés en altitude dans une tolérance de $\pm 3,5$ mm, avant d'être clavés, car c'est sur cette dalle de 30 cm d'épaisseur, que les différentes couches formant la chaussée de 55 mm seront appliquées. Nous rencontrerons plus loin les ateliers de construction des niches et escaliers de transfert tous les 200 m, puis enfin nous arriverons à l'arrière de ce train de 170 m de long, où la polygonale devra se faufiler pour atteindre le bouclier. Là, depuis la console la plus proche du front, un tachéomètre motorisé vidéo-asservi travaille seul, en permanence, puisque les équipes de construction font les trois postes. Il fait ses visées sur trois des six réflecteurs fixés sur l'avant de la machine, reprend parfois sa référence arrière. Pas de câble de liaison avec le train. Les lectures sont transmises par radio jusqu'à l'ordinateur situé dans la cabine du tunnelier. Traitées par le logiciel de D.&PS (5), on peut lire en temps réel sur l'écran la position de la machine par rapport au tracé : en plan, en profil en long, son P.M. (point métrique), sa tendance, son roulis, son lacet, son tangage. Toutes ces informations ainsi que bien d'autres concernant la machine, sont transmises dans les bureaux du chantier par câble.

Le tunnelier possède également son propre système de positionnement par rapport au dernier anneau posé, qui utilise la mesure automatique des élongations de vérins : En effet, le système C.A.P. (4) gère de nombreux paramètres. Il a par exemple la particularité de prendre en compte la pression des terrains devant la roue de coupe et de diriger sa trajectoire

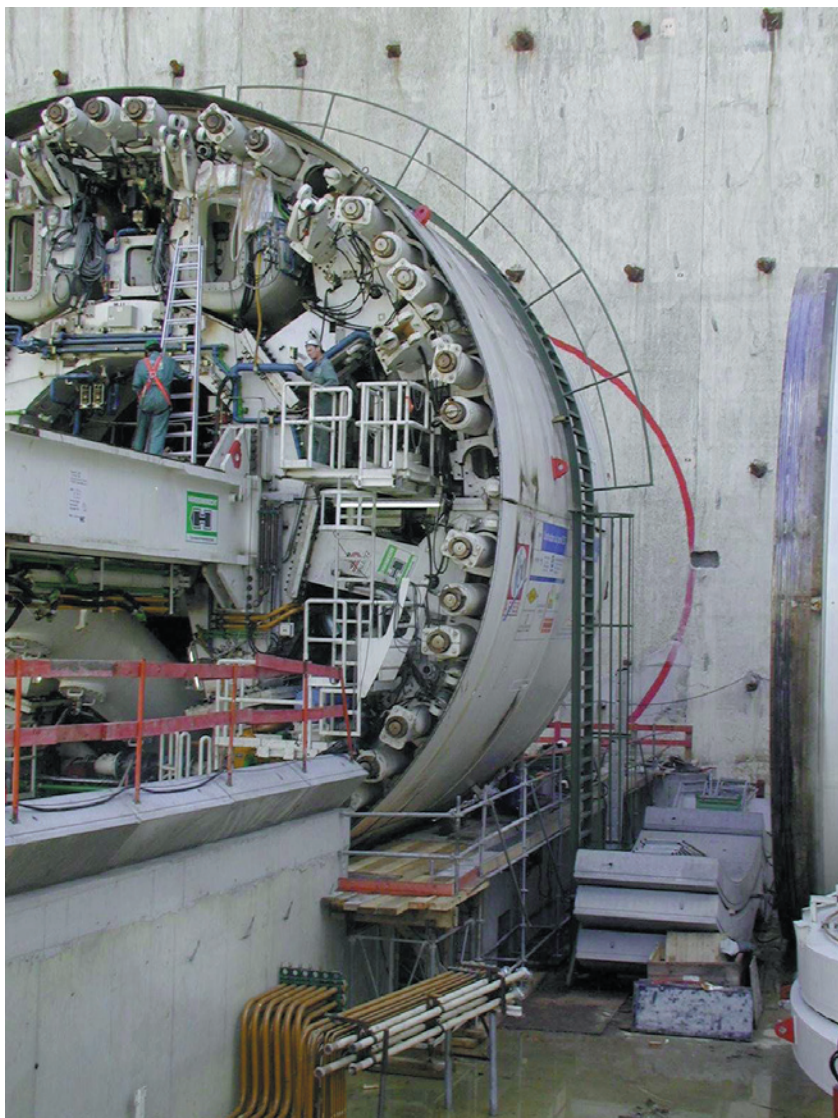
Pour le topographe, la tâche est éprouvante, parfois angoissante, d'autant qu'à l'optimisation des dimensions d'ouvrages, on optimise également le personnel. Disposant de moyens de plus en plus automatisés, il dialogue plus souvent avec ses automates qu'avec l'équipe - elle aussi réduite - qui travaille sur le chantier, ce qui l'oblige à une vigilance de tous les instants.

en répartissant la pression linéairement dans ses 14 groupes de 3 vérins de poussée – pour progresser en souplesse, sans casser les voussoirs sur lesquels il s'appuie pour avancer. Avec 15 252 t de poussée totale, il vaut mieux doser sa force... Une des deux imprimantes connectées à l'ordinateur situé dans les bureaux de chantier édite automatiquement un «rapport géomètre» parmi d'autres documents relatifs aux pressions, vitesses de la roue de coupe, etc... C'est ainsi que nous pouvons suivre en temps réel la progression de la machine. Le système de suivi automatique cité précédemment a été également utilisé pour enregistrer les variations altimétriques des anneaux dès leur pose, et pour ausculter la paroi moulée et le bâti de poussée utilisé pendant le démarrage du tunnelier.

L'imprécision due à la conduite du tunnelier est limitée à 55 mm. En fonction de l'attitude que la machine a dans l'espace, le système CAP définit une trajectoire de rattrapage, à laquelle est associée une suite d'anneaux capables d'être montés dans la jupe du tunnelier pour suivre la trajectoire calculée et revenir progressivement vers la route théorique.

Un ouvrage suivi de très près

Derrière le train, lorsque les anneaux bloqués au terrain par le mortier de bourrage sont stabilisés, les topographes procèdent au levé du revêtement à l'aide d'un tachéomètre électronique sans réflecteur. Un profil en travers est mesuré tous les 10 m en moyenne. Les écarts en chaque point de l'anneau entre la position réelle et la position théorique du diamètre de 10,40 m sont affichés immédiatement et enregistrés. Le programme utilisé est le «Profil». Les fichiers obtenus sont repris sous autocad afin d'obtenir la présentation souhaitée : édition des profils à l'échelle, dans un format A3 sur lequel apparaît différents renseignements et détails agrandis (rayon du plus grand cercle inscriptible dans l'anneau mesuré et position du centre par rapport à l'axe théorique du tunnel, écarts résiduels aux angles des gabarits routiers, sections de ventilation).



Vue du bouclier en cours de montage.

Les déformations du tunnel à long terme sont également suivies, afin de vérifier que les hypothèses retenues pour le dimensionnement sont bonnes. Quelques anneaux judicieusement choisis en fonction des terrains traversés, sont instrumentés pour mesurer la convergence de l'ouvrage (une dizaine de sections sur les premiers 4,5 km). Les plots choisis et scellés à raison de 8 par auréole, sont ceux du Cete de Lyon, qui permettent à la fois une mesure classique au fil d'invar, et une mesure sans contact. En effet, les cordes pourront être mesurées à 0,2 mm près au distancemètre à fil d'invar DO1 du Cete de Lyon (résolution 0,1mm), mais également par visées optiques à l'aide d'un tachéomètre électronique, le pointé étant fait sur cibles rétro – réfléchissantes. L'expérience montre dans ce cas

que la précision obtenue sur la longueur de la corde est de $\pm 0,5$ mm - le point de mesure étant le même quelle que soit la méthode utilisée - Enfin, les zones sensibles, telles les parois de grande hauteur, sont auscultées en continu selon le programme «autosurv» de D&PS : Un tachéomètre stationné sur un pilier protégé des intempéries effectue des pointés en permanence sur une série de prismes fixés sur la paroi à moins de 200 m. Les lectures sont transmises par radio et enregistrées dans un ordinateur jour et nuit (au poste de garde du chantier). Dès que les écarts atteignent une tolérance fixée a priori, un signal est émis et permet de prévenir le topographe. Le suivi géométrique de la paroi sous forme de graphiques est mis à jour par le topographe et transmis par intranet (Lotus Notes).

Le personnel concerné peut consulter le suivi de l'auscultation de la paroi à tout moment, quel que soit son lieu de travail.

L'environnement préservé pendant les travaux

Deux millions de m³ de déblais seront extraits des tunnels. Pour le premier tronçon en cours, ils sont évacués par voie fluviale, à partir du quai aménagé en Seine dans l'emprise du chantier, vers des décharges agréées. Aucun camion, aucune traversée de routes pour ce premier tronçon de tunnel.

Des protections phoniques ont été créées ponctuellement pour remédier à la gêne occasionnée par les travaux en surface aux deux extrémités, à Rueil et à Vaucresson.

Les eaux de ruissellement sont traitées dans des bassins de rétention avant rejet en Seine. La qualité des eaux, contrôlée régulièrement, est au moins équivalente à celle du milieu dans lequel elles sont rejetées.

Les emprises ont été réduites au maximum pour éviter l'abattage d'arbres. Ces espaces, souvent isolés des zones riveraines par des modelés de terre seront replantés. Les puits de secours seront noyés dans la verdure, et les quelques émergences des bâtiments techniques seront masquées par la végétation. Au total, 5000 arbres seront replantés dans la zone de l'échangeur avec l'autoroute A.13.

La sécurité bénéficiera elle aussi des dernières avancées technologiques

Dès leur conception, les tunnels ont intégré un haut niveau de sécurité. Tout d'abord, la vitesse y sera limitée à 70 km/h et contrôlée.

Ensuite, le système «Diva» (Détection Immédiate de Véhicules Arrêtés) a été prévu pour localiser, identifier, et enregistrer en moins de 10 secondes tout ralentissement anormal ou arrêt d'un véhicule. Avec ses 350 caméras, il complètera les moyens de détection automatique d'incendie, d'oxyde de carbone, et les opacimètres. Le signal émis par les caméras est numérisé par un processeur qui analyse les mouvements des pixels, et fournit des alarmes pour chaque type d'incident. Mis au point avec l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (Inrets), ce système a montré dans des voiries souterraines existantes un taux de détection supérieur à 99,8%. Moins d'une minute suffira ensuite pour activer les panneaux d'information lumineux, diffuser des messages sur la bande FM des autoradios et déclencher éventuellement les signaux de neutralisation de voies.

En cas de danger, les automobilistes disposeront tous les 200 m de niches de sécurité équipées d'un matériel de lutte contre l'incendie, et d'un téléphone relié au poste de surveillance. Les refuges étanches pourront accueillir jusqu'à 50 personnes. Ils seront pressurisés et placés sous vidéo-surveillance. La liaison sera possible entre les deux niveaux de circulation du tunnel Est par un escalier de transfert. Enfin, les accès de secours disposés en surface tous les 1200 m faciliteront l'accès direct au tunnel par ascenseur et escaliers.

Le cahier des charges a d'ailleurs été défini par les pompiers, les CRS, et le Samu. Dès 1991, une commission interministérielle de sécurité réunissant soixante experts (responsables nationaux et départementaux des services de secours, et centre d'études des tunnels), a évalué la faisabilité du tunnel. Après plusieurs mois d'études, d'enquête et de rapports, cette commission a validé les choix qui ont été faits.

Suite à l'accident du tunnel sous le Mont Blanc, la circulaire interministérielle du 25 août 2000 fixant les conditions techniques relatives à la

sécurité dans les tunnels a été publiée, et le Projet a dû faire l'objet d'une nouvelle instruction. Suite à l'avis du comité d'évaluation de la sécurité dans les tunnels routiers, le Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement a approuvé le 2 avril 2001 les dispositions liées au génie civil du premier tronçon du tunnel Est.

Un ouvrage qui pourrait devenir une référence...

L'ampleur du chantier, la proximité de la capitale, la pression des associations de riverains et de défense de l'environnement, contribueront sans nul doute à ce que ce projet devienne l'un des plus perfectionnés et des plus réussis en matière de sécurité, de qualité de construction et d'environnement. Pour s'en convaincre, s'il en était besoin, il suffit d'aller à Rueil, visiter le centre d'exposition de Cofiroute et sa maquette du tunnel Est en vraie grandeur.

D'un point de vue topographique, il est trop tôt - seulement 380 mètres de réalisés sur 17 km - pour aller dans le détail des méthodes utilisées. Au cours de ces sept années de construction, il y aura certainement matière pour qu'un topographe puisse exposer quelques méthodes spécifiques développées sur ce projet. ●

Références

- (1) Cofiroute : Compagnie Financière et Industrielle des Autoroutes
- (2) : Société de Construction de l'Autoroute de Traversée de l'Ouest Parisien
- (3) : CAMPENON BERNARD SGE, COLAS, DUMEZ GTM, EIFFAGE, GTM CONSTRUCTION, JEAN LEFEBVRE
- (4) : Conception d'Automates de Pilotage de tunnelier
- (5) : Driving & Positioning Systems

En cas de danger, les automobilistes disposeront tous les 200 m de niches de sécurité équipées d'un matériel de lutte contre l'incendie, et d'un téléphone relié au poste de surveillance. Les refuges étanches pourront accueillir jusqu'à 50 personnes. Ils seront pressurisés et placés sous vidéo-surveillance.

Grand succès pour le GEO EVENEMENT 2001

**Rendez-vous pour la prochaine édition
du 9 au 11 avril 2002 Au Palais
des congrès - Paris (porte Maillot)
Un taux de fréquentation
en progression de 17 % avec
37000 visiteurs
Triomphe des projets tournés
vers la défense de l'environnement
pour la première édition des Géo d'Or**

La 13^e édition de GEO EVENEMENT, qui se déroulait du 24 au 26 avril, reflète le dynamisme d'un secteur en pleine croissance, les applications de la géomatique, secteur évalué à environ 2 milliards de francs et en croissance de 15% par an en France, sont aujourd'hui au cœur de réalisations critiques dans des secteurs très concurrentiels comme les télécommunications, la banque, l'assurance, l'agriculture, la logistique ou encore des secteurs où la sécurité est prédominante comme l'environnement, l'urbanisme, ...

Ce rendez-vous annuel européen, devenu incontournable pour les professionnels de la géomatique (éditeur de logiciels, fournisseurs de matériel, éditeurs de données) et les utilisateurs, a mis en évidence l'impact croissant de la géomatique dans notre quotidien et ce dans le cadre d'applications variées. Au cours de ces journées, il a été ainsi possible de constater l'importance du rôle joué par les systèmes d'informations géographiques (SIG) dans la prévention et la gestion des risques majeurs, dans les applications de géomarketing, de géolocalisation,...

Le salon qui accueillait cette année plus de 80 exposants (en croissance de 30%) pour la plupart d'envergure internationale, a observé une croissance de 17% du visitorat avec plus de 3700 personnes de multiples nationalités qui se sont rendues sur le salon. Les 43 conférences ont également connues un grand succès avec plus de 320 auditeurs présents.

L'année prochaine, Le GEO EVENEMENT 2002, se tiendra du 9 au 11 avril 2002 au Palais des congrès - Paris.



Première édition des « Géo d'Or »

Douze projets étaient en compétition pour la première édition de ce concours placé sous le signe de la citoyenneté (ou comment la géomatique se met au service de la cité). Le jury - présidé par Jean-Christophe Victor, professeur de géopolitique à l'école de Guerre, auteur et animateur de l'émission «Le dessous des cartes» sur Arte - a sélectionné les trois réalisations les plus innovantes. Un prix spécial a également été décerné par le public. Les trophées ont été remis officiellement aux lauréats, sur le salon le 25 avril.

Lauréats des Géo d'Or

- **Premier prix remis à Hélène Durand, société Alisé :**
Suivi cartographique sur le Web, de la pollution liée au naufrage de l'Erika
- **Deuxième prix remis à Pierre Vigne, CETE Normandie Centre :**
SIG littoral Manche Atlantique (mise en place d'un site internet de diffusion des données)
- **Troisième prix remis à Marc Leobet, ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement :**
DCSnet : publication des cartes de risque au 1:25 000 sur internet
- **Prix du public décerné à Adhoc Solutions :**
Des cartes sur Internet pour une consultation démocratique à Bruxelles

Vous pouvez consulter l'ensemble des projets soumis et obtenir les coordonnées des différents interlocuteurs à l'adresse suivante :
http://www.geo-evenement.com/geo_dor/nomine.html

Utilisation des photographies aériennes et d'un SIG lors d'Enschède (Pays-Bas)

*Texte de Drs. Paul Hofstee,
urbaniste à l'Institut
international de levés
aérospatiaux et sciences de la
Terre (ITC) Enschede - Pays-Bas
et de Jean Tariel (ITC)
Ingénieur topographe ESGT*

La catastrophe

Le 13 mai 2000, peu après 15h30, l'explosion d'un entrepôt de feux d'artifices, situé en zone urbaine, a causé sur plus d'1 km², la ruine d'un quartier d'habitation abritant quelque 5.300 personnes dont 22' furent tuées et plus de 900' blessées.

Au moins 400 maisons furent détruites ou irréparablement endommagées.

Le matériel (évalué à 177 tonnes¹) était conservé dans une casemate de béton, des cadres de transport maritime et des conteneurs de plus petites dimensions.

¹ Commissie Onderzoek Vuurwerkkramp.

hies aériennes, des cartes de la catastrophe



Mosaïque de deux photographies.
Pour les nécessités de l'enquête,
le site de l'explosion et ses alentours
immédiats ont été ceinturés par un
rideau de polyéthylène visible sur
l'image.

Date : 23 mai 2000

Echelle originale : 1/1 000

La demande d'imagerie aérienne

Les journaux et les magazines, les stations de télévision et des milliers d'internautes ont immédiatement montré un vif intérêt pour toute imagerie aérienne couvrant la zone, faite avant et après l'explosion.

Sur Internet les réactions furent extrêmement rapides. Quelques heures après la catastrophe des sites virent le jour avec liaisons vers d'autres sites fournissant des plans et des photographies aériennes de la ville. Il est toujours possible de consulter le site : [<http://www.itc.nl/~hofstee/firework.html>], parmi d'autres.

Afin d'éviter un «tourisme de catastrophe» par la voie des airs (au sol un vaste périmètre de sécurité fut très rapidement mis en place) le survol du secteur a été sévèrement réglementé pendant quelques semaines. Pour les besoins des autorités municipales et des services de secours, les premières photographies aériennes de la zone sinistrée ont été faites par la police du service de la navigation aérienne (Politie Luchtvaartdienst) dès le lendemain matin

de l'explosion; certaines de ces photographies ont été publiées par la presse trois semaines plus tard.

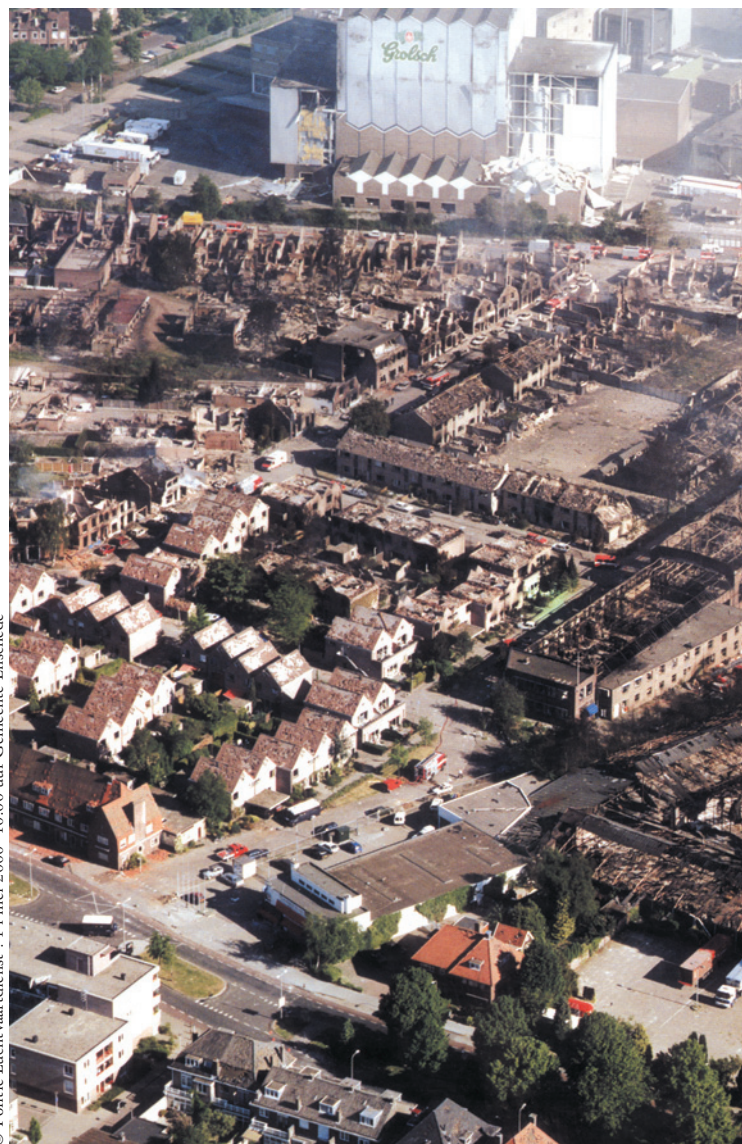
Parmi les images aériennes les plus récentes, les suivantes étaient disponibles :

- photographies verticales en couleurs à l'échelle de 1/10 000, du 3 Avril 2000. Ces photographies sont faites tous les 2 ans à la demande de la municipalité pour la gestion de l'espace ;
- images spatiales Ikonos panchromatiques et multispectrales de résolutions respectives d'1m et de 4m, du 5 avril 2000, faites à la demande de l'ITC pour des travaux de recherche ;
- photographies verticales en noir et blanc, à l'échelle de 1/18 000, du 13 mai 2000. Ces photographies sont faites tous les 5 ans, à la demande du service topographique (Topografische Dienst), pour la mise à jour de la carte à 1/25 000. La mission, planifiée comme à l'habitude au printemps, a été réalisée fortuitement environ 4 heures avant l'explosion.



© NEO BV / Includes material © 2000 SIE S.A.

Partie d'une image Ikonos
Date : 5 avril 2000



© Politie Luchtvaartdienst : 14 mei 2000 10.00 uur Gemeente Enschede

Le quartier sinistré, le lendemain matin de l'explosion. Des fumées révèlent
Date : 14 mai 2000 vers 10h.

Les photographies aériennes à l'appui des investigations policières.

L'objectif des investigations policières était la recherche de la cause de l'explosion et l'établissement des responsabilités. La photographie aérienne a été retenue comme l'une des sources de renseignement. Tous les détenteurs d'une autorisation de prises de vues aériennes (délivrée par le ministère de la défense) ont été invités à remettre les clichés de la zone pris entre le 1^{er} janvier 1998 et le 13 mai 2000.

L'ITC a pu ainsi fournir quelques photographies verticales et obliques de petit format (35mm - 6 x 6cm), faites à l'occasion de travaux pratiques d'étudiants des cours d'information géographique pour la planification et la gestion des zones urbaines (Geoinformation for Urban Planning and Management). Le grand public a lui aussi été sollicité par voie de presse dans le cas où des personnes détiendraient de tels documents ou des prises de vues cinématographiques ou vidéoscopiques. Le but de cette collecte était l'établissement de preuves du respect ou du manquement

aux autorisations données par la municipalité à l'entreprise de stockage des feux d'artifices. Les photographies faites le 13 mai ont été utilisées pour compter le nombre de cadres et de conteneurs dans lesquels étaient entreposés les feux d'artifices. Les conditions de stockage et les quantités à ne pas dépasser avaient été spécifiées dans les autorisations. L'image Ikonos n'a pas permis un décompte certain, la visibilité étant limitée par le très fort contraste dans les zones d'ombre où se trouvaient un certain nombre de ceux-ci.

La protection de l'environnement

La loi sur la protection de l'environnement (Wet Milieubeheer) exige la délivrance d'une autorisation pour le stockage de matières dangereuses. Dans les considéra-



des incendies non encore maîtrisés.



© Topografische Dienst, Emmen

*Extrait d'une photographie aérienne prise fortuitement environ 4 heures avant l'explosion
Date : 13 mai 2000 vers 12h. Echelle originale : 1/18 000*



© ITC - Division of Urban Planning and Management - Paul Hofstee Pilote : Heiner Becker

*L'entrepôt, la casemate en béton et quelques cadres en 1986
Date : 9 juin 1986 Hauteur de vol : 400m*

tions conduisant à la décision d'accorder ou de refuser une telle autorisation, sont retenues les remarques formulées par les particuliers. Lors de l'enquête préliminaire l'un d'entre eux exprima son étonnement d'apprendre qu'une entreprise de stockage de feux d'artifices pourrait être autorisée à s'installer en zone résidentielle. Les autorités municipales répondirent que le facteur localisation n'entrait pas dans le cadre de la loi. En outre, elles firent remarquer que l'entrepôt n'était pas situé en zone résidentielle mais en zone industrielle (la limite de la zone résidentielle se trouvant de l'autre côté d'une voie large de 6m).

Une analyse du texte, publiée sur Internet après la catastrophe par l'institut néerlandais du corps des sapeurs-pompiers et de lutte contre les catastrophes (Nederlands Instituut voor Brandweer en Rampenbestrijding), a révélé que les autorités municipales ont strictement appliqué le règlement à la lettre, n'ont formellement considéré que la protection de l'environnement et ont complètement négligé l'aspect localisation. De ce fait le risque potentiel créé par la présence d'un entrepôt de feux d'artifices à proximité d'une zone d'activités humaines (habitations, commerces) n'a donc pas été pris en compte. C'est cette lacune dans la manière d'aborder le problème qui a conduit à négliger toute information visant à situer les risques dans l'espace.

La consultation d'un SIG, de plans et de photographies aériennes aurait permis d'analyser et d'évaluer les risques et les dangers que l'emplacement d'un tel entrepôt pouvait faire courir au voisinage.

Depuis, le gouvernement a demandé que la nouvelle législation sur l'environnement prenne en compte la localisation des risques.

Les opérations de secours, l'évaluation des dommages et la remise en état du site

Des cartes ont immédiatement été mises à la disposition des personnels chargés des secours. En raison de l'urgence, certaines d'entre elles n'étaient pas à jour. Quelque 24 familles habitant des logements construits en 1994, ne furent tout d'abord pas comptées parmi les sinistrés, la rue de construction récente ne figurait pas sur le plan dressé en 1993 !

Douze jours après la catastrophe, à la demande de la municipalité, 9 photographies aériennes verticales à l'échelle de 1/1 000 ont été faites. Elles furent utilisées en qualité de plan le plus à jour après la catastrophe. Les autorités municipales, les coopératives de construction de locaux d'habitation, et les compagnies d'assurances ont procédé à l'évaluation des dommages par des levés complets au sol dans la zone de l'explosion et aux alentours sur la base des déclarations de dommages (signalés jusqu'à plus d'1 km du lieu de l'explosion). Les bases de données existantes, les cartes et les photographies aériennes seront utilisées comme documents de référence pour



Plan du quartier détruit. Noter la longueur et l'étroitesse de nombreuses parcelles. La situation sera mise à profit pour procéder à un remembrement. Echelle originale : 1/5 000



Plan d'intervention des pompiers.

l'étude des projets de reconstruction et le remembrement urbain qui en fera partie.

Conclusions

L'importance de maintenir à jour les bases de données (y compris les cartes et les photographies aériennes) et de les rendre très facilement et très rapidement disponibles a été très clairement ressentie dans les instants, les heures et les jours qui suivirent la catastrophe. Lorsque l'autorisation de stockage a été délivrée, l'utilisation d'un SIG aurait permis de considérer la potentialité du risque au regard des zones résidentielles proches.

© ITC - Division of Urban Planning and Management - Paul Hofstee - Pilore - John Horn



Les lieux environ trois semaines après l'explosion ; à l'arrière-plan les abords immédiats du centre ville.

© Twentsche Courant Tubantia



Un aspect des destructions dans une rue proche de l'explosion (Roomweg)

La catastrophe a révélé la lacune de la loi en matière de localisation d'un risque pour l'environnement. ●

Remerciements à :

MM. Achterkamp et Draaijers, de la municipalité d'Enschede (Bouw en Milieudienst)
Bakx et Reinink, de l'ITC (Information Technology Department)
Venema, du quotidien Tubantia (de Twentsche Courant Tubantia)
Groothuis, photographe
Remarque : article préparé avant la parution du rapport de la commission d'enquête (Commissie Onderzoek Vuurwerkramp)

© Anton Groothuis - Enschede



L'explosion de 15b35mn46s, la dernière la plus puissante. Noter les débris projetés ; l'un d'entre eux a causé la mort d'un cycliste circulant à 580m de l'entrepôt.

© Twentsche Courant Tubantia



Bloc de béton provenant de la casemate, projeté à plus de 300m sur le boulevard de ceinture (Lasondersingel)

Les besoins d'une documentation (cartes, plans, imagerie aérienne et spatiale, SIG) complète, à jour, très rapidement disponible, ont été vivement ressentis lors de la catastrophe d'Enschede.

Résumé : Les besoins d'une documentation (cartes, plans, imagerie aérienne et spatiale, SIG) complète, à jour, très rapidement disponible, ont été vivement ressentis lors de la catastrophe d'Enschede.

Abstract : The necessity of documentation (maps, plans, aerial and spatial imagery, GIS) that is complete, up-to-date, readily available, has been highly felt at the time of the disaster in Enschede.

Samenvatting : De behoefte aan documentatie materiaal (kaarten, plattegronden, luchtfoto's, satellietbeelden, GIS) die volledig, aktueel en snel beschikbaar werd duidelijk gevoeld tijdens de ramp van Enschede.

Kurfassung : Die Notwendigkeit von kompletter, aktueller und verfügbarer Dokumentation (Karten, Pläne, Luft- und Satellitenphotos, GIS) wurde zum Anlaß der Katastrophe in Enschede sehr deutlich.

Apport de l'altimétrie par laser aéroporté à la cartographie des estrans : expérimentation de l'anse de l'Aiguillon

Gérald Barreau - Jacques Populus (Ifremer)
Jacques Fazilleau (DDE 17)

L'altimétrie par laser aéroporté combine et intègre des capteurs de haute technologie : des récepteurs GPS, un système de navigation inertielle et un télémètre laser pour générer des données altimétriques. Cette technique aujourd'hui pleinement opérationnelle constitue un outil idéal pour une cartographie altimétrique rapide et de grande précision de zones difficilement accessibles par voie classique, notamment les zones littorales.

Cet article décrit une expérimentation effectuée par l'Ifremer sur le site de l'anse de l'Aiguillon (Charente-Maritime). Une évaluation des données est faite par comparaison avec des sondes bathymétriques. La dégradation de la précision en zone d'herbu est quantifiée. Un modèle numérique de terrain à maille fine est produit, avec une précision d'environ 15 cm.

Les zones littorales, constituées entre autres des estrans et marais, sont longtemps restées en dehors des enjeux économiques. Aujourd'hui, elles sont au cœur des problèmes d'aménagement du territoire national. Les enjeux actuels sont multiples et diversifiés. Il s'agit, par exemple, d'assurer l'entretien des ouvrages côtiers et des voies d'accès, de veiller au bon développement des parcs ostréicoles et conchylicoles. Il importe aussi de suivre les changements morphologiques du littoral pour proposer des solutions d'aménagement adaptées. Or, cette gestion contrôlée de l'espace littoral nécessite la collecte d'un grand nombre d'informations sur le milieu, dont certaines font largement défaut au

niveau des estrans. La topographie en est un exemple manifeste.

Les techniques conventionnelles telles que la photogrammétrie, la tachymétrie, les relevés terrain par GPS permettent difficilement d'acquérir une information altimétrique précise et complète. D'une part, la photogrammétrie est fortement contrainte par la présence de végétation au sol et la déclivité du terrain. D'autre part, les mesures effectuées sur le terrain ne peuvent l'être que ponctuellement. Quant aux levés bathymétriques, ils sont inopérants sur la partie haute des estrans en raison de la faible profondeur d'eau à pleine mer. Enfin, la mise en œuvre de toutes ces techniques est gourmande en temps et en ressources.

Avec le développement du laser se sont ouvertes de nouvelles possibilités pour une meilleure caractérisation topographique du milieu. La technique d'altimétrie par laser aéroporté est en effet passée du stade expérimental à une large utilisation aujourd'hui. L'intégration et le couplage du laser avec des capteurs de positionnement de haute technologie fournit désormais un outil idéal pour une cartographie altimétrique rapide et de grande précision, quelle que soit la nature de la surface étudiée.

Cet article a pour objet de rendre compte d'une expérimentation menée sur le site de l'anse de l'Aiguillon, en Charente-Maritime. Le principe et les caractéristiques de l'altimétrie par laser aéroporté sont brièvement rappelés. Puis sont exposés la mise en œuvre de la technique sur le site pilote, l'exploitation des données altimétriques, notamment le travail d'évaluation de la précision des mesures selon les configurations du sol, puis la conception d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT).

L'altimétrie par laser aéroporté

Principe et technique

L'altimétrie par laser aéroporté est une nouvelle technique d'acquisition de données altimétriques en 3D. Son principe est simple : il s'agit de mesurer la distance qui sépare l'avion de la surface étudiée. La manière la plus communément utilisée actuellement est de mesurer le temps d'aller-retour d'une impulsion laser. Une autre,



plus rare, consiste à déterminer le décalage de phase entre le signal laser incident et le signal laser reçu [LEM97, BOT98, HUI97].

Les systèmes laser aéroportés développés aujourd'hui combinent la technologie laser avec celle des capteurs de haute technologie (figure 1).

Un télémètre laser balaye le signal proche-infrarouge en direction de la surface et assure la mesure de distance entre l'avion et la cible. La largeur de fauchée couverte est fonction de l'inclinaison du miroir réfléchissant et de l'altitude de vol.

Ce système à balayage laser est couplé d'une part à un système de positionnement GPS. Ce dernier travaille en mode différentiel avec une station au sol et détermine précisément le positionnement absolu de la plate-forme instrumentale tout au long de la télémessure.

D'autre part, une centrale de navigation inertielle (INS) mesure les accélérations et changements d'attitude du laser occasionnés par les mouvements de l'avion (roulis, lacet, tangage). L'INS procure aussi des informations de position précises à court terme lorsque le récepteur GPS est indisponible (nombre de satellites en visibilité insuffisant, interférences électromagnétiques, phénomènes de multitrajet). Le couplage GPS/INS assure ainsi une connaissance très précise de la trajectoire de l'avion, de la direction de visée et de l'attitude du laser [KRA99].



Figure 1 : Schéma d'un dispositif d'altimétrie par laser aéroporté



Figure 2 : Le site pilote : l'anse de l'Aiguillon (source scan25 IGN)

Finalement, ce système offre la possibilité de disposer en temps quasi-réel de mesures directement géoréférencées, dont la précision annoncée est décimétrique pour les coordonnées planaires, centimétrique pour la cote altimétrique [HUI98].

Caractéristiques principales

Comparée aux techniques plus conventionnelles (photogrammétrie, mesures au sol), l'altimétrie par laser aéroporté se caractérise par :

- sa capacité à fonctionner de jour comme de nuit,
- le fort pouvoir de pénétration de la lumière laser. Il est ainsi possible de mesurer l'élévation du sol en zones inaccessibles, comme des zones forestières par exemple,
- sa rapidité de mise en œuvre puisque le travail terrain se résume à l'installation d'une station GPS pivot à proximité de la zone d'étude,
- la rapidité d'acquisition et de traitement des données,
- la grande précision des mesures (dm en X et Y, cm en Z),
- la diversité des informations accessibles (hauteur, volume, radiométrie) [AXE99].

L'atmosphère, notamment la présence de nuages bas, perturbe le temps de propagation du signal, occasionnant des erreurs dans l'estimation des distances qui peuvent atteindre

plusieurs centimètres. Les caractéristiques de surface (rugosité, pente, couverture végétale) affectent également la précision des mesures en modifiant la forme et l'intensité du signal laser. La technique souffre en outre des dérives instrumentales (imprécision de pointage du miroir du télémètre, dérive du GPS et de l'INS, instabilité du détecteur).

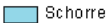

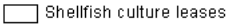



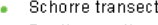
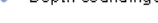
Enfin, le signal écho recueilli est complexe car la réflexion de la lumière se fait sur le premier obstacle rencontré. Ce peut être le sol ou bien le sommet de la végétation. S'il est possible de trier l'information dans le cas d'une zone forestière en différenciant les échos, en présence d'une végétation herbue non arbustive, la technique est peu discriminante. Il s'avère alors nécessaire de s'appuyer sur des informations supplémentaires (la réflectance par exemple) pour parvenir à extraire le bruit du signal et concevoir un MNT de qualité [LEM97].

L'expérimentation de l'anse de l'Aiguillon

Présentation du site

L'anse de l'Aiguillon est une région du littoral atlantique située au nord de la Rochelle, à la limite entre les départements de la Vendée et de la Charente Maritime. Réceptacle des eaux de la Sèvre Niortaise, elle couvre une superficie de l'ordre de 40 km² (figure 2). L'espace compris entre le trait de côte

Baie de l'Aiguillon Charente-Maritime

-  Schorre
-  Land
-  Shellfish culture leases
-  Reference zones and GPS base
-  Lidar acquisition perimeter
-  LAT line
-  Mudflat transect
-  Schorre transect
-  Depth soundings

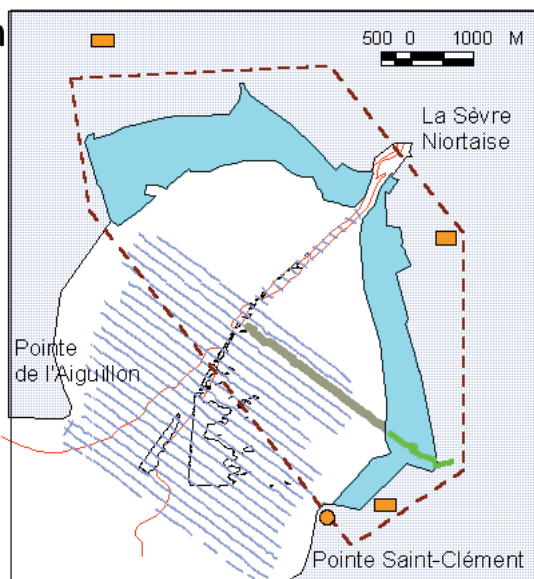


Figure 4 : vue synthétique du site et des données disponibles

et le zéro hydrographique, autrement dit entre les niveaux de plus basse et de plus haute mer, constitue la zone intertidale ou estran. Il s'agit d'un milieu dynamique car soumis au rythme des marées. La topographie y est peu prononcée (pentes inférieures à 2%), excepté au bord des chenaux.

La partie la plus basse de l'estran est uniformément recouverte de vase (slikke, figure 3). Inondée à marée haute, elle est le siège d'activités conchylicoles. En se rapprochant de la côte, le terrain s'élève et s'assèche pour former l'herbu (ou schorre), recouvert à pleine mer. On y trouve une mosaïque d'espèces végétales, plus ou moins denses et élevées, dont la répartition s'établit selon les paramètres physiques du milieu (granulométrie, teneur en eau, salinité). Le schorre est pour cela difficile d'ac-

cès et se prête mal aux mesures altimétriques par voie classique.

Les informations déjà disponibles

Le site de l'anse de l'Aiguillon a fait l'objet de plusieurs études et certaines informations sont déjà disponibles, notamment des levés bathymétriques. Ils ont été réalisés par la DDE de Charente Maritime à l'aide d'un sondeur mono-faisceau et couvrent toute la partie navigable de l'estran (figure 4). Les mesures de profondeur d'eau suivent des profils espacés chacun de 200 mètres, avec un point de mesure tous les 20-30 mètres environ. La précision de mesure est estimée à 10 centimètres.

Par ailleurs, une scène Spot4 a été acquise le 5 mai 2000 par marée basse (figure 5). Elle couvre le site dans les canaux visible, proche-infra-

rouge et moyen infrarouge, avec une résolution de 10 mètres au sol.

L'acquisition des données altimétriques

La saisie des données a été confiée à Geodan Geodesie, entreprise néerlandaise qui utilise le système aéroporté ALTM1020. Une veille météorologique a été menée en parallèle par l'Ifremer et le prestataire pour déterminer le créneau le plus favorable à l'expérimentation. Il s'agissait d'opérer à marée basse de manière à couvrir le maximum d'estran, pendant les fortes marées et avec un plafond nuageux plus haut que l'altitude de vol, soit 700 mètres environ. Le levé aérien a ainsi eu lieu le 5 mai 2000. Le coefficient de marée était de 104 et l'opération a débuté le matin, 1h30mn avant la marée basse. Le plan de vol a été établi de manière à survoler d'abord la partie haute de l'estran puis progresser vers le large en suivant le recul de l'eau. Près de 2h30mn de vol ont été nécessaires pour couvrir les 40 km² de l'estran de l'Aiguillon. Au total, 21 bandes présentant un recouvrement adjacent avec leur voisine de 40% ont été levées. Une équipe de l'Ifremer s'est chargée d'installer sur le promontoire de la pointe Saint-Clément, une station GPS permettant de travailler en mode différentiel avec le récepteur GPS embarqué. Des levés géodésiques de référence, indispensables pour le géo-référencement des mesures laser, avaient été effectués au préalable sur trois zones de contrôle en périphérie du site pilote. Une fois les données collectées, Geodan Geodesie a procédé à divers traitements (décodage des mesures laser,



Figures 3 : Vues du site pilote de l'anse de l'Aiguillon : la slikke et le schorre.

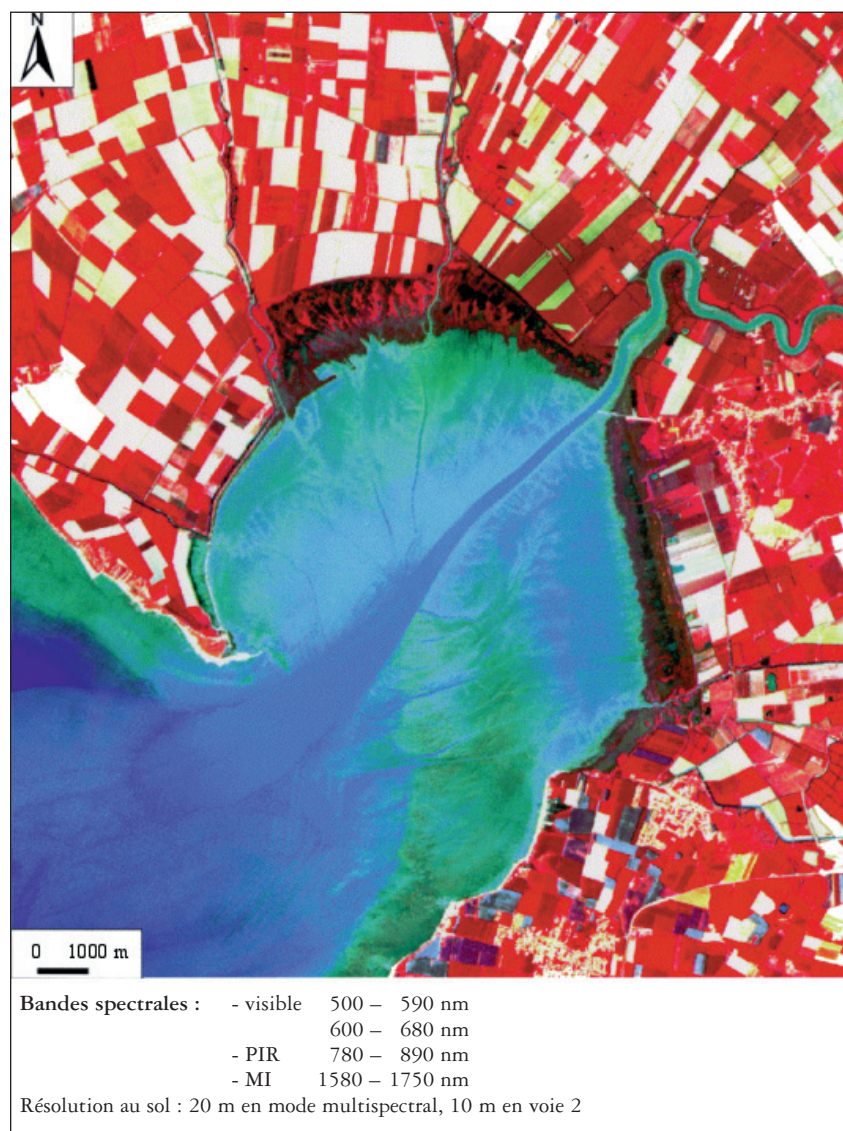


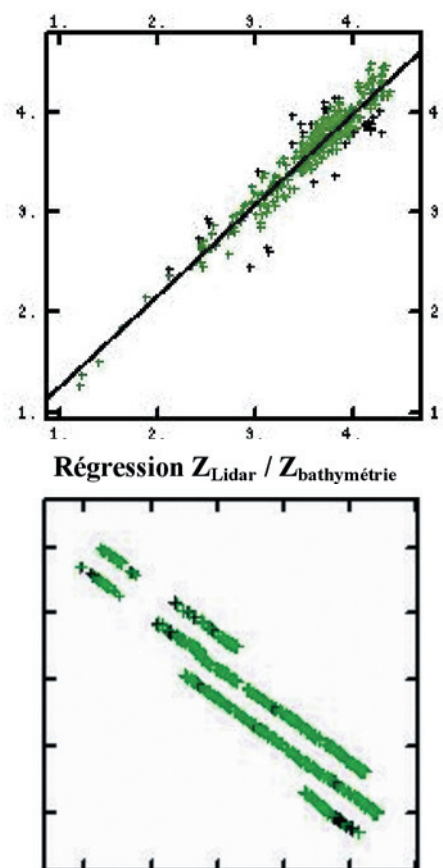
Figure 5 : Scène Spot4 du 5 mai 2000, 10h50 TU, composition colorée des canaux 1, 2, 3

contrôles interne et externe, filtrage) pour finalement fournir à l'Ifremer un fichier numérique de plus de 10^7 points d'élévation géoréférencés. Les élévations sont des hauteurs ellipsoïdales exprimées dans le système UTM (WGS 84). Les précisions annoncées sont de 15 cm sur les 3 axes. Excepté sur les dépressions humides encore inondées, pour lesquelles la réflexion laser est plus faible, la densité moyenne est d'un point pour 9 m^2 . Elle est plus forte au niveau du recouvrement des bandes (meilleure qu'un point pour 3 m^2).

L'analyse critique des données laser

La confrontation avec la bathymétrie

La qualité des mesures laser a été appréciée en zone unie et dépourvue de végétation grâce aux sondes bathymétriques disponibles sur la partie basse de l'estran. Les deux techniques, altimétrie par laser aéroporté et bathymétrie, ont été confrontées sur une partie de la vasière présentant la dynamique la plus forte, à savoir dans la direction de plus gran-



Figures 6 : diagramme de corrélation entre Lidar et bathymétrie (coefficient 0.954) et localisation des points de plus fort désaccord.

de pente. Les points couvrant des zones inondées lors de l'expérimentation, notamment au niveau du chenal principal, ont été exclus car la technique aéroportée y mesure au mieux la surface de l'eau, la lumière infra-rouge n'y pénétrant pas.

Par la suite, une analyse de voisinage entre les deux jeux de données a permis de constituer près de 340 couples de mesures, l'une laser, l'autre bathymétrique, éloignées de moins d'un mètre. Afin de pouvoir être comparées, les mesures de hauteur ont alors été exprimées par rapport à la même référence altimétrique, en estimant localement, au niveau de la Pointe Saint-Clément, l'écart entre l'ellipsoïde WGS 84 et le zéro hydrographique. Il est ainsi apparu qu'en moyenne, les estimations de hauteur ne diffèrent que de 2 cm, avec un écart-type de 16 cm. La figure 6 met en évidence la

Une équipe de l'Ifremer s'est chargée d'installer sur le promontoire de la pointe Saint-Clément, une station GPS permettant de travailler en mode différentiel avec le récepteur GPS embarqué.

forte corrélation existant entre les deux jeux de données. On observe toutefois quelques points pour lesquels le désaccord entre altimétrie laser et bathymétrie est plus important, de l'ordre de 50 cm. Ces points (en noir sur les figures 6) se répartissent spatialement de manière aléatoire : ils semblent par conséquent ne résulter que des erreurs de mesure.

La forte concordance observée entre les deux techniques atteste de la qualité des estimations d'altitude obtenues par laser sur la partie basse de l'estran. Seules les dépressions humides font exception et sont l'objet d'une surestimation des hauteurs par le laser.

L'influence de la végétation

Il s'est révélé plus difficile d'estimer la qualité des données laser sur la partie herbue de l'estran. En effet, le problème qui se pose est de savoir si, en moyenne, le signal reflète l'altitude du sol, du sommet de la végétation ou d'un niveau intermédiaire. L'image Spot4 a permis en cela de déterminer si le type de végétation, dense ou éparse, rase ou élevée a des répercussions quantifiables sur les mesures d'altitude.

La scène couvrant le schorre a fait l'objet d'une classification supervisée dans les 4 canaux spectraux (figure 7). Les 6 classes représentées ont été définies en s'aidant des observations faites sur le terrain. Chaque classe est associée à un type de végétation spécifique en densité et en hauteur. La classe vase sert de référence et permet de qualifier les mesures en zone nue.

Dans un deuxième temps, les données laser ont été échantillonnées sur une grille à maille régulière de 10 mètres de côté. Sur chaque cellule on a calculé l'écart-type moyen de l'élévation en supposant la topographie plane à cette échelle (vrai à 0,5% près). Bien que calculé sur seulement 23 échantillons d'altitude en moyenne, ce paramètre nous est apparu comme le plus à même de révéler l'influence de la végétation sur le signal. En effet, l'observation d'un fort écart-type dans le cas présent peut a priori avoir deux origines : ou bien il s'agit d'un effet de la topographie, ou bien les altitudes mesurées reflètent tantôt le niveau du sol tantôt celui du sommet de la végétation. Le voisinage de 10 mètres a été

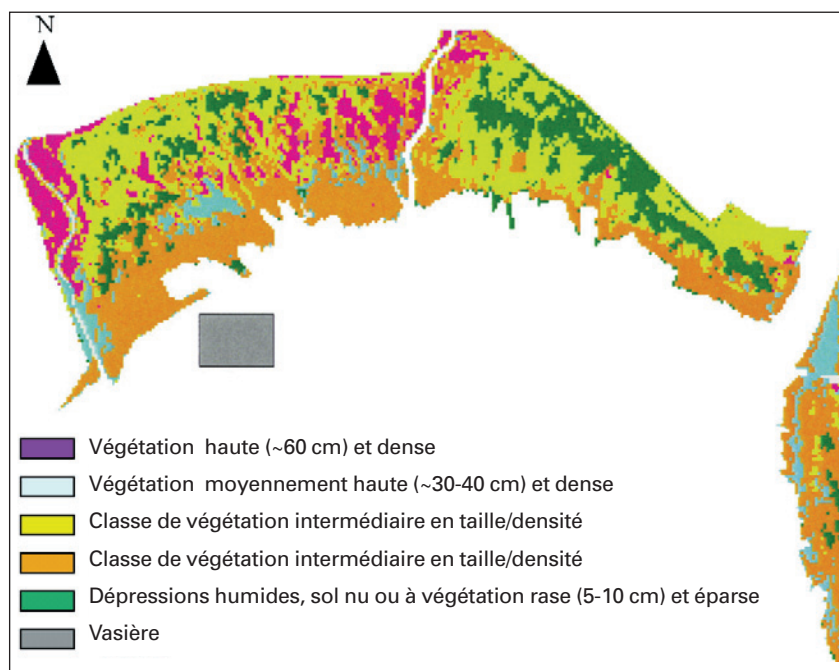


Figure 7 : Classification supervisée de l'image Spot4, partie nord du schorre.

Table 1 : écart-type du signal Lidar en fonction de la classe de végétation

Classe	Ecart type moyen sur Z (cm)
Végétation haute (60 cm) et dense	0.21
Végétation moyennement haute (30-40 cm) et dense	0.15
Classe de végétation intermédiaire en taille/densité	0.12
Classe de végétation intermédiaire en taille/densité	0.13
Dépressions humides, sol nu ou à végétation rase (5-10 cm) et éparse	0.09
Vasière	0.09

choisi de manière à s'affranchir au mieux du relief (5 cm de bruit au maximum). La grille d'écart type obtenue a été par la suite confrontée à la scène classifiée, en associant à chacune des 6 classes un écart-type moyen de l'élévation. Le tableau ci-dessus présente les résultats.

On observe sans surprise que plus la végétation est haute et dense, plus l'écart type est élevé. Il s'échelonne entre 7 cm en zone de vasière et près de 15 cm en zone herbue. Ce résultat confirme bien qu'au niveau du schorre, le signal est souvent réfléchi avant d'avoir atteint le sol. La qualité des estimations d'altitude y est donc moindre : en plus de l'imprécision intrinsèque aux données, il convient d'y ajouter celle engendrée par la présence de la végétation. Les écarts-types observés expriment toutefois un éloignement par rapport à une élé-

vation moyenne dont on ne sait pas réellement si elle reflète plutôt le niveau du sol ou celui du sommet de la végétation. Mais compte tenu de nos observations sur le terrain, on peut estimer en première approximation qu'en moyenne, une mesure se situe à mi-hauteur, ce qui nous amène à penser que l'erreur d'estimation d'altitude est augmentée au plus de 30 cm sur les zones à végétation la plus haute. Notons que dans tous les cas, cette végétation haute ne couvre que 15% environ de la zone.

Exploitation des données altimétriques : conception d'un MNT

Pour illustrer les potentialités de l'altimétrie par laser aéroporté en termes de caractérisation des



estran, un MNT de l'anse de l'Aiguillon a été conçu avec une taille de pixel de 5 mètres. Les données laser ont préalablement été filtrées pour ne garder qu'un point de mesure tous les 2 mètres, soit au total environ 3.5 millions de points. Une analyse géostatistique, notamment l'étude du comportement variographique à grande et petite échelle, a permis par la suite de mettre en lumière les propriétés structurales des données pour les reproduire au moyen d'un modèle variographique. Une fois le modèle testé et validé, l'interpolation par krigeage a été réalisée sur une grille à maille régulière de 5 mètres. L'opération a abouti à un MNT affichant une précision d'environ 15 cm sur la partie vasière, 30 cm sur la partie herbue de l'estran (figure 8).

Conclusion et perspectives

Cette première mise en œuvre de la technique d'altimétrie par laser aéroporté en zone littorale est plutôt concluante. Elle confirme son utilisation

Les mesures dépassent nettement en densité ce que l'on peut obtenir par les moyens classiques et même si la précision reste affectée par la végétation de schorre, elle est toutefois susceptible d'être améliorée par une meilleure connaissance de l'interaction fine du signal avec la surface.

pour une meilleure caractérisation biophysique des estrans. Les mesures dépassent nettement en densité ce que l'on peut obtenir par les moyens classiques et même si la précision reste affectée par la végétation de schorre, elle est toutefois susceptible d'être améliorée par une meilleure connaissance de l'interaction fine du signal avec la surface. D'autres comparaisons à des mesures de terrain permettront d'affiner encore ces résultats. Ces données autorisent d'ores et déjà un grand pas en avant pour l'amélioration des modèles à maille fine de la zone très côtière, ou encore par exemple pour la détermination des zones submer-

sibles en cas de surcote de marée. ●

Remerciements

Nos remerciements vont au programme ISIS du CNES qui nous a permis d'acquérir l'image SPOT à tarif préférentiel.

Pour toute correspondance

Jacques Populus, IFREMER
jpopulus@ifremer.fr

Références

[AXE99] Axelsson P., 1999 Laser scanning : une nouvelle technique innovante vers de nouvelles possibilités d'applications dans l'espace, INIST CNRS, *Revue XYZ*, N° 78.

[BOT98] Bottu, E., 1998. Laser scanning applied to vegetation height and roughness length determination. Mémoire de fin d'études, ESGT, Le Mans.

[HUI97] Huising E. J., 1997. Evaluating laser scanning and other techniques to obtain elevation data on the coastal zone. Proceedings of the 4th International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Orlando, Florida. *ERIM*.

[HUI98] Huising E. J., 1998. Laser Scanning for Topographic Applications: from Fiction to Reality. in Operational Remote Sensing for Sustainable Development, Vaughan and Molenaar (eds), *Balkema*, Rotterdam.

[LEM97] Lemmens J. P., 1997. Accurate height information from airborne laser altimetry, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, p 222-234.

[KRA99] Van De Kraats E., 1999. Airborne laser scanning : an operational remote sensing technique for digital elevation mapping in coastal areas, *Geomatics and coastal environment*, Populus and Loubersac (eds), Actes de colloques, *Editions de l'Ifremer*, Brest, France, p 149-158.

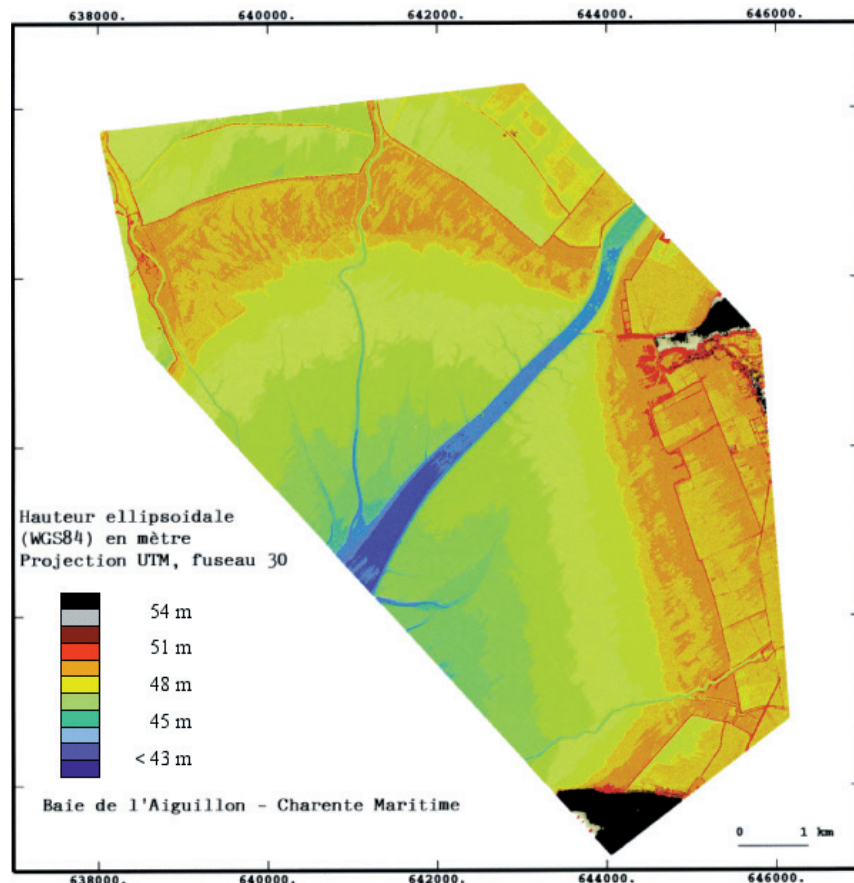


Figure 8 : Modèle numérique de terrain à maille de 5 mètres

Les satellites d'observation de la terre au service du développement des réseaux de téléphonie mobile

L. Laurore GEOIMAGE

A partir du milieu des années 70, la production de cartes géographiques, alors produites essentiellement à partir de campagnes de photographies aériennes, a subi une grande révolution avec le développement de l'informatique et des satellites d'observation de la Terre. Disposant, à cette époque, d'images à une résolution kilométrique utilisées principalement pour des applications météorologiques, nous exploitons couramment, de nos jours, des données satellites à des résolutions déca-métriques et métriques parfaitement adaptées à la production de bases de données géographiques compatibles avec des échelles du 1/50 000 au 1/5 000. De telles échelles sont adaptées aux besoins des principaux projets de développement et d'aménagement du territoire (urbanisme, infrastructures routières et ferroviaires...). Parmi les domaines d'activité les plus consommateurs de ces nouvelles informations, le secteur des télécommunications sans fil est, sans conteste, le premier. Les différentes phases du cycle de développement d'un réseau de téléphonie sans fil (dimensionnement, déploiement, optimisation, densification ou expansion) ont en commun la réalisation d'études d'ingénierie (cartes de couverture radio) dont l'étendue et la précision sont propres à chaque niveau d'étude.



Carte de France : des bases de données géographiques régionales ou nationales



Carte d'occupation du sol

Ortho-image

Modèle Numérique de Terrain

Les informations géographiques requises pour la réalisation de ces cartes de couverture sont de deux ordres : le relief, l'occupation du sol et les infrastructures linéaires, l'ortho-image et/ou la carte scannée. En effet, l'ingénieur radio a besoin de connaître, d'une part, tout ce qui peut affecter la propagation du signal (la morphologie du terrain, le bâti, les forêts, les ponts...) mais également les zones qui vont générer le plus de trafic (zones d'habitation, zones industrielles et commerciales). Espérer disposer de telles informations et ce, pour l'ensemble des niveaux d'études évoqués, au travers du seul usage de la cartographie géographique existante est une utopie. Même les pays les plus industrialisés ne disposent pas d'une cartographie récente, sur tout leur territoire et pour tous les niveaux d'échelle concernés (1/500 000 au 1/5 000). Et lorsqu'elle existe, sa date de mise à jour est rare-

ment compatible avec le degré d'actualisation requis pour les besoins des télécoms. En effet, dans de nombreuses régions du monde a fort développement urbain, la cartographie officielle est souvent en décalage avec la réalité, principalement en raison du délai moyen de mise à jour de cette cartographie (entre 10 et 25 ans). L'imagerie satellite offre alors une source d'information alternative ou complémentaire pour fournir aux utilisateurs une donnée géographique actualisée et de qualité, dans des conditions de délais et de coûts incomparables. Celle-ci présente, de plus, l'immense avantage, par rapport à la traditionnelle photographie aérienne, de ne pas nécessiter la mise en place de campagne de vol nécessitant une logistique lourde et coûteuse, sans parler, de la difficulté ou de l'impossibilité d'obtenir, dans un grand nombre de cas, les autorisations de survol aérien des territoires concernés.

Les données géographiques requises dans les différentes études de planification radio des réseaux de télé-

phonie sans fil, mobiles (GSM, CDMA, UMTS...) ou fixes (boucle locale) peuvent être regroupées en 3 catégories :

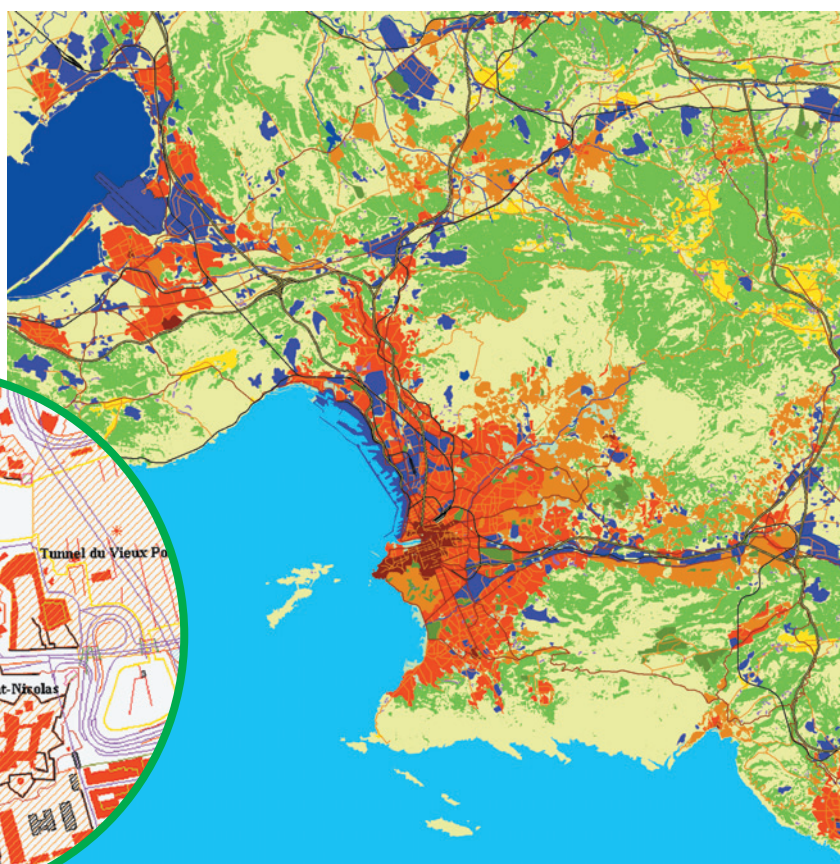
- **Des bases de données géographiques régionales ou nationales** utilisées pour le pré-dimensionnement lors de la réponse à l'appel d'offre d'attribution d'une licence à un opérateur. Ces bases sont produites principalement à partir de cartes topographiques existantes dont l'échelle peut varier entre le 1/500 000 et le 1/200 000 et la résolution entre 250m et 50m. La mise à jour de l'information d'Occupation du Sol est réalisée à partir d'images satellites à moyenne résolution (IRS WIFS à 150m, Landsat à 30m...).

- **Des bases de données géographiques urbaines sur les principales agglomérations** pour le pré-dimensionnement en zones fortement urbanisées et pour le design complet du réseau au niveau de la phase de déploiement. Ces bases sont produites à une résolution comprise le plus souvent entre 25m et 5m, correspondant à des échelles

Dans de nombreuses régions du monde a fort développement urbain, la cartographie officielle est souvent en décalage avec la réalité, principalement en raison du délai moyen de mise à jour de cette cartographie (entre 10 et 25 ans).

Carte d'occupation du sol

Des bases de données géographiques urbaines Région de Marseille ▼



Des bases de données building 3D à très haute résolution
Port Marseille ►



cartographiques variant du 1/100 000 au 1/25 000. du 1/100 000 au 1/25 000. En raison de la plus grande difficulté d'obtention de cartes à de telles échelles, il est d'autant plus nécessaire de disposer de données satellites stéréoscopiques (SPOT, ERS, RADAR-SAT...) dont la propriété est de permettre la restitution de l'information de relief par photo-grammétrie numérique.

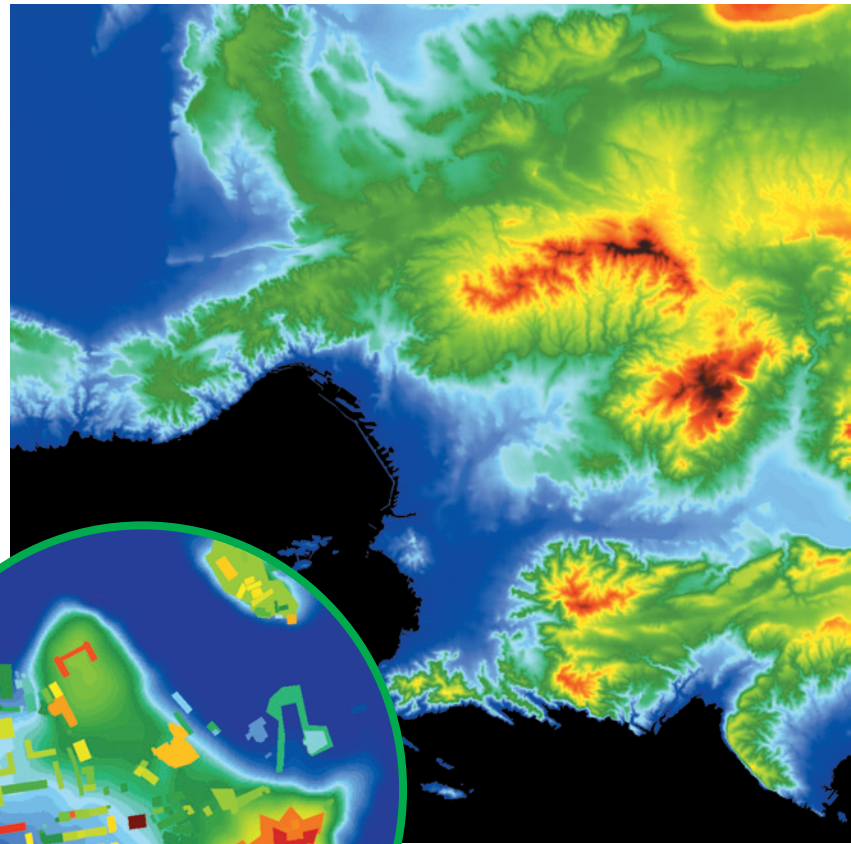
• **Des bases de données «building 3D» à très haute résolution** nécessaires tant à la densification des réseaux de téléphonie mobile qu'à la conception et au déploiement des réseaux de téléphonie mobile de 3^e génération et de téléphonie fixe sans fil (boucle locale). En l'absence quasi systématique d'une cartographie adéquate (1/5 000 au 1/10 000), ces bases, à une résolution métrique, ne peuvent être produites qu'à partir de sources de données satellites stéréoscopiques (IKONOS à 1 m) ou aéroportées (photographies aériennes, caméra numérique, laser altimétrique). La solution satellite reste, pour les raisons exposées précédemment, la plus générique.

Un degré de qualité élevé des bases de données utilisées par les applications télécoms constitue le critère majeur de sélection des bases, surtout lorsque l'on sait, d'une part, l'impact financier que peut avoir un sur-dimensionnement du réseau, d'autre part, la mauvaise qualité de couverture radio qui pourrait résulter à l'inverse d'un sous-dimensionnement du même réseau. Il est vrai qu'en raison de la complexité des concepts physiques en jeu, la qualité de la carte de couverture radio dépend d'un grand nombre de paramètres de nature très différente : modèle de propagation radio, modèle de recherche opérationnel des sites, données géographiques...

Concernant les bases de données géographiques, l'assurance qualité est étroitement liée à un certain

Modèle Numérique de Terrain

Des bases de données géographiques urbaines *Région de Marseille* ▼



Des bases de données **building 3D à très haute résolution** ▲
Port Marseille

nombre de choix méthodologiques propres au processus de production adopté :

- **La précision géométrique ou géographique de l'information fournie est le critère de qualité** qui vient en premier à l'esprit lorsqu'on parle d'information géo-référencée. Cette précision de localisation dans les trois dimensions est évaluée séparément

dans chaque plan d'information fourni (MNT, Occupation du sol, Infrastructures linéaires, Orthoimages, Carte scannée...). La précision géométrique résulte de la qualité des sources de référence utilisées, cartes topographiques existantes ou campagne GPS. De ce fait, il est nécessaire de disposer d'une connaissance exhaustive des caractéristiques propres à ces sources (précision géométrique et altimétrique, échelle pour une carte, système de projection et système géodésique utilisés...).

- **La cohérence de localisation d'un même objet dans les différents plans d'informations utilisés apparaît comme un critère de qualité tout aussi important.** Pour prendre un exemple simple, un point situé sur la terre ferme



La précision géométrique résulte de la qualité des sources de référence utilisées, cartes topographiques existantes ou campagne GPS. De ce fait, il est nécessaire de disposer d'une connaissance exhaustive des caractéristiques propres à ces sources (précision géométrique et altimétrique, échelle pour une carte, système de projection et système géodésique utilisés...).

dans un des plans ne doit pas se retrouver dans l'eau dans un autre plan d'information. Une même route peut présenter un tracé sensiblement différent sur une carte et sur une image satellite ou aérienne. Cela peut paraître évident, mais de telles anomalies sont courantes lorsque le processus de production est éclaté sur des sites de production distincts disposant de moyens techniques et de compétences différentes. La compatibilité, en terme d'échelle, des sources de données (cartes géographiques, images satellites...) est également une condition nécessaire pour garantir une telle cohérence. Dans le cas où cette condition de cohérence entre les différents plans ne peut être respectée de manière absolue, les structures visibles sur l'image satellite sont prises en général comme référence (la carte donnant souvent une représentation symbolique, simplifiée et parfois ancienne de la réalité terrain).

• **Le degré d'actualisation de l'information est le troisième critère de qualité majeur requis par les utilisateurs telecoms.** La taille d'un réseau étant directement liée à l'extension des zones urbanisées et à la répartition des populations, l'imagerie satellite constitue la principale source permettant de disposer d'une connaissance la plus récente possible d'un territoire.

De plus la spécificité des outils logiciels de planification radio les plus répandus impose de connaître et de fournir les bases de données géographiques dans des formats propriétaires très différents de ceux couramment utilisés dans les autres domaines de la géographie numérique.

Pour cet ensemble de raisons, le métier de producteur de bases de données géographiques à l'attention des applications telecoms demande une connaissance très particulière du

Ortho-image

Des bases de données géographiques urbaines Région de Marseille ▼



Des bases de données building 3D à très haute résolution Port Marseille ▲

marché, des outils et des besoins à laquelle peu de sociétés du domaine de la géographie numérique sont capables, aujourd'hui, d'apporter une réponse satisfaisante.

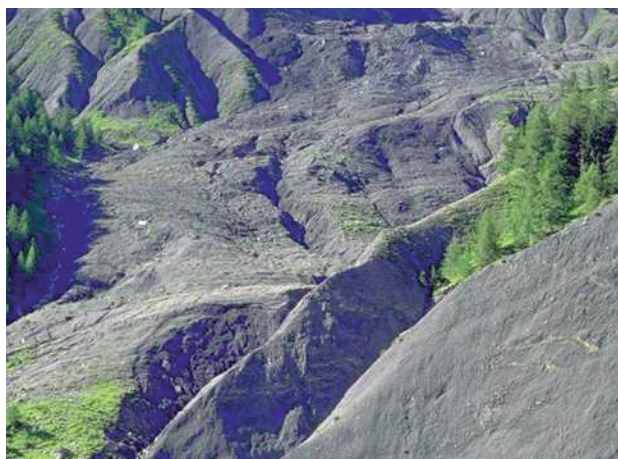
Le marché des telecoms et les besoins qui en résultent sont en permanente évolution. Après une forte

progression de la demande en bases de données régionales et urbaines au cours des 5 dernières années, le développement des nouveaux réseaux de téléphonie mobile de 3^e génération (UMTS, W-CDMA, CDMA 2000) ou de téléphonie fixe sans fil (boucle locale) devrait susciter de nombreux besoins en bases de données 3D à résolution métrique dans les prochaines années. Le lancement de plusieurs satellites d'observation de la Terre à résolution métrique ou quasi-métrique (Orbview, Quickbird, SPOT5, Cartosat...) à l'horizon 2002, permettra d'offrir, en complément d'Ikonos seul satellite civil à résolution métrique actuellement en orbite, un éventail de solutions parfaitement adaptées à ces besoins. ●

Le marché des telecoms et les besoins qui en résultent sont en permanente évolution. Après une forte progression de la demande en bases de données régionales et urbaines au cours des 5 dernières années, le développement des nouveaux réseaux de téléphonie mobile de 3^e génération (UMTS, W-CDMA, CDMA 2000) ou de téléphonie fixe sans fil (boucle locale) devrait susciter de nombreux besoins en bases de données 3D à résolution métrique dans les prochaines années.

Génération de MNT aérienne de petit for au versant instable de

La multiplicité des techniques d'acquisition d'information géométrique à la disposition du géomorphologue, leurs complexités et exigences spécifiques mènent à des choix et des compromis. Nous présentons des résultats obtenus sur le glissement-coulée de Super-Sauze (bassin de Barcelonnette, Alpes-de-Haute-Provence, France). La méthodologie des photographies à basse altitude est le fruit d'un compromis jugé satisfaisant entre coût, précision et lourdeur de mise en oeuvre. Les moyens choisis sont suffisamment légers pour permettre des temps de réponse rapides face à des événements soudains, les outils et méthodes de traitement assez performants pour rivaliser avec les techniques de saisie directe sur le terrain. Le résultat final obtenu est évalué à une précision sub-métrique.



Mots-clés : MNT ; photogrammétrie numérique ; caméra petit format semi-métrique ; modélisation de terrain ; glissement-coulée

Key-words : DEM ; automated digital photogrammetry ; small-format semi-metric camera ; terrain modelling ; earthflow.

Abstract :

Because acquisition techniques of geometrical information on three dimensional objects are numerous, geomorphologist have to make choices and compromises, regarding their specific complexity and requirement. This article presents the results from a project conducted on the Super-Sauze earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, southeastern France). The low altitude aerial photos methodology comes out a satisfying compromise between cost, accuracy and difficulty of implementation. The selected means are light enough to enable a high reactivity to unexpected events, tools and methods reliable enough to concurrence on field acquisition techniques. The final result is evaluated with a sub-metric accuracy.

par photogrammétrie mat : application Super-Sauze

J.-B. Henry^{1}, P. Grussenmeyer¹,
J.-P. Malet² et O. Maquaire²*

Introduction et problématique

Les techniques de positionnement à différentes échelles de temps et d'espace ont connu d'énormes progrès durant la dernière décennie, notamment dans le domaine de la cartographie, de la représentation 3-D des processus, ou des MNT réalisés par interférométrie radar (Fruneau *et al.*, 1996 ; Mohr *et al.*, 1998), par voie G.P.S. ou par photogrammétrie numérique (Girault, 1992 ; Chandler, 1999 ; Weber et Herrmann, 2000). Ces techniques sont indispensables pour obtenir une représentation conforme du relief. Cette donnée est indispensable à toute analyse, surveillance et modélisation quelle que soit l'échelle d'étude considérée (Goudie, 1990 ; McCullagh, 1998). Les nouvelles solutions sont attrayantes, rapides, utilisables dans tout type de configuration morphologique et fournissent des données aisément intégrables dans des Systèmes d'Information Géographique, à des résolutions allant de la dizaine de mètres au centimètre.

Beaucoup d'études morphologiques ou hydrologiques requièrent aujourd'hui une information 3-D détaillée, spatialisée et souvent à haute résolution, tout d'abord comme conditions aux limites géométriques de modélisation, ensuite comme outil d'analyse de certains processus morphologiques (quantification de volumes par exemple), enfin, comme un moyen simple de visualisation et de manipulation de l'information topographique. Le MNT offre alors de puissantes potentialités en terme d'analyse spatiale.

Selon les objets, objectifs et échelles d'études et selon la qualité et la résolution requises pour la représentation du relief, le géomorphologue dispose de plusieurs techniques pour dériver des MNT : tachéométrie classique, GPS (en mode rapide statique ou en mode cinématique), interférométrie radar pour des échelles supérieures au 1/10000^e (Fruneau *et al.*, 1996 ; Mantovani *et al.*, 1996), scannage laser aéroporté (Lohr, 1998) ou photogrammétrie numérique (terrestre ou aéroportée) à différentes résolutions et échelles. La qualité du MNT dépendra d'informations topographiques acquises avec une haute résolution. Cette dernière doit être distribuée de manière homogène sur toute la zone d'étude et de qualité adaptée à l'échelle spatiale de l'étude. Les développements récents de la photogrammétrie numérique font de cette technique, un outil de plus en plus utilisé, notamment en géomorphologie fluviale (Pyle *et al.*, 1997), pour la quantification des volumes déplacés lors d'avalanche de neige (Ammann, 1999), pour le suivi cartographique de bassins versants et leurs analyses paysagères (Muxart *et al.*, 1988), en modélisation hydrologique (Walker et Willgoose, 1999), pour le suivi de l'évolution de mouvements de terrain (Girault, 1992 ; Weber et Herrmann, 2000), pour la reconstitution du micro-relief et de la rugosité de surface dans les études de ruissellement et d'érosion (Chandler, 1999), ou pour la quantification du recul du trait de côte, la morphologie des plages, ou le suivi du ravinement. La plupart de ces utilisations des MNT conduisent à des informations dérivées (carte des

¹ Laboratoire d'Etudes et de Recherche en Génie Civil de Strasbourg (LERGEC), Equipe Photogrammétrie et Géomatique, Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS), 24, boulevard de la Victoire, F-67000 Strasbourg, France.

* Service Régional de Traitement de l'Image et de Télédétection (SERTIT), Pôle API, Boulevard S. Brandt, F-67400 Illkirch-Graffenstaden, France.

² Centre d'Etudes et de Recherche Eco-Géographique (CEREG), 'FRE 2399 ULP-CNRS, 3, rue de l'Argonne, F-67083 Strasbourg Cedex, France.

courbes de niveaux, délimitation de zones hypsométriques, carte de pentes, d'ensoleillement, d'intervisibilité, limites de bassins versants) ou à la détermination des déplacements de surface d'un mouvement de terrain (Girault et Memier, 1997).

Si les MNT sont souvent créés à partir des diverses bases de données altimétriques nationales (par exemple, la BDAlti en France) pour des études à l'échelle régionale (en climatologie et hydrologie notamment), la résolution (75 m) et la précision obtenue (2.5 m en altitude) sont insuffisantes dans bien des cas, surtout en région de montagne. A l'échelle d'un bassin versant, la reconstitution photogrammétrique à partir de couples de photographies (type IGN) au 1/30 000^e permet d'atteindre une précision d'environ 3 m en altimétrie et 1 m en planimétrie. Améliorer la résolution spatiale et la précision 3-D du modèle nécessite alors de disposer d'un couple de photographies aériennes verticales, moyen ou petit format, (50x60mm², 24x36mm²...). Une première solution consiste à prendre ces photographies à partir d'un hélicoptère, à une échelle du 1/500^e ou moins, dont le coût d'acquisition peut être rédhibitoire (1 heure de vol coûte environ 1000 Euros). La solution peut alors être de réaliser une mosaïque d'images, pour couvrir une zone large, et/ou du fait de l'utilisation d'appareils photographiques de petit format.

Une seconde solution, moins onéreuse est de réaliser des prises de vue à partir de petits avions ou hélicoptères (drones) télécommandés (Tapponnier *et al.*, 1999) qui permettent d'atteindre de petites parcelles inaccessibles ou dangereuses pour des pilotes, à des altitudes de vol en dessous de 300 m. La restitution du relief, à partir d'une chambre grand ou moyen format, est très fine : de l'ordre du décimètre. Ces avions télécommandés ont néanmoins l'inconvénient de devoir être pilotés à vue, et nécessite de disposer d'une piste d'envol plate située également dans le champ de vision du «pilote», configuration pas forcément facile à trouver en zone de relief, et qui n'offre pas la possibilité de réaliser de mosaïquage sur plusieurs bandes. Les clichés ne peuvent pour l'instant être pris avec recouvrement que sur une seule bande ; la juxtaposition de plusieurs bandes parallèles est difficile à mettre en œuvre et nécessite un GPS sur le drone et des moyens de téléguidage évolués.

Une troisième solution, intermédiaire, consiste à utiliser des chambres de prises de vues de petit format et de réaliser des photographies quasi-verticales à partir d'un avion de tourisme à ailes hautes généralement disponible dans les aéroclubs locaux. Au cours de la dernière décennie, plusieurs expériences de couverture aérienne petit format (35 ou 70 mm) ont été tentées, de manière expérimentale (Graham et Read, 1984) ou opérationnelle. Généralement, un système précis de prise de vue de petit format repose sur une caméra métrique (avec repères de fond de chambre). Néanmoins, des chambres non métriques (sans repères de fond de chambre) peuvent être utilisées en photogrammétrie, bien que leur orientation interne soit complètement ou partiellement inconnue et/ou instable. Par rapport aux chambres métriques, ces dernières présentent les avantages suivants (Karara, 1980) : souplesse dans le choix de la focale, possibilité d'une chambre motorisée qui permet une succession

rapide des prises de vue, taille et poids réduits, maniabilité qui les rend orientables dans toutes les directions, utilisation de films grand public (24x36 mm²), prix. Les inconvénients sont notamment l'absence de repères de fond de chambre (même s'ils peuvent être introduits dans la chambre), l'instabilité de l'orientation interne et les lentilles qui sont généralement optimisées pour une haute résolution au défaut d'une bonne qualité géométrique (d'où des distorsions souvent irrégulières).

La précision d'un MNT est donc impossible à formaliser et ne peut être évaluée que globalement, en fonction du processus photogrammétrique utilisé pour le générer. Les paramètres qui jouent de façon importante sur cette précision sont : l'échelle et la résolution des photographies, la densité des points de contrôle mesurés sur le terrain et la précision du positionnement, la répartition de ces points en fonction du caractère plus ou moins accidenté du terrain (Kraus et Waldhaeusl, 1998). Ces facteurs interdisent donc à l'utilisateur de considérer les altitudes comme «vraies» : il ne s'agit que d'un modèle de la réalité. Toute étude nécessite donc de définir au préalable la précision recherchée, qui guidera le choix de la méthode photogrammétrique employée (ajustement du ratio précision recherchée/coût de la mise en œuvre).

L'objectif de cet article est de proposer la méthodologie employée, en insistant notamment sur les différentes étapes et les points cruciaux de mise en œuvre, à partir d'un appareil photographique classique de petit format, tenu à la main. Après avoir présenté les divers choix matériel (chambre, objectif, films) qui s'offre au géomorphologue et leur influence sur la qualité de la restitution photogrammétrique, nous présenterons le mode opératoire d'acquisition des photographies et les diverses étapes du traitement. La méthode est appliquée à la reconstitution 3-D de l'environnement de la coulée de débris de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence, France).

Choix du matériel et précision associée

Une grande diversité de matériels photographiques est disponible sur le marché, aussi faut-il considérer leurs caractéristiques en rapport avec la finalité de l'étude engagée. La valeur la plus significative est la focale de l'objectif. Puis, le format du négatif qui va déterminer l'emprise d'un cliché sur le terrain. Enfin, le choix des taux de recouvrements, latéral et longitudinal, va permettre d'accéder aux nombres de clichés nécessaires, à l'intervalle de temps entre deux prises de vues, au nombre de passages...

Sélection de la chambre de prise de vues

Ce premier tableau, qui présente l'influence de la distance focale et du format du film sur les paramètres du vol photographique, démontre l'importance des choix matériels sur la qualité des résultats. Les valeurs sont calculées pour une altitude de vol de 500 mètres au-dessus du terrain, une vitesse de 35 m.s⁻¹ (soit 130 km.h⁻¹) et un recouvrement longitudinal de 70% et transversal de 40%.

Tableau 1. Influence de la focale et du format du film sur les paramètres de vol

Focale	28 mm		50 mm		105 mm	
Format	24x36 mm ²		24x36 mm ²		50x60 mm ²	
Facteur d'échelle	18000		10000		4700	
	Horiz.	Vert.	Horiz.	Vert.	Horiz.	Vert.
Base (m)	200	130	110	70	90	75
Distance entre bandes (m)	260	390	145	215	145	170
dT (s)	5.5	< 4	3	2	2.5	2

Ce type d'étude permet de procéder au choix de la focale de l'objectif, du film et de la chambre, en fonction des conditions et contraintes du terrain et du vol. L'équipement doit faire l'objet d'un étalonnage (Figure 1), afin de pouvoir en intégrer les résultats dans les calculs et ainsi réduire leurs influences sur le résultat final.

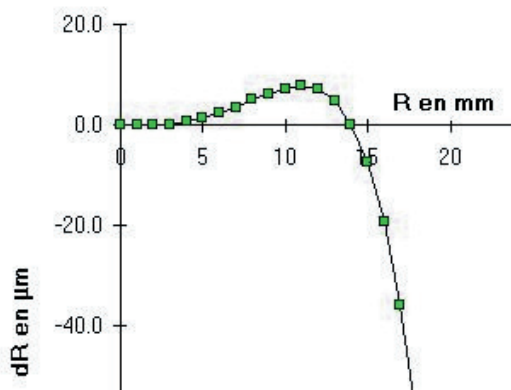


Figure 1. Courbe d'étalonnage de l'objectif utilisé (focale 50 mm)

Cette étape d'étalonnage de la chambre doit naturellement être réalisée le plus finement possible puisqu'elle conditionne la qualité des corrections appliquées aux mesures sur les clichés. Bien que difficiles à quantifier dans l'absolu, les erreurs proviennent essentiellement des erreurs de pointés sur les clichés servant à l'étalonnage. La qualité du procédé et de ses résultats n'est appréciée qu'en fin de calcul par l'appréciation des écarts moyens quadratiques. Les calculs d'étalonnage ont été réalisés avec le logiciel ORIENT, de l'Université technique de Vienne (Autriche).

Contraintes des traitements numériques

Le volume de données générées impose un traitement numérique. Ceci suppose par conséquent une étape de numérisation des photographies qui peut être à la fois difficile (maîtrise et stabilité de la résolution de scannage) et fastidieuse. Le développement de films grand public, au format 24x36, donne également accès au produit Photo CD Kodak. Ainsi, l'étape de développement et de numérisation des films est totalement prise en charge par le prestataire de services, qui garantit une

résolution de 2200 dpi, soit un pixel de 11.55µm. Un tel support de données permet de stocker 100 photographies de 4 à 5 Mo (au format PCD), pour un prix d'environ 70 Euros.

Le traitement photogrammétrique numérique nécessite l'emploi d'un ordinateur équipé d'un logiciel adapté : PHOTOMOD dans notre cas. Le marché du logiciel dans ce domaine comporte un grand nombre de possibilités, dans une gamme de prix assez large, mais nécessitent le respect de certaines contraintes matérielles, en particulier concernant les capacités d'affichage (carte et mémoire vidéo), de stockage (disque dur, CD-ROM...) et de calcul (processeur, mémoire vive). On notera enfin que la mise en œuvre d'un logiciel de photogrammétrie nécessite la bonne adéquation des capacités logicielles avec les exigences du projet.

Mode opératoire et traitements

Le mode opératoire se décompose en deux grandes étapes (la préparation du vol et la prise de vue, puis le traitement photogrammétrique proprement dit) chacune d'elle nécessitant des précautions spécifiques. Comme le traitement photogrammétrique repose sur les méthodes de projection et similitude spatiales, toute erreur, aussi réduite soit elle, peut rapidement engendrer des écarts considérables. Les erreurs propres commises sur chaque étape doivent donc pouvoir être quantifiées.

Préparation du vol photographique : la stéréopréparation.

La réussite d'une mission de prise de vues aériennes va être conditionnée, comme nous l'avons évoqué plus haut, par la qualité de la chambre photographique d'une part, et par la stéréopréparation d'autre part. Pour permettre le calcul, il est nécessaire de placer au sol des balises sur des points localisés par un levé géodésique, tachéométrique ou GPS. La précision et la répartition géographique de ces points de contrôle sur le site sont d'une importance capitale pour l'étape d'aérotriangulation développée plus bas. La difficulté majeure réside dans la possibilité de respecter les valeurs du calcul de préparation du vol. L'emploi d'un récepteur GPS de navigation semble être actuellement la solution la plus adéquate, tant sur le plan de la précision (depuis la levée de l'accès sélectif le 2 mai 2000) que sur le plan des investissements humains et financiers.

Traitements numériques et aérotriangulation par les faisceaux.

L'orientation interne est la première étape de tout traitement photogrammétrique. Elle consiste à définir le système de coordonnées du cliché, par rapport auquel seront réalisées les mesures. Ceci est rendu possible grâce aux repères de fonds de chambre. C'est également là qu'interviennent les résultats de l'étalonnage : distorsions radiales, localisation du point principal. Cette définition du système de coordonnées doit se faire à quelques microns près par conséquent, la saisie fine du maximum de repères de fonds de chambre permet d'assurer cette détermination. L'erreur moyenne quadratique (emq) est le meilleur moyen d'apprécier la qualité du travail, et est rarement inférieure à la dimension du pixel.

Les principes de base de la stéréorestitution font apparaître que pour travailler sur un stéréomodèle, il faut disposer d'au moins trois points de calage, déterminés par des méthodes géodésiques. L'aérotriangulation est une extension des méthodes de stéréorestitution, qui permet de restituer de façon globale un bloc de clichés tout en minimisant le nombre de points de calage à déterminer sur le terrain. On peut donc survoler des zones possédant une faible densité de points géodésiques.

La méthode de compensation par les faisceaux repose sur l'utilisation des coordonnées-images comme observations, et sur l'emploi d'une projection centrale (Kraus et Waldhaeusl, 1998). Cette méthode de calcul permet de lier directement les coordonnées-images aux coordonnées-objets, sans passer par les coordonnées-modèles. Elle nécessite un bloc de clichés présentant un recouvrement minimum de 60% en longitudinal, et de 20% en latéral. Elle offre également un avantage considérable puisqu'elle autorise l'introduction dans le calcul de paramètres additionnels, comme par exemple les éléments d'orientation interne, mais aussi des paramètres de déformation de l'image, qui peut provenir non seulement des distorsions de l'objectif utilisé mais également des déformations du film, de diverses anomalies de réfraction ou de toute autre source d'erreur. Par conséquent, on tiendra compte des erreurs systématiques, ce qui est particulièrement important dans le cas de l'utilisation d'une chambre de prises de vues amateur.

La saisie d'aérotriangulation est la plus longue étape d'un tel travail. Le pointé des points de calage (balises) et des points de jonction conditionne la fiabilité du modèle global. Ce calcul de compensation utilise explicitement le principe des moindres carrés. La détection d'erreur est facilitée lorsque la convergence du calcul est obtenue et que les erreurs moyennes quadratiques sur chaque point sont accessibles et exploitables.

Finalement, procéder à un calcul en bloc par la méthode des faisceaux offre l'avantage de fournir un résultat global et homogène sur l'ensemble de la zone couverte. On conditionne ainsi la qualité de la génération du modèle numérique final, résultat de l'union des modèles obtenus à partir de chaque couple. Cette méthode est reconnue comme la plus précise de l'aérotriangulation, mais

aussi comme tout à fait adaptée aux prises de vues amateur. Elle génère malgré tout un gros volume de calculs, nécessitant l'introduction de valeurs approchées, et ne traite que des problèmes tridimensionnels.

Génération des modèles numériques de terrain

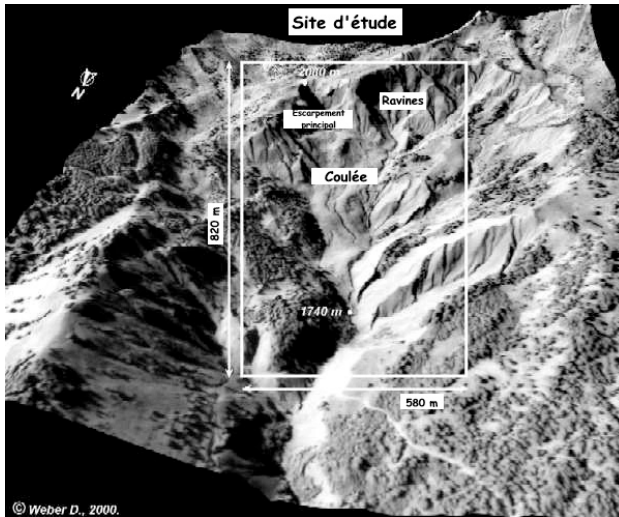
Le succès de l'aérotriangulation permet d'accéder au modèle tridimensionnel, soit en fait, de passer directement des mesures clichés aux coordonnées-terrains. Dès lors, le calcul des modèles numériques de terrain (MNT) est réalisable. Le logiciel travaille par corrélation d'image sur les clichés de chaque couple, à partir d'une grille dont l'équidistance est fixée par l'utilisateur.

L'algorithme de corrélation se base sur les niveaux de gris observés dans une matrice de recherche. En choisissant un seuil minimal de corrélation, l'utilisateur détermine la sensibilité de la saisie automatique de points. Ainsi est-il possible de disposer rapidement d'un semis de points dense, permettant l'interpolation d'un modèle numérique complet, même si la saisie manuelle de points est souvent nécessaire dans les zones de faibles niveaux de détails ou de radiométrie réduite. De même, là où les points de calage ou de jonction sont peu nombreux, on constate souvent des corrélations aberrantes, et par conséquent, des erreurs sur les déterminations altimétriques. Plusieurs méthodes de génération de MNT existent mais dans un cas comme celui-ci, il est intéressant de forcer la détermination par interpolation de points afin de pallier aux échecs de l'algorithme de corrélation.

Application à un site contraignant : la coulée de débris de Super-Sauze et son environnement

Le site d'étude

Le glissement-coulée de Super-Sauze (bassin de Barcelonnette, Alpes-de-Haute-Provence, France) se développe dans un bassin torrentiel marneux encaissé (marnes noires callovo-oxfordiennes) et raviné en badlands. Il se situe entre 2105 m d'altitude (couronne) et 1740 m d'altitude (pied de la coulée), pour une pente moyenne qui atteint 25°. Le glissement-coulée couvre une surface de 17 ha. Historiquement, si aucun désordre n'affecte le secteur dans les années 1950, des chutes de blocs se produisent dans les années 1960, accompagnant les glissements structuraux de grands panneaux et la formation d'une coulée de débris qui fossilise un chenal d'écoulement. Cette période marque le début d'un mouvement généralisé de tout le versant et la progression (reconstituée par photo-intéprétations multitudes - Weber et Herrmann, 2000-) du front de la coulée vers l'aval sur plus de 180 m depuis 1982. Les investigations géotechniques et les mesures de déplacements en profondeur par inclinomètres (Flageollet *et al.*, 2000) et les prospections géophysiques (Schmutz *et al.*, 1999) indiquent que la coulée fossilise une paléotopographie intacte (Flageollet *et al.*, 2000) constituée d'une succes-



sion d'échines et de ravines parallèles.

Figure 2. Le site d'étude : le bassin torrentiel de Super Sauze

Afin de déterminer la dynamique d'écoulement et de valider des modèles de propagation de ce type de coulée, un réseau de surveillance a été mis en place et complété progressivement, avec notamment des mesures en continu des déplacements par GPS (Malet *et al.*, 2000) et par extensométrie pour affiner les relations entre les différents paramètres, en particulier, vérifier le rôle, des brusques et furtives remontées de nappe, dans la dynamique de la coulée. La modélisation hydrodynamique et géomécanique de ce type de phénomène nécessite de disposer d'une représentation précise du relief de la coulée mais également de son environnement : un MNT de la coulée a été réalisé en 1999 par tachéométrie à une résolution de 1 m et une précision inférieure à 5 cm. Pour l'environnement immédiat de la coulée (Figure 2), la superficie (0.75 km²) et la morphologie très incisée et escarpée (ravines et échines) ne permettent pas de réaliser un levé rapide par tachéométrie (nécessité de plusieurs stations), ou bien par GPS (masques, pentes du terrain). La photogrammétrie numérique s'est donc présentée comme la seule solution, d'autant qu'elle permet d'obtenir une photographie de la zone d'étude. L'objectif de précision fixée pour le MNT de l'environnement de la coulée était de 30 cm en planimétrie et de 50 cm en altitude. Cette précision a guidé le choix des différents paramètres de vol et de l'objectif.

Les choix.

Le calcul des différents paramètres de vol, nous a amené à employer une chambre RICOH semi-métrique (dotée de repères de fonds de chambre) équipée d'un objectif standard de focale 50 mm. Le choix de la chambre semi-métrique a notamment été guidé par la volonté de disposer de la motorisation de l'avancée de pellicule. Les valeurs des paramètres de vol sont rappelées ci-dessous :

- Altitude de vol relative : 500 m
- Vitesse : 130 km.h⁻¹, ou 35 m.s⁻¹
- Temps entre prise de vues : 3 s
- Base : 110 m

- Distance entre axes : 145 m
- Facteur d'échelle moyen : 10000

Les balises ont été réalisées dans des plaques cartonnées de 50x50cm² (Gross, 1998). En plus de leur taille, il a fallu prendre garde à leur couleur. Les balises devaient être visibles tant sur la coulée (gris-noir) que sur son pourtour (vert). Nous avons donc choisi de combiner rouge et jaune, en prenant soin de les orienter toutes dans la même direction de façon à permettre le pointé du centre sans ambiguïté au cas où une couleur serait invisible. Finalement, seul le rouge est vraiment apparu de façon très nette. Au total, sur l'ensemble de la zone (environ 1500 m par 500m) une soixantaine de balises ont été disposées.

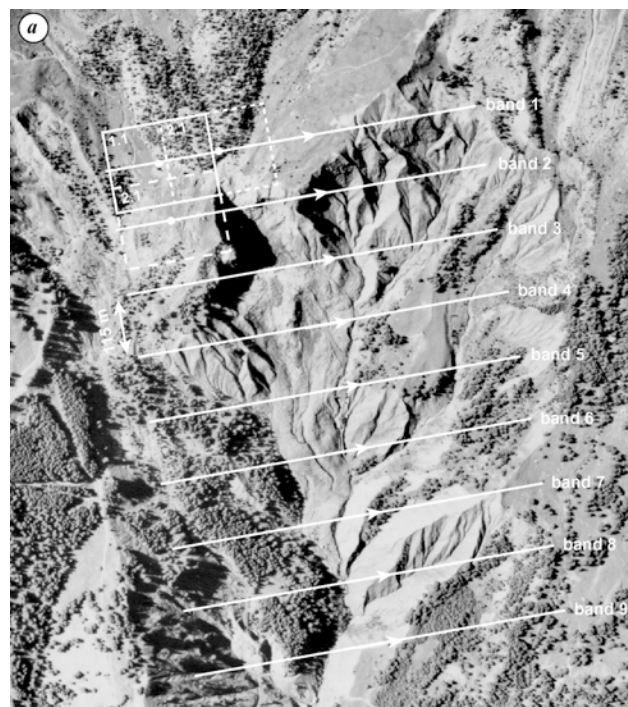
Résultats de l'aérotriangulation.

Les résultats d'aérotriangulation sont de qualité moyenne, bien que particulièrement satisfaisants pour les moyens mis en œuvre. On constate que sur les bords du modèle, c'est-à-dire sur les premiers et derniers clichés de chaque bande, la prépondérance de points de jonction sur les points de calage semble être à l'origine de la dérive du modèle. La conséquence est alors l'augmentation de l'erreur moyenne quadratique globale σ_0 .

$$\sigma_0 = 1,87 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \sigma_0^x &= 1,29 \text{ m} \\ \sigma_0^y &= 1,75 \text{ m} \\ \sigma_0^z &= 1,34 \text{ m} \end{aligned}$$

D'autre part, le calcul fournit les données d'orientation externe (position et attitude de la chambre de prise de vues pour chaque cliché). On constate de grandes incertitudes sur leurs déterminations, provenant de la difficulté de fournir des valeurs approchées au calcul. L'emploi du GPS ressort à nouveau comme une nécessité, avec comme propos principal de fournir des valeurs approchées fiables. La figure 3 montre la position des lignes de vol et un exemple de cliché (avec quatre repères de fond de chambre Ai, Bi, Ci, Di).



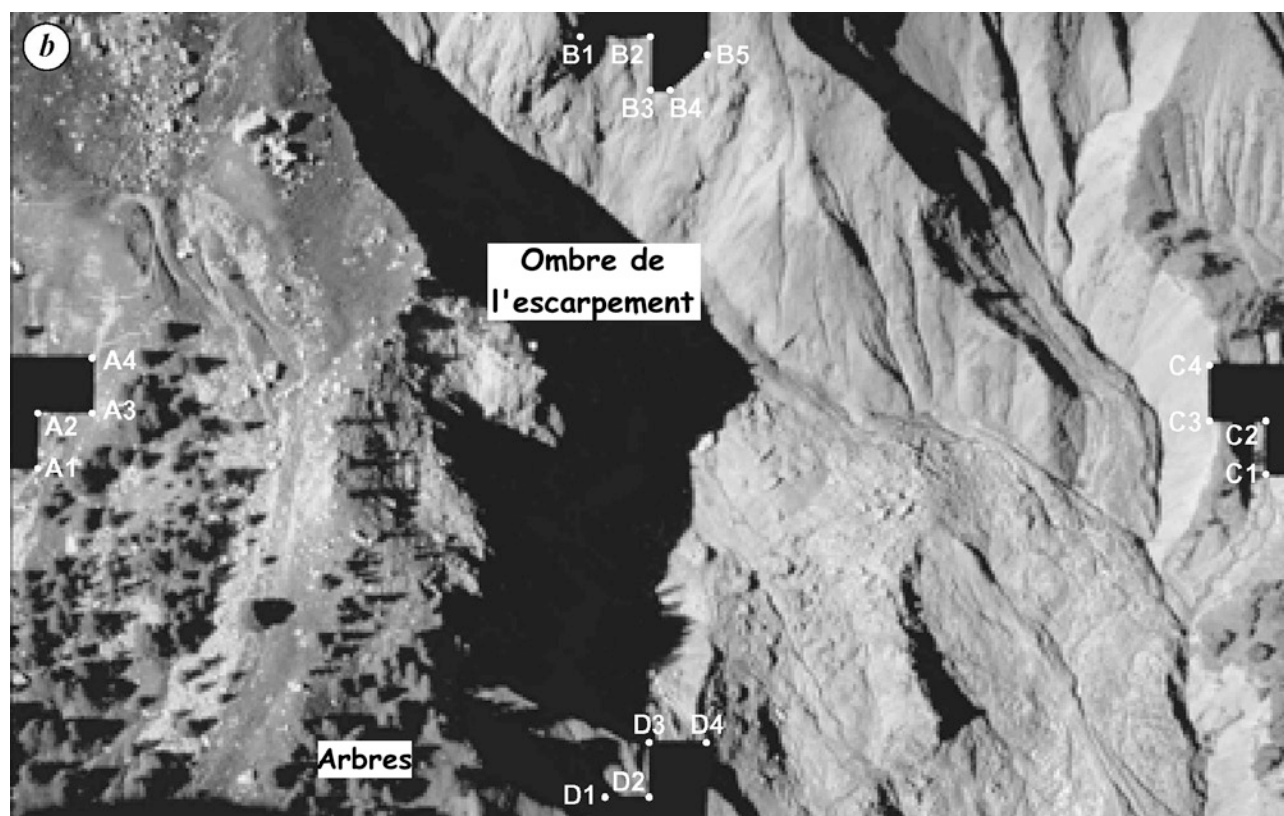


Figure 3. Lignes de vol (a) et un cliché (b) de la bande 3
La précision relative du MNT.

La qualité de la génération totalement automatique des modèles numériques de terrain n'a pas été celle escomptée. La visualisation stéréoscopique des courbes de niveaux dérivées en surimposition sur les clichés a montré de multiples zones où les courbes 'décollaient' de la surface du terrain. L'interpolation a donc été complétée par des saisies manuelles et l'importation de données issues de levés tachéométriques. Finalement, dans les zones de recouvrement entre semis d'origine topographique et semis d'origine photogrammétrique, on constate des écarts d'environ 50cm. Par conséquent, l'ensemble de la restitution et des MNT est évaluée à une précision sub-métrique.

Compte tenu de l'échelle des clichés et de la morphologie de la zone d'étude, le modèle global est généré à partir de chaque couple de clichés, auquel est appliquée une grille d'interpolation de 50x50 points. Ce modèle est finalement constitué de :

- 2500 points
- 7200 cotés
- 4800 triangles

La nature particulièrement chaotique de la zone d'expéri-

mentation pousse à considérer les écarts entre MNT photogrammétrique et tachéométrique selon des critères régionaux plus restreints (Figures 4 et 5).

Chacune des zones (tableau 2) met en évidence les problèmes majeurs que peut rencontrer l'expérimentateur dans ce type d'environnement. Le plus gênant pour les traitements photogrammétriques est très certainement l'ombre des éléments morphologiques importants : celle de l'escarpement principal masque une zone étendue à son pied. Les arbres sur les versants créent des éléments dits en sursol qui font dériver le modèle numérique de terrain.

Discussion : stratégies et précautions à prendre

Les techniques photogrammétriques sont tout à fait adéquates pour la génération de MNT de précision sur de larges surfaces, pour le suivi dynamique ou encore, pour le suivi de la topographie d'entités géophysiques (glaciers, avalanches, mouvements de terrain, dunes, rivières...). La méthodologie présentée, basée sur l'emploi de photographies aériennes de petit format, présente l'avantage d'être peu coûteuse (hormis le prix du logiciel de photogrammétrie), rapidement mobilisable, et donc, opérationnelle. Le

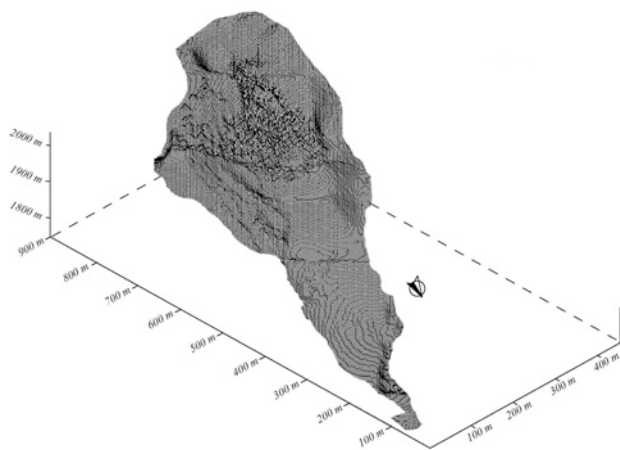
Tableau 2. Résultats sur différentes zones morphologiques caractéristiques de la coulée.

Région	Moyennes des écarts en Z	Ecart-types (Z)
A. Escarpement principal	+41.3 cm	14.0 cm
B. Ravines	+46.7 cm	9.2 cm
C. Surfaces planes (pente < 10°)	+7.8 cm	4.2 cm
D. Surfaces inclinées (pente > 10°)	-8.2 cm	11.4 cm

géomorphologue dispose alors d'une capacité de réaction et de production d'information très élevée (caméra amateur, objectifs et films grand public, avion sans équipements matériels spécifiques), essentielle lorsqu'il s'agit d'évaluer rapidement les conséquences d'un événement ponctuel. Le lecteur notera d'ailleurs qu'en France, ces méthodes de couverture photographique rapide sont exploitées par les services déconcentrés de l'État pour la cartographie des champs de crues, le levé des laisses de hautes eaux, etc.

Concernant la réalisation pratique des clichés, il semble important de rappeler l'influence de l'heure de vol. Dans des zones boisées, ou à fort relief, l'élévation du soleil va conditionner l'emprise des ombres. Le vol à midi solaire apparaît alors comme une nécessité. D'autre part, l'emploi d'un récepteur GPS de navigation est apparu nécessaire d'une part, au cours du vol pour pouvoir disposer de valeurs approchées fiables de la position de chaque cliché, mais également au cours de la stéréopréparation pour assurer une bonne homogénéité dans la disposition des balises.

Pour conclure, le géomorphologue se doit de prendre conscience de la multiplicité des sources d'erreur qui doivent être prises en compte. La gamme de variation est extrêmement large : du micromètre pour l'orientation interne à la dizaine de mètres pour les erreurs de corrélation dans la génération du MNT. Par conséquent, il semble



capital d'être pleinement conscient de ces ordres de grandeurs, afin de ne pas demander au résultat final plus de précision qu'il ne peut en fournir. ●

Figure 4. Représentation du MNT obtenu par voie photogrammétrique

Remerciements

Ce programme a été financé par le CNRS dans le cadre du contrat PNRN 97/99-34MT de l'INSU. Les auteurs tiennent à remercier J.-A. Quessette, de CHS Carto France, pour ses conseils lors du traitement des données et la mise à disposition du module d'aérotriangulation du logiciel PHOTOMOD.

Bibliographie

Ammann, W.J. 1999. A new Swiss test-site for avalanche experiments in the Vallée de la Sionne (Valais). *Cold*

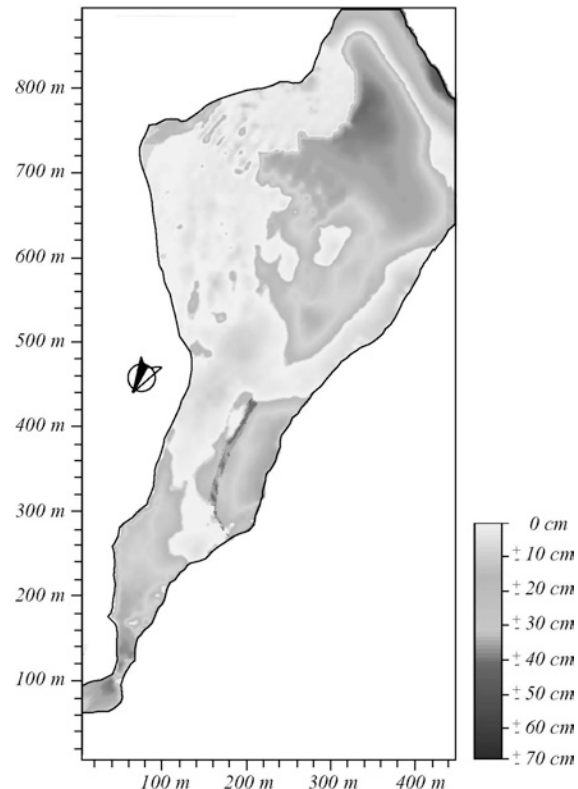


Figure 5. Carte des différences entre MNT photogrammétrique et tachéométrique

Regions Science and Technology 30 : 3-11.

Chandler, J. 1999. Effective application of automated digital photogrammetry for geomorphological research. *Earth Surface Processes and Landforms* 24 : 51-63.

Flageollet, J.-C., Malet, J.-P. and Maquaire, O. 2000. The 3-D structure of the Super-Sauze earthflow : a first stage towards modelling its behaviour, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B* 25(9) : 785-791.

Fruneau, B., Achache, J. and Delacourt, C. 1996. Observation and modelling of the Saint-Etienne-de-Tinée landslide using SAR interferometry, *Tectonophysics* 265 : 181-190.

Galisson L. 1997. *Auscultation topométrique du glissement de terrain de Barcelonnette par tachéométrie et GPS*, Rapport de Stage Ensis.

Girault, F. 1992. *Auscultation de versants instables par imagerie numérique*. Thèse Ingénieur CNAM, Paris, 193 pp.

Girault, F. and Memier M., 1997. Quelle photogrammétrie pour l'auscultation de versants instables ?, *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection* 145 : 24-32.

Goudie, A. (Ed.). 1990. *Geomorphological Techniques*, British Geomorphological Research Group, 570 pp.

Graham, R.W. and Read, R.E. 1984. Small format aerial surveys from light and microlight platforms. *Journal of Photographic Science* 32(3) : 100-110.

Gross Q. 1998. *Photogrammétrie aérienne de petit format (essai pour la réalisation d'un modèle numérique de terrain)*, Rapport de Stage Ensis, 44 p.

Henry, J.-B., 1999. *Réalisation d'un modèle numérique du glissement-coulée de Super-Sauze par photogrammétrie aérienne de petit format*, Rapport de Stage Ensis, 58 p.

Karara, H.M. 1980. "Non-metric cameras", in Atkinson, K.N. (Ed.), *Developments in Close Range Photogrammetry*, Applied Science Publishers, London, 63-80.

Kraus, K. and Waldhaeusl, P. 1998. *Manuel de photogrammétrie*, Traduction de P. Grussenmeyer et O. Reis, Editions Hermès Paris, 407 p.

Lohr, U. 1998. "Digital elevation models by laser scanning", *Photogrammetric Record*, 16(91) : 105-109.

Malet, J.-P., Hartig, S., Calais, E. and Maquaire, O. 2000. Apport du GPS au suivi en continu des mouvements de terrain. Application au glissement-coulée de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence, France), *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences* 331 : 175-182.

Mantovani, F., Soeters, R. and van Westen, C.J. 1996. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe, *Geomorphology* 15 : 213-225.

McCullagh, M.J. 1998. "Quality, use and visualization in terrain modelling", in Lane, S.N., Richards, K.S. and Chandler J.H. (Eds.), *Landform Monitoring, Modelling and Analysis*, Wiley, Chichester, 95-117.

Mohr, J.J., Reeh, N. and Madsen, S.N. 1998. Three dimensional glacial flow and surface elevation measured with radar interferometry, *Nature* 391(6664) : 273-276.

Muxart, T., Egels, Y., Pirot, F., Rollin, A., Billard A. and Cosandey, C. 1998. Utilisation de la photogrammétrie et des modèles numériques de terrain dans le suivi cartographique de la dynamique physique des bassins-versants de l'Airette dans la montagne du Lingas (France), *Etudes Méditerranéennes* 12 : 35-44.

Pyle, C.J., Chandler, J.H. and Richards, K.S. 1997. Digital photogrammetric monitoring of river bank erosion. *Photogrammetric Record* 15 : 753-764.

Schmutz, M., Guérin, R., Maquaire, O., Descloîtres, M., Schott, J.-J. and Albouy, Y. 1999. Apport de l'association des méthodes TDEM et électrique pour la connaissance de la structure du glissement-coulée de Super-Sauze, *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences* 328 : 797-800.

Tapponnier P., de Voogd, B. and Hirn, A. 1999. Géologues et sismologues au Tibet, *Sciences Actualités* 99(9) : 104-126.

Walker, J.-P. and Willgoose, G.R. 1999. On the effect of digital elevation model accuracy on hydrology and geomorphology, *Water Resources Research* 35(7) : 2259-2268.

Webb, E.K. Simulation of braided channel topology and

Savoir faire français en Argentine

Claire Galpin⁽¹⁾

Le développement des populations et de leurs activités se traduit souvent par une évolution des modes de valorisation de l'espace. Dans de nombreux pays, on observe que la croissance démographique s'accompagne très souvent de mutations importantes de l'utilisation de l'espace foncier : croissance urbaine rapide, changements dans les activités agricoles, industrielles et touristiques qui marquent fortement le territoire. Or, la valorisation de l'espace exige une identification précise des biens fonciers et des droits. Il apparaît ainsi que le développement passe par la mise à jour ou la création d'une cartographie de référence, et par l'établissement de systèmes fonciers qui garantissent l'attribution des terres et le droit de propriété ou le droit d'usage.

Corrientes – Argentine

À l'arrivée des Espagnols, la majeure partie du territoire était peuplée par des indiens Guaranis. Ces tribus organisées en famille d'une centaine de membres étaient dirigées par un cacique de caractère patriarcal.

Les conquistadores furent envoyés par Juan Torres de Vera y Aragon jusqu'à un endroit connu comme *las Siete Corrientes* (les Sept courants). Malgré une constante hostilité des Guaranis, ils fondèrent le 3 avril 1588, un village qu'ils appelèrent *San Juan de la Vera des las Sietes Corrientes* en l'honneur de leur chef. Quelque 413 ans plus tard la province et sa capitale s'appellent simplement Corrientes.

Territoire ouvert, ondulations du relief ne dépassant pas 200 mètres, le destin de la Province de Corrientes, comme son nom l'indique, est d'unir les deux rios qui la ceinturent et les nombreux cours d'eau qui la sillonnent. Ses esteros présentent des secteurs marécageux couverts d'une

végétation exubérante, royaume du Yacaré (crocodile).

La Province de Corrientes est située à l'extrême Nord de la république d'Argentine. Avec les provinces d'entre Rios et Misiones, elle forme la Mésopotamie argentine entre les méridiens 27°10' et 27°30' Ouest de Greenwich et les parallèles 55°30' et 59°40' Sud.

La population est estimée à 800.000 personnes réparties sur un territoire de 89.000 km².

Le projet

Le projet *Mise en place d'un Système d'Information Territorial (SIT) et réorganisation du cadastre* est un projet qui s'inscrit dans le cadre du programme *Assainissement financier et développement économique des Provinces argentines*.

Ce programme doit permettre aux provinces de se doter d'outils per-



(1) Ingénieur diplômée de l'ESGT – Mastère en Systèmes Cadastraux et Aménagement Foncier ESGT-ENSG-ENC – Géomètre Expert Foncier - Consultant international – Directeur technique du projet SIT-Cartographie de Corrientes Argentine

mettant une meilleure connaissance de leur patrimoine notamment foncier et de mettre en place des structures financières assurant le développement économique.

Le projet SIT est lui divisé en 3 volets techniques et 4 contrats distincts.

- Un contrat pour le projet *Cartografía* (Cartographie) qui concerne la saisie et la mise en place des données cartographiques (4.5 millions de dollars).
- Un contrat pour le *Censo* (Recensement) qui doit assurer la saisie de toute l'information alphanumérique du SIT à partir de la compilation de toute l'information existante et d'enquêtes systématiques sur le terrain (4.5 millions de dollars).
- Un contrat "*Sistema*" (Système) qui met en place la solution matérielle et logicielle ainsi que les développements informatiques spécifiques (4.5 millions de dollars).
- Un contrat relatif à la commission d'inspection pour la coordination et la maîtrise d'ouvrage des trois volets techniques (1.5 millions de dollars).

Ce projet représente donc un investissement de 15 millions de dollars pour la Province qui en assure le financement à hauteur de 30 % sur ses fonds propres, la Banque Mondiale prêtant les autres 70 %.

Les attentes de la Province quant aux problèmes principaux à solutionner sont les suivantes :

- Réajuster les évaluations foncières et les gérer avec un outil permettant une gestion massive.
- Incorporer toutes les améliorations urbaines afin de prendre en compte tous les mètres carrés existants et non enregistrés (Ils sont estimés à environ 2 millions de m²)
- Réévaluer et harmoniser les taxations fiscales
- Élaborer une cartographie globale géoréférencée
- Mettre en place un système permettant de fixer les limites juridictionnelles
- Harmoniser et systématiser la nomenclature cadastrale
- Systématiser et rendre obligatoire les déclarations fiscales afin de permettre l'actualisation du SIT.

Deux entreprises françaises (Spot Image et le cabinet Trenque-Rives-Saint Chamant) et une société argentine (Aerospacio) se sont constituées en consortium appelé UTE (*Union Transitoria de Empresa*, sorte de GIE argentin) pour mener à bien ce travail. Le contrat initialement prévu pour 26 mois a été étendu à 32 mois pour cause de conditions climatiques difficiles et d'inondations.

Les acteurs

Le client

L'Argentine est un pays fédéral. Chaque Province possède son propre gouvernement. La *Dirección General de Catastro* DGC (Direction Générale du Cadastre) dépend du ministère des finances provincial. Elle est à l'heure du papier, avec un personnel trop peu nombreux et qui est le plus mal rémunéré de la fonction publique de la province. L'encadrement est assuré par des *Agrimensores* (Géomètres) ayant suivi une formation supérieure de 5 ans. Les agents techniques et administratifs sont souvent recrutés sans formation particulière.

Les volets techniques

Chacun des volets est dépendant l'un de l'autre : la cartographie donne la base graphique du système, le recensement assure la validité de l'information alphanumérique et la partie Système met en place les outils pour l'utilisation des données récoltées.

Cartographie

Deux entreprises françaises (Spot Image et le cabinet Trenque-Rives-Saint Chamant) et une société argentine (*Aerospacio*) se sont constituées en consortium appelé UTE (*Union Transitoria de Empresa*, sorte de GIE argentin) pour mener à bien ce travail. Le contrat initialement prévu pour 26 mois a été étendu à 32 mois pour cause de conditions climatiques difficiles et d'inondations.

Recensement

Ce contrat n'a pas encore vu le jour et c'est un manque important pour l'efficacité du produit final.

Système

Les ordinateurs sont en place. Le personnel a été formé. Les applica-

tions spécifiques ont été développées. Le système est en sommeil pour de «basses» raisons économiques....

L'Inspection

Un bureau d'études de Buenos Aires épaulé par une équipe locale a assuré la coordination générale du projet et la supervision des contrats Cartographie et Système.

Le contrat cartographie

Le contrat est divisé en 7 chapitres appelés item.

1. Vols photogrammétriques
2. Appui terrestre
3. Aerotriangulation
4. Restitution digitale
5. Individualisation parcellaire urbaine
6. Cartographie des zones rurales
7. Individualisation parcellaire suburbaine et rurale

Les Vols photogrammétriques

Les zones à couvrir sont de deux types :

- Urbaines à l'échelle de 1 /5000 au nombre de 29 sur 382 km²
- Suburbaines à l'échelle de 1/20000 au nombre de 44 sur 9116 km²

Cette prestation a été assurée par les forces aériennes argentines et supervisée par Oscar Vera Mantaras, consultant indépendant et créateur de la brigade aerophotogramétrique argentine.

Appui terrestre

En 1994, les Américains ont créé sur le territoire argentin un nouveau réseau géodésique, constitué de 127 points disséminés sur l'ensemble du territoire, mesurés par GPS et appelé POSGAR (POSitionnement Géodésique ARGentin). Ce réseau

POSGAR est défini par son ellipsoïde, WGS 84 et sa projection TM Gauss Kruger.

La cartographie classique du pays est, elle appuyée sur l'ellipsoïde de HAYFORD avec une projection TM Gauss Kruger. On appelle le système Campo Inchauspé.

Le pays est divisé en 7 fuseaux de 3 degrés. La province de Corrientes s'étend sur une partie du fuseau 5 et sur la quasi-totalité du fuseau 6.

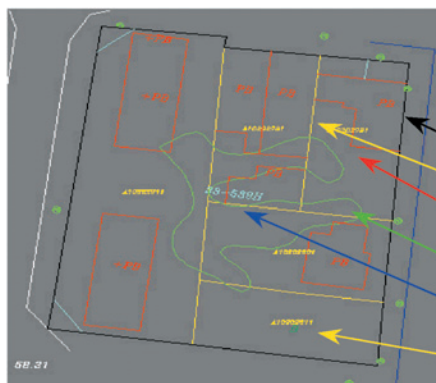
L'objectif du contrat est de densifier le réseau POSGAR sur la province en créant :

- Un réseau principal (*Red principal*) de 7 points appuyés sur les 2 points POSGAR existants dans la Province et constitué de 5 points du Campo Inchauspé et de deux points nouveaux.
- Un réseau secondaire (*Red secundaria*) de 22 points
- Un réseau de troisième et quatrième ordre constitué respectivement de 42 et 265 sommets.

Le cabinet Trenque-Rives-Saint Chamant a pris en charge tout le réseau géodésique, de son bornage à la livraison des coordonnées des sommets nouveaux. Cela a conduit à deux campagnes de trois mois sur place et au calcul d'un grand réseau géodésique de retour à Toulouse.

Compte tenu de l'étendue du territoire et des équipements à mettre en place, à ces réseaux géodésiques sont adjoints des réseaux locaux appelés *Red Basica Planialtimétrica RBP* (Réseau Basique Planialtimétrique). Ces réseaux couvrent les 29 zones urbaines avec 550 points.

Dans ce chapitre est également incluse la mesure des PAF, *Puntos de Apoyo Fotogramétricos* (Points d'Appui Photogramétrique). Mesurés par GPS, ils sont au nombre



Résultats :
Données graphiques structurées – Echelle : 1/500

Limites de « manzana »

Limites cadastrales

Limites de construction

Limites de zone arborée

Numéro de manzana

Nomenclature cadastrale

de 805 pour les zones au 1/20000 et 620 pour les zones au 1/5000.

Aerotriangulation

Divisé en deux parties du fait des échelles à traiter, ce chapitre a été traité par ICMA, une société argentine spécialisée en photogrammétrie qui a eu en main plus de 1500 couples.

Restitution digitale

La restitution digitale est un chapitre classique des travaux de cartographie. Le contrat demandait la restitution de tous les détails topographiques, accidents naturels et artificiels et des constructions, le tout classé par couche d'information pour toutes les zones à restituer. Il était demandé de surcroît la couche altimétrie pour les zones urbaines.

Au final, un semis constitué des PAF et des points de passage entre couples a été livré, permettant ainsi de construire un modèle numérique de terrain.

Pour ce qui est de la restitution urbaine à l'échelle de 1/500, un groupe de géomètres professionnels a été employé pour effectuer le recoulement et le complément de terrain. Ceci a permis de figer l'adéquation entre limites apparentes et restitution et de mettre à profit la bonne

connaissance par des professionnels dans chaque zone géographique.

Individualisation parcellaire urbaine

Ce chapitre est la grande nouveauté par rapport aux autres contrats déjà exécutés en Argentine. En effet, les autres provinces ayant adhéré au programme d'assainissement financier avaient simplement mis en place une cartographie et une numérisation de la documentation cadastrale quand elle existe.

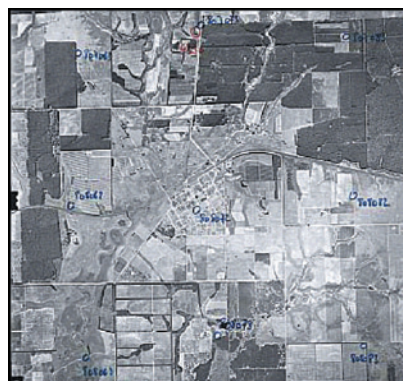
Ici en plus de la cartographie conventionnelle et numérique, il y avait obligation d'individualiser c'est-à-dire de reconnaître chaque parcelle répertoriée dans la documentation cadastrale.

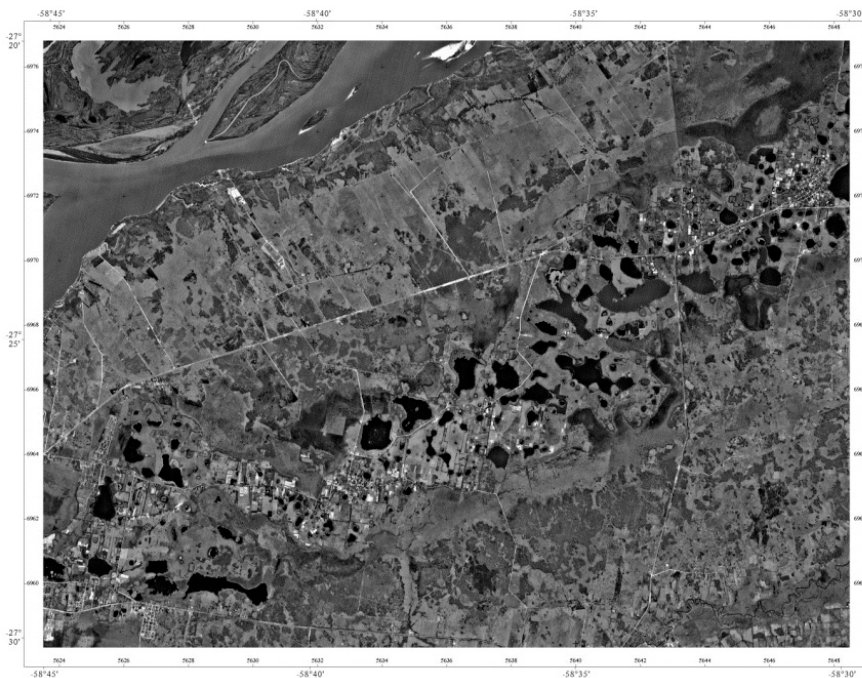
Le volet *Actualisation du cadastre* couvre la totalité du territoire de la Province c'est-à-dire 89 000 km² et plus de 250 000 parcelles dont 200 000 en zones urbaines.

Dans les zones urbaines, le plan cadastral était à créer totalement. En effet, il n'existe pas de plan cadastral, mais seulement une vaste documentation sous forme de dossiers contenant au mieux une *mensura* (plan régulier mesuré par un géomètre pour un bornage ou une division de terrain et rattaché à des éléments fixes du terrain) un croquis de conservation ou pire une simple déclaration.

Tous ces dossiers ont été compilés permettant de construire chaque *manzana* (pâté de maisons) comme un puzzle et de mettre en évidence l'adéquation entre limites apparentes et limites des titres de propriété.

Un plus grand poids a été donné aux limites apparentes, révélant ainsi des différences avec la définition fiscale des parcelles et permettant de mettre en évidence d'éventuels problèmes à résoudre dans le futur et notamment





lors du recensement. Une tolérance de 5% a été acceptée entre superficie graphique et superficie déclarée. Les parcelles dépassant cette tolérance au croisement des bases de données graphique et alphanumérique se sont vues affecter un code d'anomalie.

L'objectif final du Cadastre étant de produire un certificat cadastral, il a été convenu de saisir les cotes périmétriques déclarées et non de coter à partir du fichier résultant de la restitution et de l'individualisation.

Il est bien évident que le produit est loin d'être parfait et de correspondre à la documentation idéale pour un cadastre fiscal. Par contre, il a le mérite d'identifier les problèmes latents et permettre ainsi un traitement postérieur de toutes les anomalies rencontrées.

Cartographie rurale

La grande innovation en matière de cartographie est l'usage des images satellitaires pour mettre en place une cartographie digitale sur de grands territoires.

La province est couverte avec des images SPOT Panchromatiques

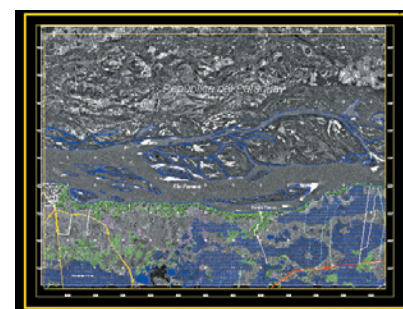
d'une résolution de 10 mètres, prises entre mars et septembre de 1995, période hivernale afin de profiter des basses eaux des rios alentour et du peu de végétation.

Les spécifications techniques de ce chapitre quoique concises sont suffisamment précises et donnent en quelques paragraphes les contraintes d'acquisition des images en terme de qualité, d'absence de nuages, d'appui pour la spatiotriangulation et de découpage.

Les images acquises sont scènes SPOT niveau 1A c'est à dire ayant subi des corrections radiométriques et géométriques standard.

La correction géométrique et le géoréférencement des images se font à partir d'un modèle physique exact, et non par un modèle approché ou par un ajustement mathématique fondé sur des calculs statistiques (modèle polynomial).

Le modèle utilisé met à profit la parfaite connaissance de tous les paramètres de la prise de vue de la scène, ainsi que des paramètres nécessaires



pour décrire localement la surface terrestre (points d'appui satellitaires). Cette méthode conserve l'excellente qualité géométrique intrinsèque de l'image fournie par les 6 000 détecteurs en ligne.

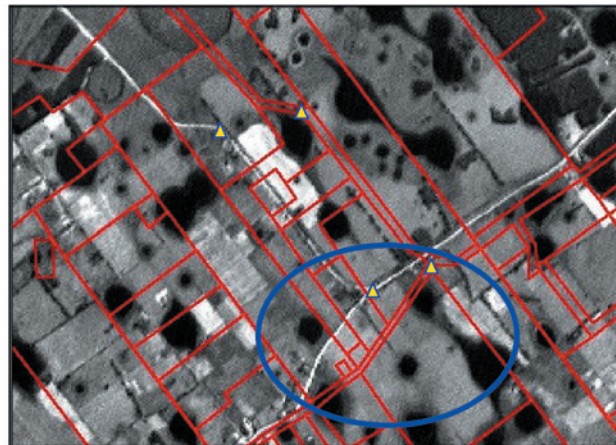
Le rééchantillonnage de l'image prend en compte les paramètres propres à la projection cartographique permettant ainsi d'obtenir une image superposable à une carte.

L'atelier de production de SPOT Image a réalisé la production des spatio-cartes et notamment la spatiotriangulation. Cette méthode est appliquée à un bloc de scènes voisines. Ceci permet de géoréférencer et constituer la mosaïque de toutes les scènes d'une région, puis de découper cette mosaïque en blocs images correspondant aux coupures cartographiques.

Certains traitements d'amélioration de visualisation augmentent la lisibilité des images en fonction de leur utilisation. Ici le traitement du contraste local, certains filtrages, et le rehaussement de contour ont amélioré les spatio-cartes pour la cartographie rurale et le cadastre, car cela a permis de mieux visualiser tous les réseaux routiers, hydrographiques, ferrés qui constituent l'ossature du plan cadastral, ainsi que les limites apparentes des parcelles.

L'ensemble des traitements géométriques et d'amélioration de visualisation facilitent grandement le travail du photointerprète, puisque les spatio-cartes fournissent à la fois le fond

Dans les zones urbaines, le plan cadastral était à créer totalement. En effet, il n'existe pas de plan cadastral, mais seulement une vaste documentation sous forme de dossiers contenant au mieux une mensura (plan régulier mesuré par un géomètre pour un bornage ou une division de terrain et rattaché à des éléments fixes du terrain) un croquis de conservation ou pire une simple déclaration.



L'objectif étant de produire un nouveau plan cadastral prenant en compte la «réalité» du terrain, les fichiers vecteurs ont donc été adap-



Si j'ai beaucoup appris techniquement lors de ce projet au travers de l'analyse approfondie du système cadastral argentin, puis de sa brillante intégration dans un système d'information géographique, le plus grand bénéfice que j'ai pu en tirer est celui des relations humaines et de l'adaptation à un monde si proche et pourtant si différent de celui que nous connaissons en Europe. ●

Organisation du calcul d'un coordonnées cartésiennes trir en coordonnées bidimension

On se rapportera à la lettre ouverte que m'a adressé M. André Fontaine[1]. On donne ci-après les algorithmes à utiliser pour réaliser ce qu'il a préconisé dans ses interventions. Les logiciels correspondants sont librement disponibles sur le site de l'AFT.

On veut calculer les coordonnées ellipsoïdales d'un point 2 inconnu en partant d'un point 1 connu. On a stationné les deux points simultanément avec deux récepteurs GPS ; on obtient directement, du calcul des observations GPS, un vecteur $V_{1 \rightarrow 2} = \Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ séparant les points 1 et 2, dans le système cartésien géocentrique.

On cherche à transformer ce vecteur en coordonnées azimutales, à savoir son azimuth $Az_{1 \rightarrow 2}$, sa longueur sur le géoïde ΔS , sa distance zénithale Z est aussi nécessaire, même si on doit ne travailler qu'en coordonnées bidimensionnelles sur une surface courbe. Les relations données dans [1] développées sont :

$$\Delta L_2 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2},$$

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

$$Z = \text{Arcos}\left(\frac{\Delta X \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\lambda) + \Delta Y \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\lambda) + \Delta Z \cdot \sin(\varphi)}{\Delta L}\right)$$

Selon les notations habituelles φ et λ sont, respectivement, la latitude et la longitude, par hypothèse connues, du point 1. Dans ce qui suit ces valeurs sont considérées comme fixant la direction de la verticale au point connu 1, on sait évidemment que c'est aux "déviations de la verticale" près. On doit prendre des précautions de calcul, en effet l'azimut doit être défini sur 2π , on utilise pour cela, soit des fonctions informatiques qui ont été décrites dans ces pages, soit la fonction $\text{Arctan2}(Y, X)$ à deux paramètres qui existe dans certains langages informatiques (Pascal ou C++ notamment). Pour la distance zénithale Z , qui doit être définie de 0 à π , son arc cosinus est aussi ambigu, car $\cos(x) = \cos(-x)$; au voisinage de $\frac{\pi}{2}$ la seule fonction continue utilisable est la cotangente, on transforme donc la formule plus haut pour la faire apparaître, puis faire

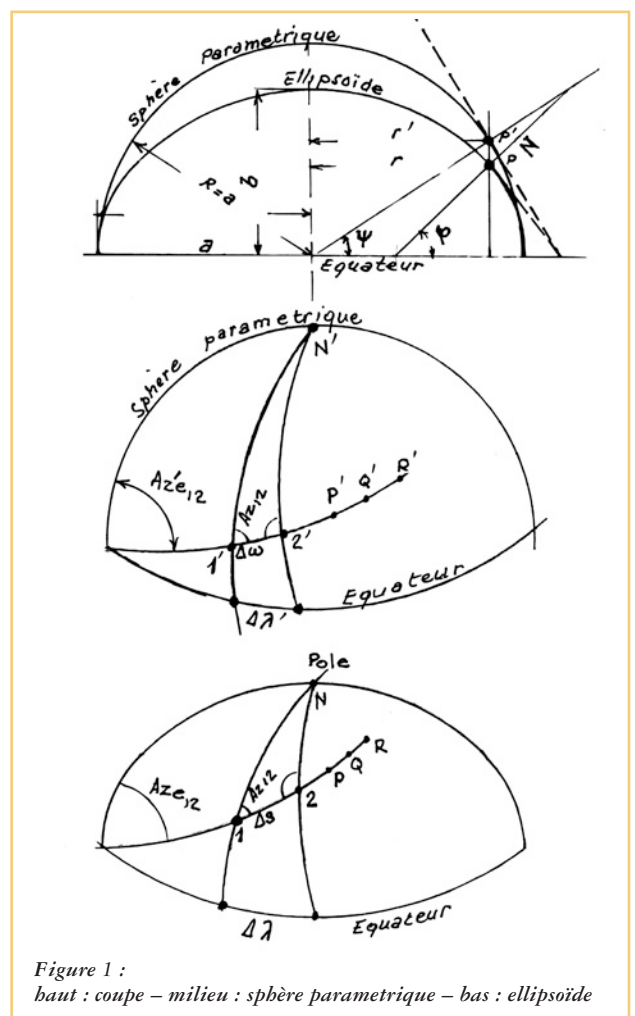


Figure 1 :
haut : coupe – milieu : sphère paramétrique – bas : ellipsoïde

$$Z = \text{Arctg}\left(\frac{\cos(Z)}{\sin(Z)}\right) - \frac{\pi}{2}$$

Transformation de la distance rectiligne en distance courbe le long du géoïde

Il convient, d'abord, de transformer la distance inclinée ΔL en distance développée ΔS sur le géoïde. Il semblerait qu'on se trouve tout simplement dans une situation clas-

vecteur GPS exprimé en ectangulaires géocentriques nelles sur le géoïde

Claude Million

sique, celle étudiée, notamment par Heiskanen et Moritz dans "Physical Geodesy" pour les mesures faites au distancemètre [3], ceci n'est pas exact, c'est pourquoi on prendra une solution différente, puisque la distance zénithale calculée n'est pas affectée par la réfraction comme le sont les mesures rasant le sol, et parce qu'on ne connaît ni le rayon exact R en 2, ni la hauteur au-dessus du géoïde h_2 , en ce même point. On adopte la relation :

$$\Delta S = R \cdot \text{Arc sin} \left(\frac{\Delta L \cdot \sin(Z)}{\sqrt{(R+h)^2 + \Delta L^2 + 2 \cdot (R+h) \cdot \Delta L \cdot \cos(Z)}} \right)$$

avec h altitude du point de départ 1. Mais l'arc sinus, lui aussi, est ambigu, mais pour les distances en cause cela serait sans conséquences, toutefois, pour dérouter les puristes le cas a été traité !

Ceci impose de calculer le rayon de courbure R en 1. Puisqu'on connaît l'azimut de la direction 1-2 soit Az , le moyen le plus précis nous a semblé être d'utiliser la formule d'Euler, toutefois, pour simplifier on pourrait tout aussi bien adopter la courbure moyenne ; on doit calculer, au préalable N , la grande normale et ρ , le rayon méridien de courbure de l'ellipsoïde.

On a établi un logiciel pour comparer les deux méthodes Le rayon de courbure moyen sera $R = \sqrt{N \cdot \rho}$ avec a demi-grand axe de l'ellipsoïde et b son petit demi-axe, majorés ou non (voir plus loin a' et b') :

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2(\varphi)}}, \text{ et } \rho = N^3 \cdot \frac{1 - e^2}{a^2}, N \cdot \rho = \frac{(1 - e^2) \cdot a^2}{(1 - e^2 \cdot \sin^2(\varphi))^2},$$

$$R = \frac{b}{1 - e^2 \cdot \sin^2(\varphi)}, \text{ ou } R_{1 \rightarrow 2} = \frac{N}{\frac{N}{\rho} \cdot \cos^2(Az_{1 \rightarrow 2}) + \sin^2(Az_{1 \rightarrow 2})}$$

On a deux solutions, soit a est le grand axe de l'ellipsoïde et on "applique" la "mesure" sur l'ellipsoïde GRS80, soit on "ajoute" à a la hauteur du géoïde h_g selon les relations

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

et on la développe sur le géoïde, ou à très peu près. On est alors

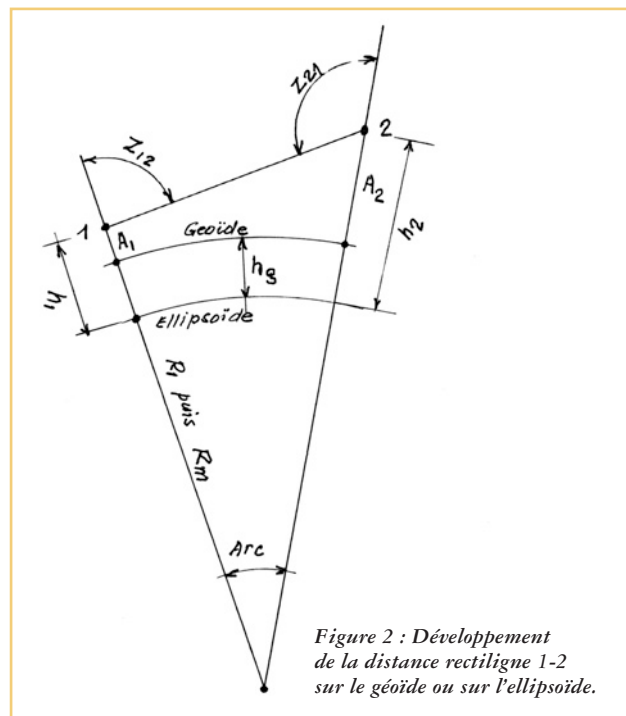


Figure 2 : Développement de la distance rectiligne 1-2 sur le géoïde ou sur l'ellipsoïde.

en rupture avec le référentiel officiel [2]. C'est ce qu'on a fait.

Pour affiner les résultats, qui sont au même degré de précision que le rayon R , on reprend le même calcul après avoir déterminé les coordonnées géographiques très approchées de 2. On calcule $R_{1 \rightarrow 2}$ (formule 3) puis on adopte un rayon moyen $R_m = \frac{R_{1 \rightarrow 2} + R_{2 \rightarrow 1}}{2}$ puis on ne reprend

qu'une seule fois le calcul des coordonnées de 2 (figure 2).

Passage du géoïde à la sphère paramétrique Calculs de ω_2

Pour passer du développement linéaire de l'arc ΔS à l'angle sphérique $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$, on a bien sûr :

$$\Delta\omega = \frac{\Delta S}{b} - u^2 \cdot \Delta I_2 + u^4 \cdot \Delta I_4 - u^6 \cdot \Delta I_6 + u^8 \cdot \Delta I_8 + \dots$$

seulement $\Delta I_{2,i}$ est fonction de $\Delta\omega$, il faut donc procéder

par itérations à partir de :

$$\Delta \omega_0 = \frac{\Delta S}{b}$$

(Voir Annexe, éventuellement, pour les développements)

La latitude sphérique ψ sur la sphère de Jacobi (sphère paramétrique) est donnée par :

$$\psi_1 = \text{Arctg}\left(\frac{b}{a} \cdot \text{tg}(\varphi_1)\right) = \text{Arctg}(\sqrt{1-e^2} \cdot \text{tg}(\varphi_1)).$$

soit $Az_{E1 \rightarrow 2}$ l'azimut de la géodésique à l'équateur (voir la figure 1) :

$$\sin(Az_{E1 \rightarrow 2}) = \frac{r}{a} \sin(Az_{1 \rightarrow 2}) = \cos(\psi) \sin(Az_{1 \rightarrow 2})$$

$$\sin(\omega_1) = \frac{\sin(\psi_1)}{\cos(Az_E)}, \quad \omega_2 = \omega_1 + \Delta \omega \quad (7),$$

Calculs sphériques

On utilise les formules suivantes plus précises, pour les calculs numériques, que les formules plus traditionnelles en cosinus :

$$\sin(\psi_2) = \sin(\psi_1) \cdot \cos(\omega_2 - \omega_1) + \cos(\psi_1) \cdot \sin(\omega_2 - \omega_1) \cdot \cos(Az_{1 \rightarrow 2})$$

$$\sin(Az_{2 \rightarrow 1}) = \frac{\cos(\psi_1)}{\cos(\psi_2)} \cdot \sin(Az_{1 \rightarrow 2})$$

$$\sin(\lambda'_2 - \lambda'_1) = \sin(\omega_2 - \omega_1) \cdot \frac{\sin(Az_{1 \rightarrow 2})}{\cos(\psi_2)}, \text{ d'où } \Delta \lambda'$$

Retour aux coordonnées ellipsoïdales

$$\varphi_2 = \text{Arctg}\left(\frac{a}{b} \cdot \text{tg}(\psi_2)\right) = \text{Arctg}\left(\frac{1}{\sqrt{1-e^2}} \cdot \text{tg}(\psi_2)\right)$$

pour la latitude de 2.

Pour la longitude on calcule une petite correction, de 3/1000 environ, à apporter à $\Delta \lambda'$:

$$\frac{\varepsilon}{\sin(Az_E)} = E_0 \cdot \Delta \omega - E_2 \cdot u^2 \cdot \Delta I_2 + E_4 \cdot u^4 \cdot \Delta I_4 - E_6 \cdot u^6 \cdot \Delta I_6 + \dots$$

mais cette fois on connaît les $\Delta I_{2,i}$ déjà calculés plus haut (formule 4 et annexes), on fait ensuite :

$$\Delta \lambda = \Delta \lambda' - \varepsilon, \text{ d'où la longitude de 2 : } \lambda_2 = \lambda_1 + \Delta \lambda$$

Calcul de R en 2 et de l'altitude du point 2

Figure 3 : Fontaine

Figure 4 : PL93

Figure 5 : Transfo

On calcule aisément la distance du point 2 au centre de courbure en 2 par la formule de trigonométrie :

$$(R_2 + h_2)^2 = (R_1 + h_1)^2 + \Delta L^2 + 2 \cdot (R_1 + h_1) \cdot \Delta L \cdot \cos(Z)$$

On calcule, ensuite, le rayon de courbure

$$R_2 = \frac{b}{(1 - e^2 \cdot \sin^2(\varphi_2))}, \text{ ou } R_{2 \rightarrow 1}$$

voir (3) d'où h_2 seulement si on en a besoin. Si on suit un cheminement la somme $(R_2 + h_2)$ servira à calculer le côté du triangle suivant en prenant la place du terme $(R_1 + h_1)$ des relations précédentes, et ainsi de suite jusqu'à la fin. Par souci de précision, et pour faire obstacle aux tentatives de mettre le logiciel en défaut sur de longues distances, on itère comme indiqué plus haut en calculant un rayon moyen entre 1 et 2 soit

$$Rm = \frac{R_{1 \rightarrow 2} + R_{2 \rightarrow 1}}{2}$$

Logiciel

La partie informatique ne comporte aucune difficulté, on programme les relations (1) à (10) et le programme se déroule linéairement, en repartant en tête à chaque nouveau côté en cas de cheminement. La figure 3 montre la fiche de travail. Si on ne possède pas de jeu d'essai réel on appuie sur "Valeurs par défaut", puis sur le bouton "Entrer des données", les données changent de couleur pour bien montrer qu'elles sont enregistrées, on "clique" ensuite sur "Calculs préliminaires". On obtient sur le bas de la colonne de gauche la longueur ΔS développée sur l'ellipsoïde (hauteur du géoïde à zéro) ou sur un ellipsoïde concentrique de GRS80 plus proche du géoïde (hauteur du géoïde renseignée), l'azimut Az et la distance zénithale Z du vecteur en grades. Avant de poursuivre on a intérêt à vérifier que ces valeurs sont plausibles. On appuie ensuite sur "Calculs définitifs" et les résultats λ et φ s'affichent sur la colonne de droite. En appuyant sur le bouton "Cheminement" on transfère les résultats en données de latitude de longitude et altitude comme origine du vecteur suivant. Le logiciel n'a pas pu être testé avec des valeurs réelles au-delà de quatre côtés.

Le logiciel avait été, initialement, compliqué en introduisant la possibilité de faire les mêmes calculs sur l'ellipsoïde de Clarke 1880, mais cela entraînait des risques de confusions dans la présentation de la fiche, on a établi, pour traiter ce cas, un autre logiciel indépendant de celui présenté ici. La seule difficulté est la prise en compte des

rotations entre les deux référentiels, car les translations de l'origine par zones déterminées par l'IGN n'affectent évidemment pas le vecteur si ses deux extrémités sont dans la même zone. Pour la suite, si on met de côté le problème d'échelle très facile à traiter, il semble qu'en pratique une correction très faible de l'azimut du vecteur, variable suivant les zones, suffise, mais cela reste encore à confirmer.

De même, la suite du programme "PL93" (la figure 4) est une transformation des coordonnées géographiques bidimensionnelles φ et λ en coordonnées du système Lambert 93 dont les caractéristiques ont été tirées de [4]. Mais là, rien de neuf. On a traité de même, le cas de la transformation des coordonnées géographiques de la NTF en coordonnées Lambert (I, II, III, et IV), et essayé la méthode préconisée dans [3].

Conclusions

On a préféré, plutôt que d'épiloguer à l'infini, mettre à la disposition des géomètres ou des topographes les moyens de vérifier par eux-mêmes les différences qui existent entre le rabattement orthogonal des points de la surface topographique sur l'ellipsoïde de référence et le cheminement de la géodésie traditionnelle sur le géoïde. A eux de faire leur choix en fonction des besoins de leurs clients. Pour faire des comparaisons on a joint un logiciel de passage des coordonnées cartésiennes géocentriques de WGS 84 aux coordonnées qu'on a appelées "géographiques tridimensionnelles" : φ , λ , et h_e ("Transfo" la figure 5).

Aucun des calculs ci-dessus n'est nouveau, ce qui est neuf c'est leur prise en compte par des topographes, le calcul de l'arc ellipsoïdal à l'aide de la distance zénithale, et la possibilité d'enchaîner les calculs dans un cheminement, tout cela pour mélanger, sans faire d'erreur de principe, des mesures GPS et des mesures traditionnelles.

On a essayé le logiciel sur deux points du réseau géodésique Français. On a, au préalable, transformé les coordonnées tridimensionnelles λ , φ , h_e des deux points en coordonnées cartésiennes géocentriques X, Y, Z à l'aide de "Transfo". Les différences des coordonnées carté-

siennes entre ces deux points ont fourni le vecteur GPS : ΔX , ΔY , ΔZ , puis les coordonnées géographiques du premier point λ_1 , φ_1 , ont été adoptées comme coordonnées du point de départ, on a ensuite appliqué le logiciel "Fontaine" sur le géoïde. On obtient les résultats suivants :

Départ	Arrivée
$\lambda_1 = -1^\circ 20' 11'' 76082$	$\lambda_2 = -1^\circ 06' 23'' 77995$
Soustons II a ;	Bellus 01 a
$\varphi_1 = 43^\circ 45' 23'' 54537$	$\varphi_2 = 43^\circ 35' 39'' 05529$
	$\lambda_2 = -1^\circ 06' 23'' 77761$
On a obtenu	$\varphi_2 = 43^\circ 35' 39'' 05277$

Soient des différences de 7,2cm et 5,2cm pour une distance de 25 Km environ.

On ne pense pas que la solution présentée dans [3] pour résoudre ce problème, soit la bonne. Elle consiste à appliquer à la longueur de l'arc de géodésie les corrections du module d'échelle de la projection pour en faire une longueur plane dans la projection, et les corrections de dv et de convergence des méridiens à l'azimut pour en faire un gisement, afin d'appliquer *in fine* une formule de géométrie plane très familière aux géomètres. Mais, pour calculer le module d'échelle et la correction de dv il faut, de toute manière, connaître les latitudes des deux termes de la géodésie 1 et 2 et de son milieu m , donc les calculer ! En calcul électronique, il suffit, alors, de transformer directement les coordonnées géographiques du point inconnu 2 en coordonnées Lambert, c'est plus rigoureux et infiniment plus simple.●

Références

- [1] André Fontaine **Comment faire un traitement géodésique des mesures GPS** in XYZ n°86 Février 1^{er} trimestre 2001.
- [2] Décret n°2000-1276 du 20 Décembre 2000.
- [3] Françoise Duquenne **GPS : Nouveau Système de Référence Géodésique Français, nouveaux processus de calculs**, in Bulletin des Sciences Géographiques n°6 Sept 2000 INCT Alger

Marino di Teana «En acier, j'écris

***Liberté,
Place du général de Gaulle
94120 Fontenay-Sous-Bois***

***Tels sont les nom et
adresse de la sculpture
qui domine et donne son
identité à l'urbanisation
nouvelle née au croisement
de la voie ferrée Paris-Bâle
et de la branche Est
de la ligne A du R.E.R.
transilien.***

Son matériau, l'acier carbone, et sa couleur rouille proche de celle du hêtre pourpre, en évoquant le travail du fer et la révolution industrielle, s'intègrent bien dans un quartier à l'origine ouvrier qui a su garder une population populaire.

La topographie du lieu a imposé une implantation décentrée, au plus haut du rond-point devenu giratoire. Ainsi les vingt et un mètres de l'œuvre en imposent plus encore, notamment aux voyageurs sortant de la gare de Val de Fontenay. Pour donner l'échelle de la structure un passage d'homme est percé dans son socle.

Autant de points de vue, autant de perceptions. D'abord d'allure monolithique, le monument, dès que l'on tourne autour, laisse apparaître des échancrures régulières, puis, en continuant la ronde, des fenêtres ouvertes donnant ainsi réalité aux espaces qui s'inscrivent entre les formes. L'ensemble est constitué de multiples parallélépipèdes verticaux, de portions de disques et d'anneaux placés dans des plans orthogonaux.



Photo : Yvette Velay

ton nom Liberté»

Jean-Pierre Maillard

Rien d'autre. Pas d'angles, pas de biseaux. Tout est dans la composition qui imprime aux verticales la force et la stabilité, aux arrondis la grâce et la légèreté jusqu'à suggérer, à tel instant, des pétales qui s'ouvrent. La magie de la géométrie s'est une nouvelle fois manifestée au travers d'un volume épuré et construit tout en paraissant habité en son for intérieur de quelque chose de vivant.

Implantée en 1989-1990, «Liberté» est bien représentative de la production plastique des «Trente glorieuses» avec sa recherche de nouveaux matériaux et la confusion entre art et technique. Rien d'étonnant que sa commande soit le fait du Conseil général du Val de Marne, département de la banlieue dite rouge de la capitale.

Il fallait que son auteur soit tout à la fois industriel et architecte, mathématicien et artiste. Tel est le cas. Marino di TEANA comme son nom l'indique et selon sa volonté est né à Téana en Italie du Sud en 1920. Successivement berger et maçon il rejoint adolescent son père émigré en Argentine. Il travaille le jour et étudie le soir jusqu'à être reçu à l'Ecole des Beaux-Arts de Buenos-Aires. Ainsi c'est un peintre reconnu qui rentre en Europe en 1952. Il choisit de se fixer en France où il a la révélation de sa théorie triunitaire qui fonde son œuvre. Voilà comment il rapporte sa

découverte : « J'admirais la Tour Eiffel qui constitue un changement de structure capital pour l'histoire du modernisme. Soudain, je vis avec des yeux neufs cette vaste perspective urbaine que j'avais toujours aimée. Partant de l'Ecole Militaire, l'espace du Champ de Mars, d'une beauté unique s'engouffrait dans la Tour Eiffel, passait à travers cet énorme trou, se canalisait d'une manière vivante entre les deux bâtisses du Palais de Chaillot, pour buter sur la statue équestre de Foch et s'y écraser. L'espace ne passait plus à travers. J'eus tout à coup l'idée, afin de laisser continuer la course de l'espace, de séparer la statue de Foch en deux. En la coupant par moitié, j'obtiens ainsi un cheval-espace au milieu de deux corps-masses, une moitié d'un côté, une moitié de l'autre. Par contre, au lieu d'un cheval, j'en aurais trois. Découverte capitale ! J'étais bouleversé. »

Cette réflexion a été formalisée dans un opuscule « L'homme et l'univers mobiles ». Dans ce document, il développe un postulat philosophico-mathématique donnant une matérialité à ce qui est entre deux termes jusqu'à y voir trois entités et, dans le prolongement de sa logique, affirmer notamment que : $1+1=3$

Marino di Teana ne prétend pas sa démarche scientifique. Cependant cette logique a été élaborée pour nourrir sa conception plastique struc-

turelle, créer son propre monde et voir dans la toute les formes géométriques des artifices inventés par le Chaos.

Dans son atelier de Périgny-sur-Yerres, où il voisine avec la villa Falbala de la Fondation Dubuffet, fort d'une reconnaissance méritée, Marino di Teana travaille inlassablement les formes jusqu'à rendre aujourd'hui le géométrique figuratif. Son goût de la perfection l'amène à penser à toutes échelles car ses sculptures sont conçues aussi bien pour orner une vitrine que pour devenir des bâtiments potentiellement habitables. Ainsi, au delà du sculpteur, Marino di Teana se révèle également une architecte-urbaniste dont l'utopie est largement emprunte de bon sens et pleine de son expérience de bâtisseur.

En géométrie, un dessin vaut toujours mieux qu'un long discours. C'est pourquoi, à toutes fins utiles, il est noté que le musée de Brunoy (Essonnes) accueille actuellement et jusqu'au 15 juillet 2001 une exposition di Teana au 16, rue du Réveillon (Tel 01 60 46 33 60).

Y verrez-vous aussi la Géométrie du chaos ? ●

Erratum : Dans le sommaire et le titre de l'article «Art et Géométrie» du n°86 d'XYZ le nom de l'artiste aurait dû être écrit Sol LeWitt et non Lewitt. Les puristes auront rectifié.

L'ensemble est constitué de multiples parallélépipèdes verticaux, de portions de disques et d'anneaux placés dans des plans orthogonaux. Rien d'autre. Pas d'angles, pas de biseaux. Tout est dans la composition qui imprime aux verticales la force et la stabilité, aux arrondis la grâce et la légèreté jusqu'à suggérer, à tel instant, des pétales qui s'ouvrent.



Une borne qui

Traiter d'un sujet aussi banal en apparence que les bornes dans une revue de haut niveau technique et scientifique comme XYZ et au beau milieu d'articles d'une si haute tenue implique de la part d'un rédacteur une certaine dose d'humilité. Néanmoins, il me semblait intéressant de partager avec tous les lecteurs d'XYZ ma récente connaissance de cette industrie qui ne fait pas souvent parler d'elle mais dont l'histoire ne manque pas d'intérêt.

Beaucoup d'entre nous ont eu l'occasion de mettre en place des bornes, à un moment ou à un autre de leur carrière, que ce soit dans des applications topographiques, géodésiques ou foncières. Les plus jeunes ont eu, en principe, la chance de ne manipuler que les bornes actuelles, légères et plutôt faciles à planter, mais les plus anciens, dont votre serviteur fait partie, se souviennent bien du travail de forçat et des mémorables suées impliquées par le transport et la mise en place des anciennes bornes en béton ou granit, pesant 30 ou 40 kilos, voire plus.

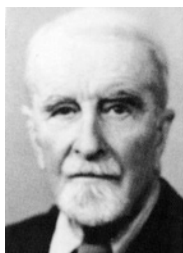
A la fin des années 60 on ne connaissait pratiquement que ces dernières malgré l'apparition de nouvelles bornes en plastique, certes très légères, mais dont la résistance à l'arrachement laissait les utilisateurs et le monde rural plutôt perplexes dans nombre de régions.

Au début des années 70 apparurent les premières bornes Feno qui ne tardèrent pas à se tailler un franc succès, jamais démenti depuis. Quelle en était donc la raison ?

Et bien c'est ce que je vous propose de découvrir en détail dans le présent article en vous contant leur histoire et celle de leur concepteur et en vous brossant le portrait de l'entreprise qui les fabrique.

Historique

Transportons nous dans le secteur boisé du département des Ardennes, à Thilay, petit village de la vallée de la Semoy, une rivière qui se jette dans la Meuse à Monthermé quelques kilomètres plus loin. Il y a là une tradition métallurgique datant du XVI^{ème} siècle et un savoir faire ancestral dans le travail des métaux.



Nous sommes en 1912 et c'est dans ce décor qu'Emile Faynot (1880-1962), Ingénieur Arts et Métiers fonde la petite boulonnerie qui portera son nom.

Les premières productions seront des boulons spéciaux destinés à l'assemblage de pièces avant rivetage dans l'industrie navale, les wagons et les ponts métalliques.

Le sérieux de la jeune entreprise et sa capacité à fournir des produits sortant des gammes standards lui assurent un développement régulier qui lui permettra de résister aux deux conflits mondiaux.

Au début des années 50, les Ets Faynot prennent une toute autre dimension avec l'arrivée d'un personnage clé, Jean Thévenin (1923-1996), jeune ingénieur ICAM, doué d'une rare inventivité et d'un bel

esprit de prospective. Il perçoit tout de suite le potentiel encore inexploité de cette petite boulonnerie familiale. Il s'y investira durant le reste de sa vie pendant presque 50 ans.



Très vite, il constate que la marine et les chemins de fer délaissent de plus en plus le rivetage au profit de la soudure et qu'il est nécessaire de revoir globalement l'offre produits. Or, la fin de la guerre n'est pas si lointaine et la reconstruction bat son plein. Jean Thévenin, qui entre temps a pris la direction de l'entreprise, décide de se tourner vers le secteur du bâtiment et, plus exactement, vers la production de fixations pour toitures et bardages.

Un de ses premiers succès : les tiges filetées et les crochets galvanisés à chaud qui permettent aussi bien de fixer les plaques ondulées de fibres-ciment que les tôles sur charpentes métalliques.

Autre innovation révélatrice : la galvanisation à chaud*. Elle constitue à cette époque un traitement assez peu répandu. Chez Faynot, dorénavant, tous les produits exposés aux phénomènes de corrosion seront galvanisés à chaud de façon systématique.

L'élan est donc donné et le développement de l'entreprise s'appuie sur la mise au point de procédés de fabrication brevetés, de nombreux nouveaux produits :

- vis autoperceuses,
 - vis autotaraudeuses,
 - vis têtalu,
- mais aussi de systèmes inédits.

Une des grandes qualités de l'inventeur génial qu'était Jean Thévenin fut non seulement d'avoir eu des idées de produits nouveaux mais aussi et surtout d'avoir su

a de bonnes racines

Michel Primault

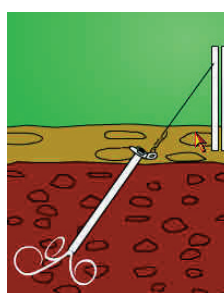
parallèlement mettre au point avec le même génie les procédés et les outillages nécessaires à une production industrielle très économique, gage d'un coût réaliste et donc en phase avec les attentes des marchés visés.

Au milieu des années 80 se sera l'invention d'un procédé original pour la rénovation des toits : **la Surtoiture Feno**. Ce système breveté - qui a l'avantage de redonner vie à une toiture fatiguée sans démontage de l'ancienne - n'a jamais été égalé et toutes les imitations ayant vu le jour depuis n'ont jamais atteint le même niveau technique.

Aujourd'hui, le secteur bâtiment de Faynot représente environ 60% du chiffre d'affaires de l'entreprise et plus de 3000 références qui lui permettent de figurer parmi les toutes premières entreprises européennes dans cette branche d'activité.

La diversification étant une caractéristique de la stratégie Faynot, dès le début des années 70 deux nouveaux secteurs d'activité viennent s'ajouter au département Bâtiment : les produits pour le palissage des vignes - Département Viticulture - et les bornes pour géomètres - Département Topographie.

Ce sera en premier lieu l'apparition du **Fenox**, tendeur de fil original. Le tendeur Fenox séduit immédiatement les viticulteurs par son efficacité sans égal et s'impose dans toutes les régions viticoles de France et d'Europe puis aux USA, en Afrique du Sud et en Australie.



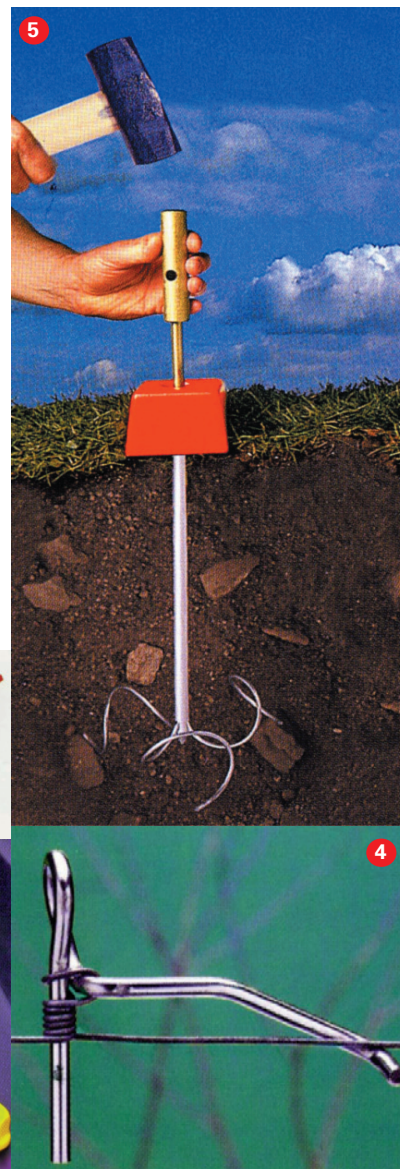
Amarre Fenox en place
en extrémité de rang

Très vite Fenox devient le nom de toute une gamme de produits brevetés pour le palissage des vignobles : liens métalliques, barrettes, disques d'ancrage, etc... et, surtout, la fameuse amarre à tiges déployables, due une fois encore au génie créatif de Jean Thévenin.

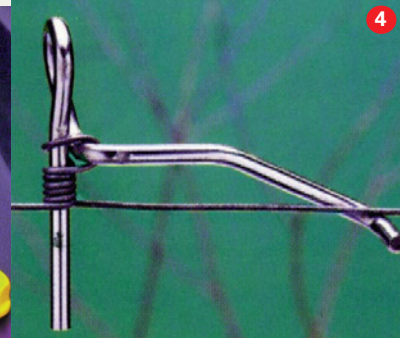
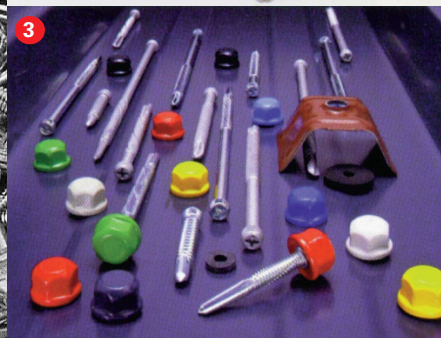
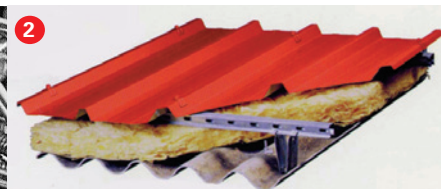
Dans la foulée se met en place le secteur topographique avec la création de la borne Feno polyroc qui constitue une petite révolution dans l'uni-

vers du bornage et dont le succès immédiat n'a jamais été démenti. Les bornes Feno s'exportent d'ailleurs dans plus de trente pays.

Différents produits suivent ensuite et finissent par constituer un catalogue très complet. Aujourd'hui, le C.A. généré par cette activité est de l'ordre de 30% du C.A. total.



- 1- Vis autoperceuses
- 2- Coupe d'une surtoiture Feno
- 3- Visserie et accessoires de surtoiture
- 4- Le tendeur Fenox
- 5- Mise en œuvre d'une borne Feno



Le concept Feno

Comment Faynot en est-il arrivé à concevoir et fabriquer des bornes topographiques ?

On dit qu'un géomètre, ayant vu mettre en œuvre les amarres Fenox dans le vignoble, aurait suggéré à Jean Thévenin d'en faire des bornes.

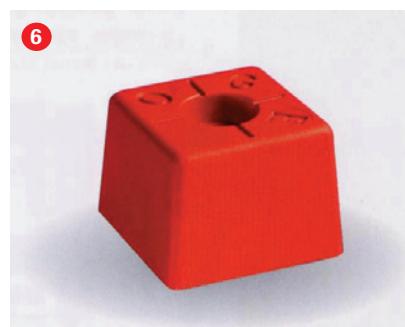
A partir de là, la stratégie habituelle de l'entreprise se déclencha et une enquête fut menée auprès des géomètres afin de déterminer :

d'une part les qualités indispensables que devaient posséder ces bornes, d'autre part les défauts qu'il convenait d'éviter absolument. En s'efforçant d'appliquer au mieux les enseignements de cette enquête, un cahier des charges fut rédigé qui conduisit aux conclusions suivantes :

Solidité et pérennité

N'oublions pas qu'il fallait remplacer la borne traditionnelle en granit ou en béton auprès de populations peu enclines au changement et apporter la preuve que la nouvelle borne avait les mêmes qualités malgré sa masse et son encombrement moindre. L'objectif était de trouver pour la tête une matière qui puisse se rapprocher le plus possible du granit. Après de nombreux tests, le **béton polyroc** fut adopté. Ce dernier, constitué d'une résine chargée de sable et aussi indestructible que le granit, devait permettre de donner entière satisfaction aux géomètres les plus exigeants. En ce qui concerne le choix de l'amarre, sa pérennité devait être assurée par le procédé exclusif de **galvanisation à chaud au trempé*** lui conférant une résistance trentenaire à la corrosion.

6- Tête de borne polyroc standard
7 - Ogive d'une amarre Feno
8 - Mise en œuvre d'une borne Feno



Facilité de pose

L'objectif était d'éviter les masses, les barres à mines et tous les outillages lourds et encombrants. A quoi aurait servi en effet de concevoir une borne plus légère s'il avait fallu transporter à chaque point de bornage un énorme poids d'outillage ?

La borne FENO Polyroc pouvait être plantée avec un outillage de quelques centaines de grammes : outil d'enfoncement et mandrin. Une simple massette du genre de celles utilisées dans les chantiers d'arpentage était largement suffisante pour enfoncer la borne FENO dont l'**ogive compacte en acier usiné** pouvait pénétrer dans tous les sols (meubles ou pierreux) et à toute époque de l'année (sols gelés ou non).

Précision du bornage

La précision étant évidemment un des objectifs fondamentaux de l'opération de bornage, il fallait éviter :

- d'enfoncer la borne en frappant directement sur sa tête avec une masse, la précision dans ce cas étant irrémédiablement compromise
- de faire subir le moindre mouvement de rotation à cette dernière. En effet toute rotation qui ne serait pas obtenue par l'application d'un couple parfait serait accompagnée d'un mouvement de translation.

Aucune de ces erreurs ne devait être possible avec l'emploi de la borne **Feno Polyroc**, le verrouillage s'effectuant par le déplacement du mandrin à la verticale du point.

Inviolabilité du bornage

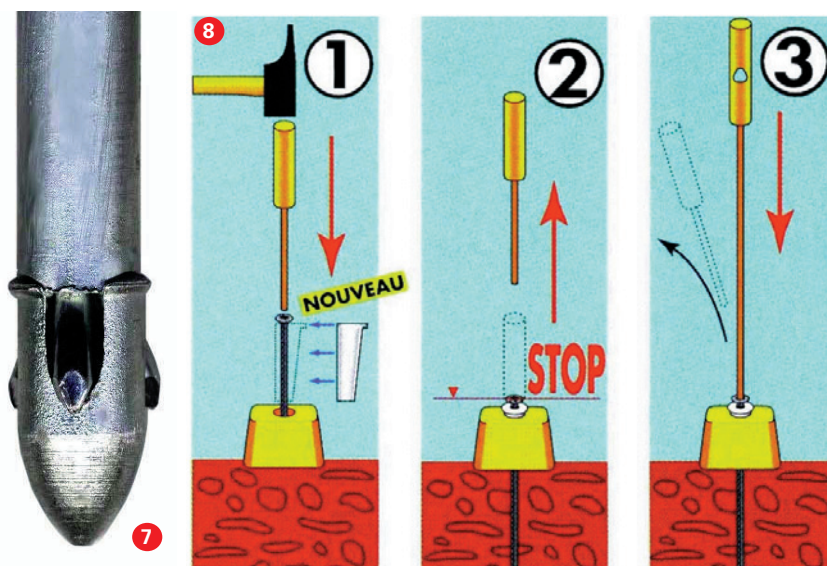
L'objectif défini par les géomètres était triple :

1) Il fallait pouvoir déplacer la borne tant que sa position n'était pas déterminée avec précision (bornage provisoire). Ceci interdisait par exemple l'emploi des bornes munies de pattes formant un harpon.

2) La position étant déterminée, il fallait pouvoir verrouiller la borne efficacement. Cet impératif interdisait tous les ancrages fantaisistes tels que les crans dans les fers à té, etc... En effet, ou bien ces éléments étaient efficaces et la borne ne permettait plus le bornage provisoire (1er critère) ou bien ils étaient inefficaces (ce qui est généralement le cas) et ils ne répondaient alors pas au deuxième critère.

3) Il était impératif d'avoir un moyen de vérifier à tout moment que le verrouillage de la borne avait bien été effectué.

De ce point de vue, le choix de l'amarre à tiges déployables fut à nouveau validé car il répondait parfaitement à ces trois critères. En effet : aussi longtemps que les tiges d'acier ne seraient pas sorties il resterait facile de la retirer et de la replacer ailleurs autant de fois que nécessaire. Mais, dès que poussées, par le mandrin les tiges d'acier à haute résistance logées dans l'amarre s'enfonceraient dans le sol à la manière des racines d'un arbre, la borne serait parfaitement ancrée.





Facilité de stockage

Un autre problème mis en évidence lors de l'enquête était la réduction du volume des bornes:

- pour le transport
- pour le stockage chez le géomètre ou sur le chantier.

Le principe de la borne en deux parties répondait parfaitement à cette exigence en réduisant au maximum le volume des pièces stockées. Fort de cette expérience, le catalogue du département Topographie s'est enrichi au fil des ans d'un choix de plus en plus grand de têtes de bornes de différentes dimensions et dans d'autres matériaux tels que l'acier galvanisé, l'aluminium, le plastique à haute résistance et même le granit naturel. La fabrication s'est étendue aussi aux clous d'arpentage, notamment en acier trempé extrêmement rigide, à toutes sortes d'accessoires, ainsi qu'à des produits spéciaux tels que la grosse borne dite polygonale à 4 amarres, facile à transporter et à mettre en œuvre, ou encore la borne de station à amarre spéciale de 1 m.

Faynot aujourd'hui

La politique de cette entreprise, restée très familiale puisque dirigée par les enfants et petits enfants de Jean Thévenin, est de progresser tout en restant dans l'état d'esprit insufflé par ce dernier.

Faynot, c'est un développement linéaire, loin du tumulte des grandes cités, et une position de leader acquise sans fard avec un souci permanent d'innovation et de qualité, une grande rigueur financière et un profond respect de la parole donnée.

C'est aussi près de 10000 clients dans les trois activités et, pour les servir rapidement, une politique de stocks efficacement gérés pour ne jamais risquer la rupture, en faisant un pied de nez à la mode du flux tendu. Ainsi l'entreprise peut respecter des délais de livraison très courts, quelles que soient les quantités commandées.



Borne polygonale ou géodésique à 4 amarres

Conclusion

J'espère que ce petit tour d'horizon ardennais aura permis aux lecteurs d'XYZ de mieux apprécier les qualités d'un produit somme toute moins banal qu'il y paraît, de découvrir une industrie méconnue et de partager avec moi la sympathie qu'ils m'inspirent. ●

* La galvanisation à chaud au trempé consiste, comme son nom l'indique, à tremper après dégraissage les pièces concernées dans un bain de zinc en fusion à 460°. Ces pièces sont ensuite essorées et la protection qui subsiste à l'intérieur comme à l'extérieur a une épaisseur d'environ 70 microns qui leur confère une protection trentenaire de qualité « marine » ou « EDF ».

Lire n°72 - 50 ans de GEOdetic Distance METER
n°81 - Il était une fois la société des lunetiers
n°83 - Une histoire d'optique Topo

Le challenge fut tenu grâce à la réponse à toutes ces attentes et la borne Feno devint ainsi un standard de qualité reconnu de tous. C'est à ce jour la plus facile à mettre en œuvre grâce à son ogive pleine qui permet une excellente pénétration. C'est aussi la plus résistante à l'arrachement grâce à ses trois tiges galvanisées, de fort diamètre et époutées pour faciliter leur déploiement. C'est enfin la moins sensible au vieillissement grâce à la solidité de sa tête en résine polyroc et à la résistance trentenaire à la corrosion de son amarre galvanisée à chaud*.

A G.S.F. le commerce triangulaire existe toujours...

François Bodin



Souvenez-vous...

ou cherchez dans vos livres d'histoire...

Cette expression de «commerce triangulaire» désignait le trafic d'esclaves entre l'Afrique, les Antilles et l'Europe : d'Europe on emportait des marchandises de peu de valeur avec lesquelles on achetait des esclaves en Afrique, ceux-ci étaient troqués aux Antilles contre du sucre, du rhum et des épices qui étaient revendus au prix fort en Europe.



A G.S.F. notre commerce triangulaire est évidemment d'un autre ordre même si l'on retrouve la France et le Bénin, au cœur de l'ancienne Côte des Esclaves... Nos trois pôles sont un ensemble de centres agricoles, l'école de topographie de notre ami Bah et les volontaires de G.S.F.

Au Bénin existent plusieurs centres agricoles gérés par l'Association Songhai (1), créée il y a 11 ans par un dominicain africain, le frère N'ZAMUJO, que nous aurons probablement l'occasion de vous présenter dans autre article. Cette association gère 4 fermes pilote qui servent d'écoles agricoles et auxquelles sont associés des centres multimédia destinés à initier les jeunes agriculteurs aux techniques modernes de vente de leurs produits et d'achat de semences, créant des coopératives virtuelles. Ces centres sont basés sur une chaîne de production visant à éviter tout gaspillage en utilisant à l'aval ce qui a fini d'être employé à l'amont : par exemple les porcs consomment les végétaux de la ferme, leur lisier sert à fabriquer du gaz pour la production d'énergie qui fournit l'éclairage, etc...

Et dans ce cycle la maîtrise de l'eau joue un rôle fondamental, principalement dans un pays marqué par l'alternance d'une saison sèche où les besoins d'irrigation sont évidents et d'une saison humide où le drainage est crucial. Un problème particulier se posait à la ferme de Parakou où une ravine provoquée par une érosion régressive importante, menace d'emporter la retenue d'eau utilisée pour l'irrigation en saison sèche et pour la pisciculture toute l'an-

née. A problème d'érosion agricole, solution hydraulique et à aménagement hydraulique appel au topographe.

Levé du site et recherche de solution sont effectués par les élèves africains de l'Ecole Supérieure des Ingénieurs Géomètres Topographes de Cotonou en guise de travaux pratiques d'hydraulique, matière qui leur est enseignée par des bénévoles de G.S.F. venus de France. Le triangle est bouclé : appuyé sur un besoin local concret émanant d'une association sans but lucratif, il permet la mise en application des cours par des élèves africains sous l'égide des professeurs dépêchés par G.S.F.

N'oublions pas qu'au début de ce «commerce triangulaire» d'un nouveau genre se trouve un homme particulièrement dévoué et intègre qui a jeté toutes ses forces dans la bataille de l'enseignement pour doter son pays des techniciens topographes dont celui-ci a besoin. cet homme, Monsieur BAH, qui porte un souci d'éthique professionnelle particulièrement élevé, mérite bien l'aide que peut lui apporter G.S.F. Ce souci éthique l'association le porte en elle puisqu'il n'est pas question qu'elle intervienne dans les domaines où les entreprises ont leur place et dont elles tirent leurs revenus ; cet engagement produit même l'effet inverse de celui que certains redoutaient, à savoir qu'à l'occasion de ses contacts à l'étranger c'est G.S.F. qui apporte aux entreprises ou cabinets adhérents l'information sur ce qui se prépare sur place ou sur les contacts à établir ! ●

(1) voir sur internet songhai.org

Quand la topographie au lycée Jean-Pierre

***Brétigny, mercredi 25 avril 2001,
9 heures du matin : une voiture
officielle s'arrête devant le lycée
Jean-Pierre Timbaud. Son excellence
Gotcha Tchogovadze, ambassadeur
de Géorgie en France et Mme Natela
Laguidze, ministre plénipotentiaire
auprès de l'Ambassade, en descendent
et pénètrent dans le hall d'entrée où
nous les accueillons chaleureusement.***

En effet, c'est avec un professeur d'Histoire du lycée, Monsieur Coudray que je me suis associé pour organiser, à l'intention des élèves du lycée et de quelques invités extérieurs une journée entière consacrée à la Géorgie du Caucase (ne pas confondre surtout avec l'état américain « Géorgie ») et à la topographie.

Pourquoi la Géorgie au lycée de Brétigny ?

D'abord pour une raison de proximité et d'histoire dont il faut dire quelques mots. Au printemps 1918, la révolution russe permet à la Géorgie, petit état chrétien orthodoxe du Caucase, entre la mer Noire et la mer Caspienne, d'accéder à l'indépendance. Le premier état social-démocrate européen naît alors et les Géorgiens élisent leur président, Noé Jordania. Au printemps 1921, les choses se gâtent pour la Géorgie : elle est envahie une nouvelle fois par son voisin russe, devenu bolchevique, qui l'annexe purement et simplement à l'URSS. Noé Jordania, ses ministres et leurs familles choisissent de s'exiler en France où ils s'installent, à deux pas de Brétigny, dans une propriété située à Leuville-sur-Orge. La Géorgie ne retrouvant son indépendance qu'en 1991, c'est pendant 70 ans que les «Géorgiens de Leuville» et leurs descendants ont vainement espéré, sont parfois devenus Français et ont souvent trouvé le repos, comme le président Jordania, au petit cimetière de Leuville.

En mai 2000, mes collègues professeurs de topographie et moi-même étant toujours toujours à la recherche de travaux nouveaux et utiles pour motiver nos élèves préparant

Carte de Géorgie



L'ambassadeur de Géorgie

s'associe à l'histoire Timbaud de Bretigny

par Jean Bret, professeur de Topographie



Elèves effectuant des relevés topographiques à Leuville.



le BTS Géomètre-Topographe, nous avons proposé aux Géorgiens et à la commune de Leuville d'effectuer les relevés topographiques complets du parc de leur « château » (4 hectares tout de même !) et de créer un mini-SIG du cimetière. C'est ensuite naturellement que l'idée nous est venue de compléter le travail technique par une recherche historique autour de ce petit pays si lointain par la géographie, si proche de nous par son histoire et sa culture.

Ce mercredi 25 avril, la journée géorgienne a commencé par une intervention de Monsieur l'ambassadeur sur l'avenir de la Géorgie et les espoirs mis dans une Europe qu'elle vient de rejoindre comme 41^e membre du Conseil européen. Le public était constitué essentiellement de lycéens bien sûr mais aussi de quelques Brétignolais à l'esprit

curieux et de « vrais Géorgiens » de Leuville dont Mesdames Jordania et Ramichvili respectivement filles de Président et de Ministre.

Ensuite, Monsieur Coudray, professeur d'Histoire, et mon ami Thierry Berichvili, adjoint au maire de Brétigny, mais ici comme président de l'Association culturelle et d'amitié avec le peuple géorgien, ont brossé la grande fresque des 5000 ans de l'Histoire de ce peuple montagnard.

Après un repas d'inspiration géorgienne préparé par le merveilleux cuisinier du lycée, nous avons pu écouter Madame Thierry, archéologue et spécialiste de l'art géorgien, nous parler de culture, de civilisation, mais aussi des difficultés bien actuelles de la Géorgie après 70 ans d'exploitation quasi-coloniale par l'URSS.



En mai 2000, mes collègues professeurs de topographie et moi-même étant toujours toujours à la recherche de travaux nouveaux et utiles pour motiver nos élèves préparant le BTS Géomètre-Topographe, nous avons proposé aux Géorgiens et à la commune de Leuville d'effectuer les relevés topographiques complets du parc de leur « château » (4 hectares tout de même !) et de créer un mini-SIG du cimetière.

Ensuite, trois élèves de première ont fait un exposé remarqué sur les tapis caucasiens, ont expliqué les différences entre les tapis des peuples musulmans et ceux des peuples chrétiens comme les Géorgiens ou les Arméniens. Après une projection de diapositives sur le Château de Leuville, les élèves topographes, ont expliqué leurs méthodes de travail, montré les plans qu'ils avaient réalisés et promis d'en réserver un exemplaire à Monsieur l'Ambassadeur et la commune de Leuville.

L'exercice n'était pas aisé car il fallait ici expliquer à des non-spécialistes comment on fabrique un plan : les notions de canevas GPS, de levé par rayonnement, de coordonnées, de précision, de plan numérique ou graphique qui sont familières aux jurys d'examen, ne l'étaient pas pour le public du jour. Je pense que nos élèves s'en sont bien sortis et ont sûrement éveillé l'intérêt pour notre discipline.

Enfin, c'est le directeur du cinéma de Brétigny qui est intervenu pour présenter brièvement le cinéma géorgien et annoncer aux élèves une bonne nouvelle : la journée se poursuivrait, gratuitement pour eux, le soir au cinéma avec 2 films géorgiens, « les mille et une recettes du cuisinier amoureux » de Nana Djordjadze et « il était une fois un merle chanteur » du merveilleux Otar Iosseliani. Autre bonne nouvelle : Marani, un ensemble de chant polyphonique géorgien, se produirait entre les deux films.

Ainsi c'est 14 heures ininterrompues qui ont été consacrées à faire découvrir la topographie et ce petit pays du Caucase dont les gens sont si proches de nous : hôtes



De gauche à droite M. Coudray, professeur d'histoire, Mme Jordania fille de l'ancien président géorgien Noé Jordania et Jean Bret, professeur de topographie.

merveilleux, chanteurs, cultivant la vigne et amateurs de bons vins, l'optimisme chevillé au cœur et à l'âme, tels sont les Géorgiens. Ils méritent non pas le détour, mais le voyage.

Le matin, Monsieur l'Ambassadeur, par une petite anecdote, a dépeint l'optimisme géorgien : « *quand un géorgien dispose, disons d'un dollar, il en dépense dix car il est sûr que le lendemain il en gagnera neuf* ». Allez-y vite avant qu'ils ne découvrent totalement les charmes de l'économie de marché ! ●

Souvenir de mémoire

Claude Million

Fin 1945 la guerre venait de se terminer, tout le monde rentrait, souvent en ordre dispersé, prisonniers de guerre, «requis» du Service du Travail Obligatoire (sous-entendu en Allemagne), déportés politiques et raciaux, du moins ceux qui avaient survécu, et démobilisés des Armées Françaises qui ne s'étaient engagés que pour la durée des combats, qui, ceux-ci terminés, avaient demandé à rentrer chez eux. Cela se passait dans un ordre relatif, mais sans aucune logique, imposé surtout par le fait que tous les moyens de communication avaient été détruits ; les plus vitaux ayant été rétablis avec des moyens de fortune, le débit en était forcément très limité. Les plus malchanceux attendaient dans des camps sans barbelés que leur tour vienne, d'autres sont rentrés à pied... Ceux qui les attendaient étaient à chaque arrivée de train, certains ont attendu en vain, des mois, l'impossible miracle.

C'est dans ce climat de désolation matérielle et morale que l'Ordre des Géomètres s'était inquiété du sort de stagiaires candidats au diplôme de DPLG. Après l'Examen Préliminaire, il existait deux voies d'accès à ce diplôme : La première, qu'on appellera la Voie Royale, consistait à trouver une place de stage à Paris pour suivre les Cours du Soir de l'Institut de Topométrie, ces stages pouvaient être trouvés dans les cabinets parisiens ou de proche banlieue, et dans les services publics agréés pour recevoir des stagiaires, le plus recherché étant le tout jeune IGN, «démilitarisé» à temps dès 1940. La seconde était de faire son stage dans les cabinets de province, et de suivre une formation par correspondance. Cette seconde voie menait à un fiasco inévitable, la durée légale du travail était alors de 52 heures, soit six jours de huit heures, avec la «semaine anglaise» pour le Samedi soit quatre heures de travail le matin de ce même jour !

Bref, en 1945, il était devenu évident que cette seconde voie était un piège à provinciaux, et que les nouveaux DPLG seraient tous issus de la région parisienne. D'où l'idée de créer une école de plein exercice. De l'identification du besoin à la réalisation, il se passa le minimum de temps, la guerre se terminait «officiellement» en Mai, l'ouverture des cours était prévue en Octobre :

On ne rendra jamais assez grâce à M. Louis Ragey de sa sollicitude pour notre ingrate profession : Quelle manifestation professionnelle rappelle son œuvre ?

Seulement, les moyens d'information du public n'étaient pas ce qu'ils sont aujourd'hui, avant que les intéressés aient pu prendre connaissance de l'appel à candidatures dans le seul journal professionnel existant, les inscriptions



étaient déjà closes ! De plus, avec les quelques candidats retenus, une petite quinzaine, les choses ne se passaient pas facilement, tous travaillaient et ne pouvaient interrompre leur travail sans que des bourses prennent le relais de leur salaire. Or, les bourses promises n'étaient pas en place. La rentrée, que des problèmes matériels avaient repoussé en Décembre, ne se fit réellement qu'en Février 1946.

En revanche, la rentrée de 1946 devait se faire à la date prévue. Mais dès 1947, date à laquelle la première promotion sortait se posa le problème du diplôme à lui remettre. La formation était assurée par des professeurs qui enseignaient tous dans des écoles d'ingénieurs : Géomètres pour l'ESTP, des Travaux Ruraux pour le Génie Rural, et des Travaux Géographiques de l'Etat pour l'IGN, n'ayant pas eu le temps de rédiger des cours spéciaux pour cette nouvelle formation, ceux-ci enseignaient les mêmes cours à tous leurs élèves quelle que soit leur origine. Il était donc frustrant de sortir de cette nouvelle école avec un simple certificat de scolarité, alors que les autres sortaient avec un titre assez prestigieux.

Le Conservatoire National d'Arts et Métiers délivrait des diplômes d'ingénieurs à la suite de formations assez longues en Cours du Soir (sept ans je crois !) à ceux qui présentaient un mémoire technique d'un certain niveau. Il fut donc décidé de faire de même.

Seulement, une fois sorti de l'école, c'était le grand vide de la profession qui ne se prêtait guère à ce genre de spéculation, et même s'en écartait délibérément, par principe. Il était donc recommandé de se préparer à cette épreuve dès l'école.

Le problème majeur était le choix du sujet : J'avais servi d'opérateur géomètre pendant mon stage et finalement je n'avais guère fait que du tachéomètre et de la triangulation pendant trois ans, avant mon retour sur les bancs de l'école. J'avais eu l'occasion de remarquer que les mesures indirectes de longueurs étaient toujours trop courtes par temps ensoleillé, sans qu'on puisse incriminer l'étalonnage de l'appareil qui se faisait, en fin d'après-midi, sur une base étalonnée. Je proposais ce sujet, qui me semblait bien mince, en l'étendant à tous les systématismes des mesures de longueurs. Mon avant-projet me fut rendu en me répondant qu'une vie ne suffirait pas à traiter le sujet que je proposais. Bien me pris de le resserrer à ce qui me préoccupait vraiment, pendant des années je devais me pencher à nouveau sur lui sans vraiment l'épuiser !

Autre problème majeur, nous n'avions ni la formation pratique, scientifique, ou même intellectuelle pour entreprendre de pareilles tâches. Pour une modeste part, je mis plusieurs mois à comprendre qu'une mesure de température est généralement très compliquée : on ne mesure que la température du liquide qui se dilate, mais pas celle du verre qui le contient, encore moins celle de l'air qui l'entoure ! Quant à l'inertie de la mesure, elle est énorme et ne suit pas toutes ses infinies variations, en outre, la température est un repère, et non une quantité, et ce n'est, en fait, que la mesure de quelque chose qui nous échappe, l'agitation des molécules. Bref, en physique, le «bide» complet, un lourd handicap à remonter.

Plusieurs années plus tard, vers 1960, j'approchais des



physiciens météorologues australiens, qui s'intéressaient à la micro météorologie près du sol, quelle ne fut pas ma surprise de constater qu'ils mesuraient les températures en les déduisant des courbures des rayons lumineux rasants, c'est-à-dire qu'ils faisaient l'inverse de ce que j'avais tenté, en vain.

En 1948 je passais le DPLG, puis, je parti en Tunisie où j'eus, à portée de la main, le phénomène dans toute son ampleur. Je mis très longtemps à comprendre que c'était des manifestations de réfractions anormales : Un matin, à la fraîche, excédé de ne rien y comprendre, j'étalonnais mon appareil sous une longue halle marchande à l'ombre et simultanément en plein soleil, et l'évidence s'imposât : au soleil les distances étaient plus courtes, et la température, dans l'absolu, n'avait rien à voir, seulement ses contrastes. La suite s'imposait, en approchant une surface chauffée sous une visée, on la déviait vers le haut, plus si on approchait une surface chauffée latéralement on la déviait, même si c'était moins fortement, dans le sens l'opposé.

C'est à ce moment que j'eus la plus impertinente des idées, et si la pratique du tachéomètre Sanguet était fautive ? Bien entendu de nos jours cette simple question ne provoque aucune émotion. A l'époque il n'en était pas de même, le tachéomètre Sanguet était une gloire nationale, à l'égal de vaches sacrées qui se sont multipliées aujourd'hui.

Ses «aficionados» étaient nombreux et se recrutaient aussi dans les jurys d'examen, ils exerçaient une sorte de terrorisme intellectuel qui est devenu, depuis, monnaie courante dans d'autres domaines. Rien que poser la question aurait créé un scandale, dont le modeste impétrant que j'étais ne se serait pas remis, rien n'a beaucoup changé d'ailleurs, le fait de dire, récemment, que les inconnues de systématismes en aéro-photogrammétrie consistaient à balayer les erreurs sous le tapis, m'a valu un ajournement d'un an.

Le simple fait d'utiliser trois fois la mesure la plus déviée suffisait à expliquer ce que j'avais constaté. Aurais-je été très sûr de moi, inconscient ou courageux, que mon mémoire aurait fait quelques pages. Je dois dire, tout de suite, que je n'étais pas sûr de moi, et que je n'étais pas courageux non plus...

J'avais continué une longue étude qui, en fait, n'était que l'analyse de réfractions différentielles qui n'étaient pas prises habituellement en compte, car courbant les rayons lumineux dans une direction qui n'était pas celle qu'on enseignait alors. Pourtant, au risque de choquer d'anciens

camarades ou condisciples, qui me restent d'autant plus chers qu'ils deviennent chaque jour moins nombreux, le principe d'utilisation du tachéomètre Sanguet enseigné alors était stupide, même en l'absence de réfractions différentielles anormales, utiliser trois fois une même lecture lui donnait un poids abusif.

On a fait, récemment, la même chose au début de la vogue de doubles différences en GPS : on utilisait $n-1$ fois le même satellite «de base» pour faire la différence avec les autres, avant de s'aviser que les résultats étaient différents en fonction du satellite de «base» retenu. Il est exact que cela a été

corrigé depuis, mais pas tout de suite quand même...

A peu de temps de là, j'avais eu l'occasion d'utiliser, en Corse, une imitation du tachéomètre Sanguet réalisée par Kern pour les travaux en montagne, les rapports étaient de $10/1000^\circ$, $15/1000^\circ$ et $25/1000^\circ$, ce qui créait une symétrie bien utile pour les dépouillements manuels courants d'alors. Cela m'avait permis de tes-

ter mon hypothèse : le pointé était soit la visée la plus haute, soit la plus basse, il devenait évident que la distance n'était pas la même suivant le sens de calcul, et qu'elle était raccourcie en prenant la valeur basse pour pointé.

Hélas, quand j'ai fait cette constatation expérimentale imparable, j'avais mon diplôme en poche !

Depuis, cette petite lâcheté m'est restée sur le cœur, j'éprouve, aujourd'hui, plus de cinquante ans après les faits, un certain soulagement à l'avouer... Serait-ce l'effet de la prescription ? ●



Pour le tachéomètre Sanguet la première lecture, appelée le pointé, se faisait traditionnellement le plus près du sol, on la retranchait des trois suivantes, pour former des différences égales au $1/100^\circ$ de la distance horizontale, puis des $18/1000^\circ$, enfin des $22/1000^\circ$. En totalisant ces différences on obtenait le $1/50^\circ$ de la distance.

**ASSOCIATION FRANCAISE DE TOPOGRAPHIE**(association régie par la loi du 1^{er} juillet 1901 - N° SIRET 31876201000029 - CCP 16 300 03 Y PARIS)

Siège Social : 138 bis, rue de Grenelle - 75007 PARIS

Adresse postale : 136 bis, rue de Grenelle 75700 PARIS 07 SP - Tél : 01.43.98.84.80 - Fax : 01.47.53.07.10

E-mail : aftopo@club-internet.fr - Internet : http://perso.club-internet.fr/aftopo

Secrétariat du lundi au vendredi de 9 heures à 15 heures

Bulletin d'adhésion et d'abonnement pour 2001

☐ **OUI, je souhaite m'abonner à la Revue XYZ**

Au prix de ☐ France Métropolitaine et Union Européenne 480 FRF
 ☐ Étranger / hors Europe 550 FRF

☐ **OUI, je souhaite recevoir, la revue XYZ à un prix préférentiel et adhérer à l'Association Française de Topographie en qualité de :**☐ **Ingénieur, géomètre-expert, indépendant, cadre et personne morale**

- adhésion à l'Association Française de Topographie 200 FRF
- abonnement à la Revue XYZ 250 FRF

TOTAL 450 FRF☐ **Technicien, enseignant, retraité cadre et ingénieur**

- adhésion à l'Association Française de Topographie 40 FRF
- abonnement à la Revue XYZ 250 FRF

TOTAL 290 FRF☐ **Etudiant, stagiaire, ANPE, retraité technicien**

- adhésion à l'Association Française de Topographie 40 FRF
- abonnement à la Revue XYZ 150 FRF

TOTAL 190 FRF

J'ai bien noté que l'adhésion à l'association AFT, et le paiement de l'abonnement à la Revue XYZ donne droit à un exemplaire gratuit de l'annuaire AFT.

Je vous adresse ci-joint le règlement de FFR : _____

- ☐ par chèque bancaire ou Postal établi à l'ordre de l'AFT.
☐ par virement au CCP de l'AFT n° 16 300 03 Y Paris
☐ pour les chèques payables sur une banque étrangère ajouter 60 FFR pour les frais bancaires.

M/MMe/Mlle Nom : _____ Prénom : _____

Société ou organisme : _____

Secteur d'activité : _____

Adresse : _____

Code postal : [][][][][][] Ville : _____

Tél. : [][][][][][][][][][] Fax : [][][][][][][][][][][][][][][]

E-mail : _____

Date

Signature

Retourner ce bulletin accompagné du règlement à

l'AFT Association Française de Topographie

136 bis rue de Grenelle - 75700 Paris 07 SP - Tél. : 01 43 98 84 80 – Fax : 01 47 53 07 10

Renault Kangoo 4x4

«Polyvalence tous azimuts»

Robert Chevalier

Après le Scénic Rx4 qui a marqué le retour de Renault sur le marché des 4x4 produits et conçus sous sa marque, c'est maintenant le Kangoo qui complète l'offre dans ce domaine.

Ce véhicule déjà apprécié pour son côté pratique et sa rusticité, puisqu'on l'a présenté comme le successeur de la regrettée R4, deviendra ainsi le remplaçant des R4 SINPAR que certains d'entre nous ont utilisé, avec en plus une capacité de chargement considérablement accrue et évidemment un concept plus moderne. Il rentrera dans le créneau des 4x4 dits de loisirs (S.U.V.), c'est-à-dire plus tous chemins que tous terrains, ce qui ne l'empêchera pas grâce à sa polyvalence d'être sans doute pour nous géomètres-topographes un excellent outil de travail. Kangoo 4x4, qui sera assemblé à Mabeuge, comme les autres versions, se distinguera de celles-ci par l'adoption d'une transmission intégrale permanente, utilisant un

pont et un coupleur hydraulique adaptatif Nissan. Celui-ci fonctionnera selon trois lois pour une répartition optimale du couple.

Afin de pallier toute perte de motricité, un antipatinage géré électroniquement agit sur les roues AV. La boîte de vitesse à double sortie a été développée à partir de celle du Scénic Rx4 avec un rapport de pont raccourci sur la version essence. Le train AV comporte des éléments renforcés et un débattement augmenté, tandis que le train AR est entièrement nouveau, faisant appel à des bras tirés permettant un bon compromis confort/tenue de route en toutes circonstances. Roue de 15" avec pneumatiques 185/65 R15 adaptés à une utilisation mixte route/chemin et offrant une garde au sol de 200mm.

Toutes ces dispositions liées à l'ABS et au système d'assistance au freinage d'urgence, confèrent au Kangoo 4x4 une excellente sécurité active. Il sera disponible avec deux motorisations nouvelles : un moteur essence 1.6, 16V (95 ch/148Nm) proposé dès son lancement dans le courant de l'été 2001, et un Diesel 1,9 dci Common Rail (80ch/180Nm) en fin d'année.

Comme les autres versions, le Kangoo 4x4 comporte un très vaste volume intérieur avec cinq vraies places et un grand coffre modulable, appréciable pour transporter notre matériel topo de plus en plus encombrant. Le chargement est aisé grâce au plancher plat et aux 2 portes latérales coulissantes.

Des attributs propres aux 4x4 permettent la protection du véhicule tout en lui conférant un look spécifique (bavolets et protections de passage de roues, nouveaux boucliers AV - avec ski inférieur et AR, protections latérales élargies) plus de nombreux accessoires en option (pare buffles, bas de caisses, barres de toit...). Côté pratique, notons des rangements hauts type aviation comportant 2 coffres latéraux courant sur l'arrière du pavillon, le transfert dans le coffre de la roue de secours, recouverte et protégée par une tablette AR spécifique repliable en deux parties. Ce véhicule devrait être proposé également en version utilitaire (à TVA récupérable). Prix non-communicé à l'heure

